

DIN EN 1993-1-13

ICS 91.010.30; 91.080.13

Einsprüche bis 2022-04-11

Entwurf**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-13: Regeln für Träger mit großen Stegöffnungen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-1-13:2022**

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 1-13: Rules for beams with large web openings;
German and English version prEN 1993-1-13:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-02-11 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 93 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-13:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche 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.

Titel de: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-13:
Regeln für Träger mit großen Stegöffnungen

Titel en: Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-13: Rules for beams with
large web openings

Titel fr:

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	7
1.1 Anwendungsbereich von prEN 1993-1-13	7
1.2 Annahmen	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe und Symbole	10
3.1 Begriffe	10
3.2 Liste der Symbole	11
4 Grundlagen der Tragwerksplanung	16
4.1 Allgemeines	16
4.2 Nachweisverfahren	16
4.3 Verfahren zur <i>Vierendeel</i> -Biegebemessung	17
4.4 Toleranzen	17
5 Werkstoffe	18
5.1 Allgemeines	18
5.2 Schweißen	18
6 Dauerhaftigkeit	18
7 Tragwerksberechnung	18
7.1 Berechnungsverfahren	18
7.2 Bauteilsteifigkeit für die globale Tragwerksberechnung	18
7.3 Gebrauchstauglichkeit	20
7.4 Querschnittsklassifizierung unter globaler Biegung	20
7.5 Querschnittsklassifizierung von T-Stücken unter <i>Vierendeel</i> -Biegung	21
7.6 Querschnittsklassifizierung von Längssteifen	22
8 Grenzzustand der Tragfähigkeit	22
8.1 Allgemeine Anforderungen an alle Öffnungen	22
8.2 Querkraftbeanspruchbarkeit im Bereich von Stegöffnungen	24
8.3 Biegebeanspruchbarkeit eines Trägers mit Stegöffnungen	25
8.4 Tragfähigkeit der T-Stücke unter <i>Vierendeel</i> -Biegung	26
8.5 Stegbeulen / Biegeknicken des Steges neben weit auseinanderliegenden Öffnungen	28
8.6 Bemessungsregeln für dicht beieinanderliegende Öffnungen	30
8.7 Öffnungen mit Längssteifen	34
8.8 Anforderungen für andere Fälle	37
8.9 Alternatives Verfahren für die <i>Vierendeel</i> -Biegung für runde Öffnungen	39
8.10 Alternatives Verfahren für den Nachweis der Stabilität von Stegpfosten zwischen runden Öffnungen	40
8.11 Alternative Verfahren für sinusförmige Öffnungen	43
8.12 Biegedrillknicken	45
9 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	45
Literaturhinweise	47

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-13:2022) 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.

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.

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

EN 1993 (alle Teile) gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Bauwerken aus Stahl. Eurocode 3 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 und der geotechnischen Bemessung, 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. bezüglich Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht berücksichtigt.

EN 1993 ist in folgende Teile unterteilt:

- EN 1993-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*
- EN 1993-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Stahlbrücken*
- EN 1993-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3: Türme, Maste und Schornsteine*
- EN 1993-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4: Silos und Tankbauwerke*
- EN 1993-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 5: Pfähle und Spundwände*
- EN 1993-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranbahnen*
- EN 1993-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 7: Bemessung von Sandwich-Paneelen*

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

- EN 1993-1-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*
- EN 1993-1-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*
- EN 1993-1-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Regeln — Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche*

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

- EN 1993-1-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen*
- EN 1993-1-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*
- EN 1993-1-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*
- EN 1993-1-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Plattenförmige Bauteile mit Querbelastrung*
- EN 1993-1-8, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*
- EN 1993-1-9, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-9: Ermüdung*
- EN 1993-1-10, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*
- EN 1993-1-11, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl*
- EN 1993-1-12, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlsorten bis S960*
- EN 1993-1-13, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-13: Regeln für Träger mit großen Stegöffnungen*

— EN 1993-1-14, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten* — Teil 1-14: *Durch Finite-Elemente-Berechnung unterstützte Bemessung*

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, nichtrostende Stähle, plattenförmige Bauteile usw.

Alle Teile von EN 1993-2 bis EN 1993-7 behandeln Themen, die für eine bestimmte Bauwerksart relevant sind, wie Stahlbrücken; Türme, Maste und Schornsteine; Silos und Flüssigkeitsbehälter; 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 1993-1-13

prEN 1993-1-13 enthält Hinweise und Empfehlungen für die Bemessung und Konstruktion von Trägern mit großen Stegöffnungen.

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 verifiziert 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 1993-1-13

Nationale Festlegungen können dann getroffen werden, wenn in dieser Norm im Rahmen von Anmerkungen eine Wahl ausdrücklich gestattet ist. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl der Werte für national festzulegende Parameter (NDP, en: Nationally Determined Parameters).

Hierzu kann die jeweilige nationale Ausgabe von prEN 1993-1-13 einen Nationalen Anhang mit allen nationalen Festlegungen enthalten, die für den Entwurf und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten im jeweiligen Land Verwendung finden.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, ist die in dieser Norm angegebene Standardfestlegung anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und keine Standardfestlegung in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden, oder sofern keine Festlegungen getroffen wurden, können die beteiligten Parteien im Einzelfall eine Vereinbarung treffen.

Nationale Festlegungen sind in prEN 1993-1-13 per Anmerkung zu den folgenden Abschnitten gestattet:

1.1.3(1)	8.1.2(1)	8.1.3(2)	9(5)
----------	----------	----------	------

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 1993-1-13

1.1.1 Allgemeines

(1) Dieses Dokument enthält ergänzende Bestimmungen, die den Anwendungsbereich von EN 1993-1-1 und EN 1993-1-5 um die Bemessung und Konstruktion von gewalzten und geschweißten Stahlprofilen mit verschiedenen Formen von Stegöffnungen erweitern. Folgende Fälle werden dabei betrachtet:

- gewalzte oder geschweißte Träger mit weit auseinanderliegenden Stegöffnungen;
- gewalzte oder geschweißte Träger mit dicht beieinanderliegenden Stegöffnungen;
- Lochstegträger mit runden Öffnungen, hergestellt durch Schneiden und erneutes Schweißen von zwei Stahlprofilen, die unterschiedliche Maße haben können;
- Träger mit sechseckigen und sinusförmigen Öffnungen, hergestellt durch Schneiden und erneutes Schweißen von zwei Stahlprofilen, die unterschiedliche Maße haben können.

(2) Dieses Dokument gilt für gleichförmige Bauteile mit I- oder H-Profil, die um ihre schwache Achse symmetrisch sind. Er gilt nicht für nicht-prismatische oder gekrümmte Träger, auch wenn die gleichen Grundsätze zutreffen können.

(3) Dieses Dokument gilt für Strahlträger mit Stegöffnungen, die (positiven) Feldmomenten ausgesetzt sind, und für Träger, die außerdem (negativen) Biegemomenten ausgesetzt sind.

(4) Dieses Dokument befasst sich mit dem Nachweis der Tragfähigkeit im Bereich der Öffnungen und deren Einfluss auf das Gesamtverhalten des Trägers, einschließlich Biegedrillknicken.

(5) Für Träger mit runden Öffnungen und mit sinusförmigen Öffnungen werden alternative Verfahren vorgestellt, bei denen die Kräfte und Tragfähigkeiten inkrementell um die oder entlang der Öffnungen berechnet werden und die für rechnergestützte Verfahren geeignet sind.

(6) Dieser Teil gilt für einen Schlankheitsgrad des Stegblechs, h_w/t_w , von höchstens 121ε . Die lokalen Nachweise an und zwischen benachbarten Öffnungen gelten für einen Schlankheitsgrad des Stegblechs bis zu diesem Grenzwert. Die Zugfeldwirkung von Blechträgern ist nicht Teil des Anwendungsbereichs.

ANMERKUNG Der Grenzwert von 121ε entspricht der Querschnittsklasse eines symmetrischen Stahlprofils und wird als zweckmäßiger Grenzwert für die Anwendung dieses Dokuments angewendet, auch bei unsymmetrischen Profilen. Der Werkstoffparameter ε ist in prEN 1993-1-1:2020, 5.2.5(2), festgelegt.

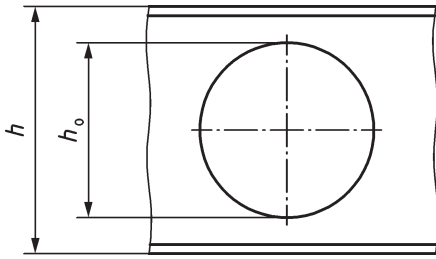
(7) Dieses Dokument behandelt nicht die Ermüdung. Für die Ermüdung gilt EN 1993-1-9.

(8) Dieses Dokument behandelt nicht den baulichen Brandschutz. Für den baulichen Brandschutz gilt EN 1993-1-2.

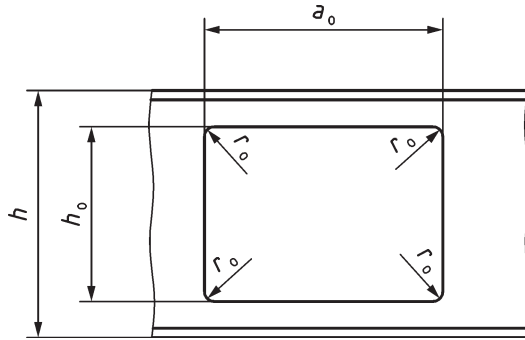
(9) Dieses Dokument behandelt nicht den Stabilitätsnachweis für Bauteile mit Stegöffnungen unter Einwirkung von Normalkraft.

1.1.2 Formen der Öffnungen

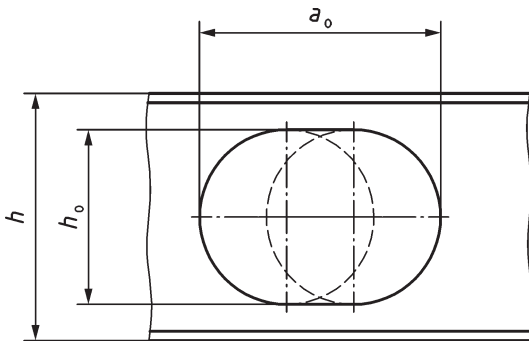
(1) Die verschiedenen Formen der Öffnungen, mit denen sich in diesem Dokument befasst wird, sind in Bild 1.1 dargestellt.



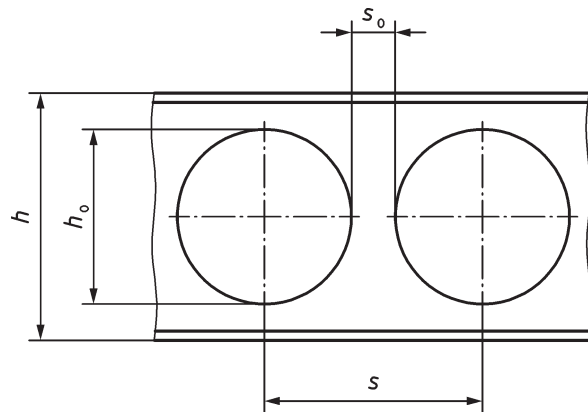
a) runde Öffnung



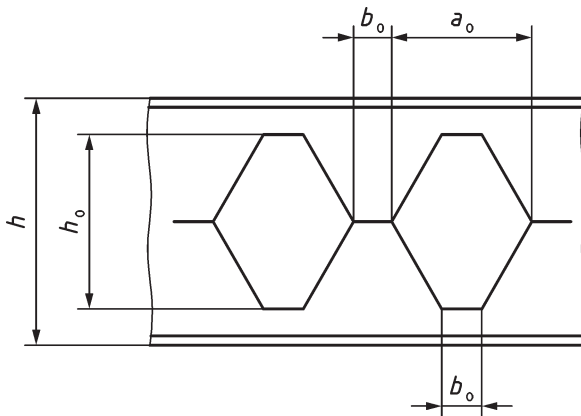
b) rechteckige Öffnung



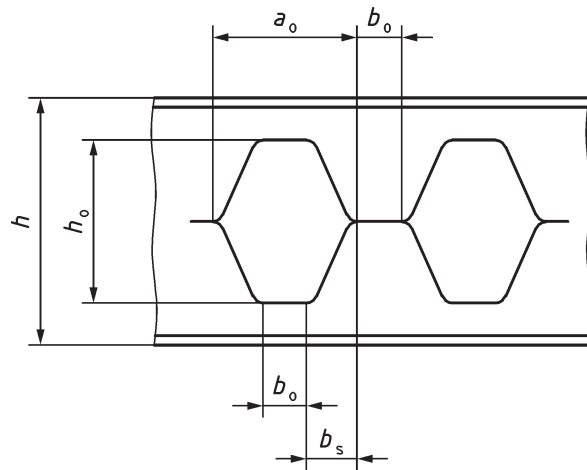
c) längliche Öffnung



d) dicht beieinanderliegende runde Öffnungen



e) dicht beieinanderliegende sechseckige
Öffnungen ($s_o = b_o$)



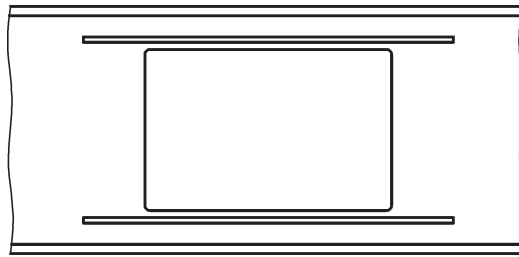
f) dicht beieinanderliegende sinusförmige
Öffnungen ($s_o = b_o$)

Bild 1.1 — Verschiedene Formen von Öffnungen in Stahlträgern

1.1.3 Ausgesteifte Öffnungen

(1) Dieses Dokument befasst sich auch mit den Öffnungen im Steg der Träger, die durch Längssteifen und/oder Quersteifen auf einer oder auf beiden Seiten des Stegs ausgesteift sind, siehe Bild 1.2.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Regeln für alternative Arten von Versteifungen angeben.

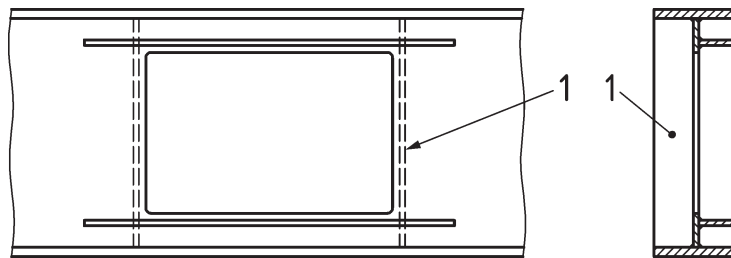


einseitig



beidseitig

a) Längssteifen auf einer oder auf beiden Seiten des Stegs



b) Quersteifen in Kombination mit Längssteifen auf den gegenüberliegenden Seiten des Stegs

Legende

1 Quersteife

Bild 1.2 — Aussteifung von Öffnungen in des Stegen eines Trägers

1.2 Annahmen

(1) Sofern nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist, gelten EN 1990, EN 1991 (alle Teile) und EN 1993-1-1.

(2) Die in EN 1993-1-13 angegebenen Bemessungsverfahren sind anwendbar, wenn

- die Qualität der Bauausführung den Anforderungen von EN 1090-2 entspricht, und
- die Baustoffe und -produkte entsprechend den Festlegungen der einschlägigen Teile von EN 1993 (alle Teile) oder entsprechend den maßgebenden Werkstoff- und Produktnormen verwendet werden.

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 weitere zitierte Dokumente aufgeführt, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich solcher Dokumente, die als Empfehlungen (d. h. durch „sollte“-Sätze), Zulässigkeiten (d. h. durch „darf“-Sätze), Möglichkeiten (d. h. durch „kann“-Sätze) und in den Anmerkungen in Bezug genommenen werden.

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

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

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

prEN 1993-1-1:2020, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

unsymmetrisches Profil

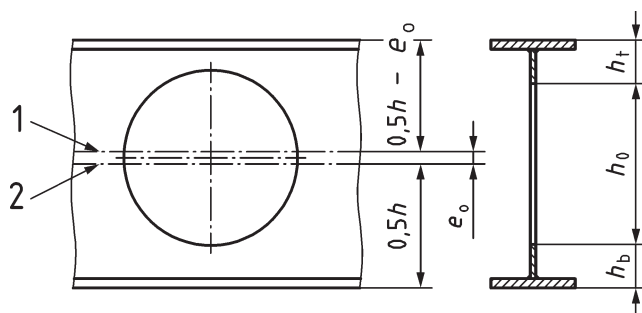
Stahlprofil, bei dem das obere und das untere T-Stück unterschiedliche Maße haben

3.1.2

Exzentrizität der Öffnung

Abstand e_o von der Mittellinie der Öffnung zur Mittellinie des Stahlprofils, wie in Bild 3.1 dargestellt

Anmerkung 1 zum Begriff: e_o ist positiv, wenn die Mittellinie der Öffnung über der Mittellinie des Profils liegt, und ist negativ, wenn die Mittellinie der Öffnung unter der Mittellinie des Profils liegt.



Legende

- 1 Mittellinie der Öffnung
- 2 Mittellinie des Trägers

Bild 3.1 — Definition der Exzentrizität der Position einer Öffnung

3.1.3

T-Stück

Kombination aus Steg und Gurt über oder unter der Öffnung

3.1.4

Vierendeel-Biegung

lokale Biegung von T-Stücken infolge der Schubkraftübertragung entlang der Öffnung

3.1.5

Stegpfosten

Teil des Stegs zwischen benachbarten Öffnungen, wie in Bild 3.2 dargestellt

3.1.6

Endpfosten

der Endpfosten befindet sich zwischen der Öffnung und dem angrenzenden Auflager, wie in Bild 3.2 dargestellt

3.1.7

weit auseinanderliegende Stegöffnungen

Öffnungen, deren benachbarte Öffnungen keinen Einfluss auf das Stegbeulen neben diesen Öffnungen haben

3.1.8

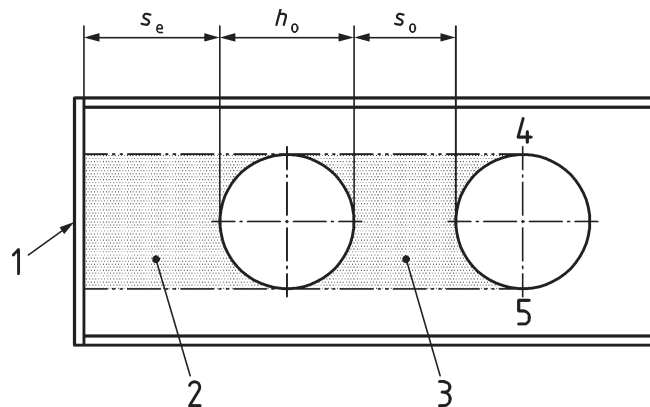
dicht beieinanderliegende Stegöffnungen

Öffnungen, deren benachbarte Öffnungen einen Einfluss auf das Stegbeulen haben, wie in 8.6.1 festgelegt

3.1.9

ausgesteiftes T-Stück

T-Stück mit am T-Profil angeschweißten Längssteifen mit einer geeigneten Verankerung auf beiden Seiten der Öffnung



Legende

- 1 Endblech
- 2 Endpfosten
- 3 Stegpfosten
- 4 oberes T-Stück
- 5 unteres T-Stück

Bild 3.2 — Definition von Stegpfosten und Endpfosten im Fall von runden Öffnungen

3.1.10

signifikante Belastung

Belastung an oder neben der Öffnung, die mehr als 15 % der Querkraftbeanspruchbarkeit des belasteten T-Stücks beträgt

3.2 Liste der Symbole

a_{eff}	effektive Länge einer Öffnung für Knick- und Durchbiegungsberechnungen
a_{eq}	äquivalente Länge einer Öffnung bei <i>Vierendeel</i> -Biegung
a_o	Gesamtlänge einer Öffnung
a_v	Verankerungslänge der Aussteifung hinter einer Öffnung
A_{bT}	Querschnittsfläche des unteren T-Stücks
A_s	Querschnittsfläche der Aussteifung
A_{tT}	Querschnittsfläche des oberen T-Stücks

$A_{V,bT}$	Schubfläche des unteren T-Stücks
$A_{V,tT}$	Schubfläche des oberen T-Stücks
b_o	Breite des horizontalen Abschnitts einer Öffnung im Fall von sechseckigen oder sinusförmigen Öffnungen, siehe Bild 1.1
b_s	Länge des sinusförmigen Abschnitts einer Öffnung, siehe Bild 1.1
b_w	wirksame Stegbreite neben einer Öffnung bei Stegbeulen / Biegeknicken des Steges
d_t	Höhe des Stegüberstands eines T-Profils. Bei gewalzten Profilen wird der Überstand d_t ausgehend vom Walzradius gemessen.
d_{wp}	Höhe des kritischen Querschnitts eines Stegpfostens über der Mittellinie der Öffnung (die Indizes b (bottom) und t (top) beziehen sich auf den unteren bzw. den oberen Teil des Stegpfostens)
e_o	Exzentrizität der Mittellinie einer Öffnung (über der Mittellinie des Trägers als positiv und unter der Mittellinie des Trägers als negativ gewertet), siehe Bild 3.1
E	Elastizitätsmodul von Stahl
f_y	Streckgrenze
$f_{y,s}$	Streckgrenze
$f_{y,bT}$	Streckgrenze des unteren T-Stücks
$f_{y,tT}$	Streckgrenze des oberen T-Stücks
$f_{y,red}$	abgeminderte Streckgrenze durch Berücksichtigung des Schubeffekts
h	Höhe des Stahlprofils
h_b	Höhe des unteren T-Stücks
h_{eff}	wirksame Höhe des Stahlprofils zwischen den T-Stück-Schwerpunkten
h_o	Höhe einer Öffnung (oder Durchmesser einer runden Öffnung)
h_t	Höhe des oberen T-Stücks
h_T	Höhe eines T-Stücks
h_{eq}	Höhe einer äquivalenten rechteckigen Öffnung, h_{eq}
h_w	Steghöhe im Querschnitt (Stegöffnung)
I_a	Flächenträgheitsmoment im Querschnitt (Stegöffnung)
I_{bT}	Flächenträgheitsmoment des unteren T-Stücks, gegebenenfalls mit oder ohne Längssteifen
$I_{eff,a,o}$	wirksames Flächenträgheitsmoment im Querschnitt einer Öffnung zur globalen Analyse
I_{tT}	Flächenträgheitsmoment des oberen T-Stücks, gegebenenfalls mit oder ohne Längssteifen
k_o	Beiwert der Schubverformung bei <i>Vierendeel</i> -Biegung aufgrund des Einflusses der Längssteifen
L	Spannweite eines Trägers

$M_{add,Ed}$	Bemessungswert des Biegemoments infolge gleichförmiger Belastung des druckbeanspruchten T-Stücks an der Öffnung mit der Länge a_{eff} , unter der Annahme, dass es an seinen Enden eingespannt ist
$M_{bT,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit des unteren T-Stücks
M_{Ed}	Bemessungswert des globalen einwirkenden Biegemomentes an der Mittellinie der Öffnung
$M_{Ed,LT}$	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments des Bauteils, der zur Berechnung des Biegedrillknickversagens nach prEN 1993-1-1:2020, 8.3.2.1(1), zu verwenden ist
$M_{el,wp,Rd}$	Bemessungswert der elastischen Momententragfähigkeit des Stegpfostens
$M_{N,bT,Rd}$	Bemessungswert der aufgrund der Normalkraft abgeminderten Momententragfähigkeit des unteren T-Stücks
$M_{NV,T,Rd}$	Bemessungswert der aufgrund der Normal- und Querkraft abgeminderten Momententragfähigkeit eines T-Stücks
$M_{NV,bT,Rd}$	Bemessungswert der aufgrund der Normal- und Querkraft abgeminderten Momententragfähigkeit des unteren T-Stücks
$M_{NV,tT,Rd}$	Bemessungswert der aufgrund der Normal- und Querkraft abgeminderten Momententragfähigkeit des oberen T-Stücks
$M_{o,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit eines Trägers an der Position der Öffnung
$M_{pl,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit eines T-Stücks
$M_{wp,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments in der Nachweisebene, das auf den Stegpfosten wirkt
$M_{tT,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit des oberen T-Stücks
$M_{\phi,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments in der Nachweisebene, das in einer um den Winkel ϕ zur Vertikalen gedrehten Ebene um eine Öffnung wirkt
$M_{\phi,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit in der Nachweisebene, der in einer um den Winkel ϕ zur Vertikalen gedrehten Ebene um eine Öffnung wirkt
$M_{T,el,Rd}$	Bemessungswert der elastischen Momententragfähigkeit des T-Stücks
$M_{T,pl,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit des T-Stücks
$M_{T,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit des druckbeanspruchten T-Profils in der Nachweisebene des Stegs
N_{Ed}	Bemessungswert der auf den Querschnitt einwirkenden Normalkraft
$N_{b,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft im unteren T-Stück
$N_{T,Ed}$	Bemessungswert der auf das druckbeanspruchte T-Stück einwirkenden Normalkraft infolge von globaler Biegung und zusätzlichen Normalkräften
$N_{ep,Rd}$	Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit des Endpfostens
$N_{bT,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit des unteren T-Stücks
$N_{b,Rd}$	Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit des druckbeanspruchten T-Stücks bei Knicken in der Nachweisebene des Stegs, ermittelt über eine Knicklänge von $0,5a_{eff}$

$N_{m,Ed}$	Bemessungswert der auf ein T-Stück einwirkenden Normalkraft infolge von globaler Biegung an der Mittellinie der Öffnung
$N_{o,pl,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Normalkraft-Querschnittstragfähigkeit des Stahlprofils mit Öffnung
$N_{pl,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit
$N_{t,Ed}$	Bemessungswert der auf das obere T-Stück einwirkenden Normalkraft
$N_{T,el,Rd}$	Bemessungswert des druckelastischen Widerstands des T-Stücks
$N_{T,pl,Rd}$	Bemessungswert des druckplastischen Widerstands des T-Stücks
$N_{tT,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit des oberen T-Stücks
$N_{w,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Drucknormalkraft im Steg neben einer Öffnung
$N_{w,Rd}$	Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit des Stegs neben einer Öffnung
$N_{wp,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Drucknormalkraft im Stegpfosten zwischen Öffnungen
$N_{wp,Rd}$	Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit des Stegs zwischen Öffnungen
$N_{\phi,Ed}$	Bemessungswert der senkrecht zur Nachweisebene im Winkel ϕ zur Vertikalen um eine Öffnung einwirkenden Normalkraft
$N_{\phi,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit (Zug oder Druck) in der Nachweisebene im Winkel ϕ zur Vertikalen um eine Öffnung
n_o	Anzahl von gleichmäßig verteilten Öffnungen entlang des Trägers
r	Walzradius eines gewalzten Profils
r_o	Radius des Rands einer Öffnung
s	Mittenabstand von benachbarten Öffnungen
s_e	Breite des Endpfostens zwischen dem Anschluss und dem nächstgelegenen Rand der ersten Öffnung
$s_{e,eff}$	wirksame Breite des Endpfostens
s_o	Abstand zwischen den Rändern von Öffnungen ($= s - a_o$)
$s_{o,eff}$	wirksame Breite des Stegpfostens hinsichtlich des Schlankheitsgrads bei Knicken des Stegpfostens
s_{wp}	Breite des kritischen Querschnitts des Stegpfostens
t_f	Flanschdicke (die Indizes b (bottom) und t (top) beziehen sich auf den Unter- bzw. Oberflansch)
t_w	Stegdicke (die Indizes b (bottom) und t (top) beziehen sich auf den unteren bzw. oberen Steg)
$t_{w,min}$	Minimale Stegdicke für Träger mit unterschiedlichen Stegdicken
$t_{w,tT}$	Stegdicke des oberen T-Stücks
$t_{w,bT}$	Stegdicke des unteren T-Stücks

$V_{\phi,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Kraft, die parallel zur Nachweisebene im Winkel ϕ zur Vertikalen um eine Öffnung wirkt
$V_{b,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft im unteren T-Stück
$V_{b,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit des unteren T-Stücks, begrenzt durch die reine Querkraft oder durch <i>Vierendeel</i> -Biegung
V_{Ed}	Bemessungswert der auf den Träger einwirkenden Querkraft an der Mittellinie der Öffnung
$V_{m,Ed}$	Bemessungswert der auf ein T-Stück einwirkenden Querkraft aufgrund von globaler Biegung an der Mittellinie der Öffnung
$V_{pl,Rd,b}$	Bemessungswert der plastischen Querkrafttragfähigkeit des unteren T-Stücks
$V_{pl,Rd,t}$	Bemessungswert der plastischen Querkrafttragfähigkeit des oberen T-Stücks
$V_{o,pl,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Querkrafttragfähigkeit an der Öffnung
$V_{pl,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Querkrafttragfähigkeit des Bruttoquerschnitts (ohne Stegöffnung)
$V_{ser,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft an der Mittellinie der Öffnung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$V_{t,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft im oberen T-Stück
$V_{t,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit des oberen T-Stücks, begrenzt durch die reine Querkraft oder durch <i>Vierendeel</i> -Biegung
$V_{Vier,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit infolge <i>Vierendeel</i> -Biegung entlang der Öffnung
$V_{w,Ed}$	Bemessungswert der auf den Steg einwirkenden Druckkraft
$V_{w,Rd}$	Bemessungswert des Beulwiderstands des Stegs
$V_{wp,Ed}$	Bemessungswert der auf den Stegpfosten einwirkenden horizontalen Querkraft
$V_{wp,Rd}$	Bemessungswert der horizontalen Querkrafttragfähigkeit des Stegpfostens
$w_{Vier,add}$	zusätzliche Durchbiegung entlang einer Öffnung infolge <i>Vierendeel</i> -Biegung
w_{add}	zusätzliche Mittendurchbiegung aufgrund von Stegöffnungen
w_b	Mittendurchbiegung des Trägers ohne Stegöffnungen
x_o	Abstand vom Mittelpunkt einer Öffnung zum nächsten Auflager
z_b, z_t	Abstand vom Schwerpunkt des T-Profils zur Außenkante des Flansches (die Indizes b (bottom) und t (top) beziehen sich auf den Unter- bzw. Oberflansch)
α	Verhältnis des Mittenabstands von runden Öffnungen zum Öffnungsdurchmesser; $\alpha = s/h_o$
α_V	Interaktionsbeiwert für die <i>Vierendeel</i> -Momententragfähigkeit von Trägern mit sinusförmiger Öffnung
ε	Werkstoffparameter in Abhängigkeit von f_y ; $\varepsilon = (235/f_y)^{0,5}$
$\bar{\lambda}_w$	Schlankheitsgrad des Stegs neben einer Öffnung

$\bar{\lambda}$	Schlankheitsgrad
$\bar{\lambda}_{ep}$	Schlankheitsgrad eines Endpfostens
$\bar{\lambda}_{wp}$	Schlankheitsgrad eines Stegpfostens zwischen dicht beieinanderliegenden Öffnungen
λ_1	Schlankheit zur Bestimmung des Schlankheitsgrads
γ_{M0}, γ_{M1}	Teilsicherheitsbeiwerte für Stahl
Γ_{MNV}	Interaktionsparameter für Moment, Querkraft und Normalkraft an einem T-Stück (die Indizes bT und tT beziehen sich auf das obere (top) bzw. auf das untere (bottom) T-Stück)
Γ_{MNV0}	Interaktionsparameter für Moment, Querkraft und Normalkraft an einer Öffnung
κ	überkritischer Beiwert bei Beulen des Stegpfostens
ψ	Momentenverhältnis
ϕ	Winkel zur Vertikalen um eine runde Öffnung
$\sigma_{w,cr}$	kritische Hauptspannung im Steg
χ_{ep}	Abminderungsfaktor für Biegeknicken des Endpfostens
χ_w	Abminderungsfaktor für Biegeknicken des Steges
χ_{wp}	Abminderungsfaktor für Biegeknicken des Stegpfostens
ξ	Formfaktor

4 Grundlagen der Tragwerksplanung

4.1 Allgemeines

(1) Die Bemessung und Konstruktion von Trägern mit großen Stegöffnungen muss in Übereinstimmung mit den allgemeinen Bemessungsregeln von EN 1990 und EN 1991 (alle Teile) sowie den spezifischen Bemessungsregeln für Stahlbauten von EN 1993-1-1 erfolgen.

(2) Stahlbauten, deren Bemessung und Konstruktion nach diesem Dokument erfolgt ist, müssen nach EN 1090-2 ausgeführt werden, wobei die Baustoffe und Bauprodukte entsprechend den Festlegungen der einschlägigen Teile von EN 1993 oder entsprechend den maßgebenden Werkstoff- und Produktnormen zu verwenden sind.

4.2 Nachweisverfahren

(1) Der Nachweis für Stahlträger sollte EN 1993-1-1 und EN 1993-1-5 entsprechen.

(2) Die folgenden zusätzlichen Nachweise sind an den Positionen der Stegöffnungen durchzuführen, die in diesem Dokument behandelt werden:

- a) globale Momententragfähigkeit;
- b) Querkraftbeanspruchbarkeit;
- c) kombinierte *Vierendeel*-Momententragfähigkeit der T-Stücke, reduziert für Normal- und Querkräfte;

- d) Stabilität des T-Stücks unter Druckbeanspruchung an langen Öffnungen;
 - e) Beanspruchung von Stegpfosten durch Querkraft, Biegung und Biegeknicken.
- (3) Die folgenden zusätzlichen Nachweise sind an Trägern mit Stegöffnungen durchzuführen:
- a) Biegedrillknicken, das in diesem Dokument behandelt wird;
 - b) zusätzliche Durchbiegungen, verursacht durch die Öffnungen, was in diesem Teil behandelt wird;
 - c) Nachweise an Anschlüssen und Lasteinleitungspunkten an oder nahe den Öffnungen, was separate Nachweise erfordern kann.

Für Stahlträger, die aus zwei verschweißten T-Stücken hergestellt werden, sollten Nachweise erbracht werden, um den Bruch der Stegpfostennaht zwischen oberem und unterem T-Stück zu vermeiden.

(4) Für weit auseinanderliegende Öffnungen mit einer maximalen Größe von weniger als 30 % der Profilhöhe und mit einer Exzentrizität ihrer Mittellinie von höchstens 10 % der Profilhöhe reicht der Querkraftnachweis nach 8.2 aus, um die anderen unter (2) genannten Nachweise zu erfüllen, sofern die Schlankheit des Stegs 72ε nicht überschreitet. Für runde Öffnungen darf der maximale Durchmesser auf 40 % der Profilhöhe erhöht werden.

4.3 Verfahren zur *Vierendeel*-Biegebemessung

4.3.1 Verfahren mit äquivalenter rechteckiger Öffnung

(1) Die Bemessungsgrundlage für die *Vierendeel*-Biegung ist es, die Form der Öffnungen durch ein äquivalentes Rechteck darzustellen, um die aufgebrachten Biegemomente und die Momententragfähigkeiten der T-Profile zu bestimmen.

(2) Für die Formen der Öffnungen, die in Bild 1.1 dargestellt sind, sind die Maße der äquivalenten Rechtecköffnungen, die für den Nachweis der *Vierendeel*-Biegung verwendet werden dürfen, in 8.4 angegeben.

4.3.2 Alternative Verfahren

(1) In 8.9 ist ein alternatives Verfahren für runde Öffnungen angegeben, das auf dem Gleichgewicht in radialen Ebenen um eine Öffnung herum beruht. Dieses Verfahren darf mit alternativen Verfahren für Stegpfostenknicken kombiniert werden, die in 8.10 beschrieben sind und innerhalb festgelegter Anwendungsgrenzen verwendet werden dürfen.

(2) Für sinusförmige Öffnungen ist ein alternatives Verfahren in 8.11 angegeben.

4.4 Toleranzen

(1) Für Profile mit Stegöffnungen sollten die Toleranzen von EN 1090-2 übernommen werden.

(2) Die Maße der Öffnungen sollten die Nennmaße nicht mehr als 5 mm überschreiten.

(3) Um ein Überschneiden der rechteckigen Öffnungen an den Ecken der Öffnungen zu vermeiden, sollten die Ecken profiliert werden, oder es sollten Löcher an den Ecken der Öffnungen vorgebohrt werden, an denen die horizontalen und vertikalen Schnitte vorgenommen werden. Der Mindestradius in den Ecken der Öffnungen beträgt 10 mm.

5 Werkstoffe

5.1 Allgemeines

(1) Dieses Dokument behandelt die Konstruktion und Bemessung von Stahlträgern mit Stegöffnungen, bei denen der Stahl den in prEN 1993-1-1:2020, Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2, aufgeführten Stahlsorten entspricht.

(2) Für die Nachweisverfahren um die Stegöffnungen herum, die auf der örtlichen Plastizität beruhen, ist die höchste Stahlsorte S460.

(3) Für Stahlsorten über S460 und bis zu S700 sollten elastische Widerstände verwendet werden.

(4) Für die Flansche und Stege bzw. die oberen und unteren T-Stücke dürfen unterschiedliche Stahlsorten verwendet werden, sofern in den Nachweisverfahren nach diesem Dokument die maßgebende Stahlfestigkeit verwendet wird.

(5) Die Werkstoffeigenschaften sollten den Festlegungen von prEN 1993-1-1:2020, 5.2, entsprechen.

5.2 Schweißen

(1) Für geschweißte Profile und für das Schweißen der Stegpfosten zwischen gewalzten Profilen sollte die Ausführung der Schweißung mit den zu aufzunehmenden Kräften kompatibel sein. Die Schweißung der Stegpfosten sollte durchgängig sein.

(2) Eine Verformung des Stags, die auf die Schweißung zurückzuführen ist, sollte innerhalb der festgelegten Herstelltoleranzen bleiben.

6 Dauerhaftigkeit

(1) Die grundlegenden Anforderungen an die Dauerhaftigkeit sind in EN 1993-1-1 festgelegt.

7 Tragwerksberechnung

7.1 Berechnungsverfahren

(1) Für Träger mit großen Stegöffnungen sollte eine elastische Tragwerksberechnung durchgeführt werden, außer wie in (2) angegeben.

(2) Die plastische Tragwerksberechnung darf nach EN 1993-1-1 erfolgen, sofern nachgewiesen werden kann, dass sich plastisches Gelenk nur in einem Abstand zum Rand einer Öffnung bilden, der größer ist, als das Doppelte der Höhe des Trägerprofils.

7.2 Bauteilsteifigkeit für die globale Tragwerksberechnung

(1) Bei der Berechnung des Tragwerks, das aus Bauteilen mit einzelnen oder mehreren Stegöffnungen besteht, sollte der Einfluss der Öffnungen auf die Biegesteifigkeit berücksichtigt werden. Bei Öffnungen mit einer maximalen Größe von nicht mehr als 50 % der Profilhöhe darf dieser Einfluss bei der Tragwerksberechnung vernachlässigt werden.

(2) Für Träger, für die gilt $L/h \geq 18$, darf in der Regel ein Verlust der Schubsteifigkeit einer Reihe von runden oder sechseckigen Öffnungen, die in regelmäßigen Abständen angeordnet sind, und damit ihr Einfluss auf die Bauteilsteifigkeit bei der Tragwerksberechnung vernachlässigt werden. In diesem Fall darf das wirksame Flächenträgheitsmoment des Trägers mit mehreren Öffnungen wie folgt bestimmt werden:

$$I_{\text{eff,a,o}} = I_a - n_o \left(\frac{a_{\text{eff}}}{L} \right) \frac{h_o^3 t_w}{12} \quad (7.1)$$

Dabei ist

- I_a das Flächenträgheitsmoment im Querschnitt ohne Stegöffnungen;
- n_o die Anzahl der Öffnungen, die in gleichmäßigen Abständen verteilt sind;
- a_{eff} die wirksame Länge der Öffnung nach 7.5(4).

(3) Für Träger, für die gilt $L/h < 18$, sollte die zusätzliche Nachgiebigkeit, die auf dem Einfluss der Querkraft beruht, die auf eine Reihe gleichmäßig verteilter runder oder sechseckiger Öffnungen wirkt, berücksichtigt werden. Die wirksame Biegesteifigkeit des Trägers infolge von Biegung und Schub an den Öffnungen darf verringert werden, und das entsprechende wirksame Flächenträgheitsmoment ergibt sich wie folgt:

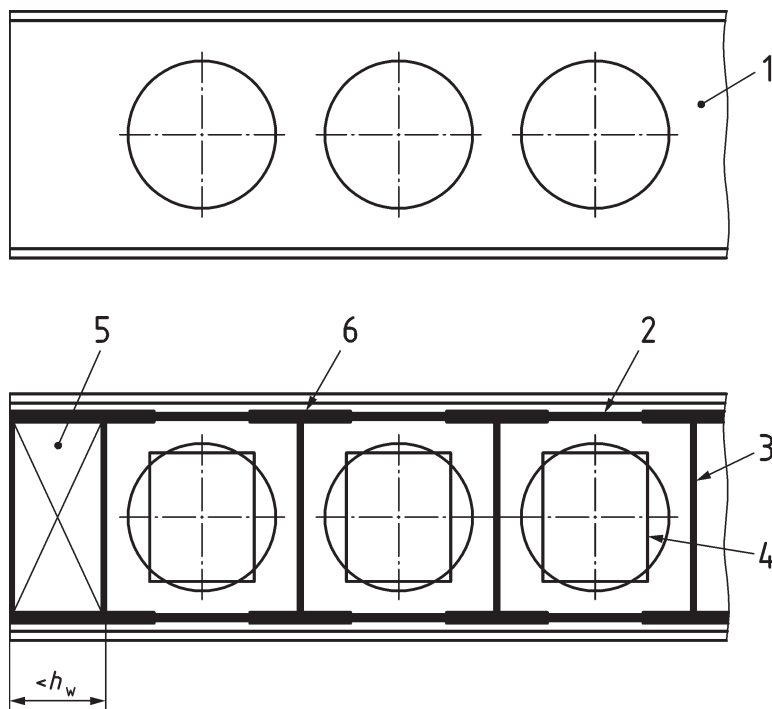
$$I_{\text{eff,a,o}} = I_a \left[1 + \frac{n_o}{12} \left(\frac{a_{\text{eff}}}{L} \right) \frac{h_o^3 t_w}{I_a} + 0,8 n_o \left(\frac{a_{\text{eff}}}{L} \right)^3 \frac{I_a}{(I_{bT} + I_{tT})} \right]^{-1} \quad (7.2)$$

Dabei sind

- I_{bT} und I_{tT} die Flächenträgheitsmomente des unteren bzw. oberen T-Stücks.

(4) Für Träger mit ungleichmäßig verteilten Öffnungen und für Träger mit gleichmäßig verteilten Öffnungen aber komplexeren Belastungen dürfen erweiterte Verfahren der Tragwerksberechnung angewendet werden, bei denen der Träger an den Positionen der Öffnungen als ein *Vierendeel*-Träger modellhaft dargestellt wird.

(5) Ein Träger mit mehreren Öffnungen, für den $L/h \geq 8$ gilt, darf für die Tragwerksberechnung in einen *Vierendeel*-Träger überführt werden, wobei äquivalente rechteckige Öffnungen mit den Maßen nach Tabelle 8.3 anzusetzen sind. Die Gurtstäbe dürfen durch Stabelementen im Schwerpunkt der T-Profile der äquivalenten rechteckigen Öffnung abgebildet werden. Der Gurtstab an der Öffnung (Legendenpunkt 2 in Bild 7.1) ist das T-Stück, das zu der äquivalenten rechteckigen Öffnung gehört. Die Stegpfosten (Legendenpunkt 3 in Bild 7.1) dürfen mit Stabelementen abgebildet werden, die entlang ihrer Achse positioniert sind und deren Querschnitseigenschaften denen der Stegfläche zwischen den äquivalenten rechteckigen Öffnungen entsprechen. Der Teil (Legendenpunkt 6 in Bild 7.1) der Gurtstäbe mit einer Länge gleich dem Mittenabstand der Öffnungen abzüglich der Breite der äquivalenten rechteckigen Öffnung sollte Querschnitseigenschaften aufweisen, die denen der Gurtfläche zuzüglich einer halben Stegfläche entsprechen. Der von einer Öffnung entfernt angeordnete Steg darf als ein Fachwerk (Legendenpunkt 5 in Bild 7.1) abgebildet werden, wobei die diagonalen Stäbe eine Querschnittsfläche von 50 % der vollen Steghöhe besitzen.



Legende

- 1 Träger mit gleichmäßig verteilten runden Öffnungen
- 2 Gurtstab
- 3 Pfosten
- 4 äquivalente Öffnung
- 5 Element ohne Öffnung (diagonale Fläche = $0,5h_w t_w$)
- 6 Gurtstab mit erhöhter Steifigkeit

Bild 7.1 — Modellhafte Darstellung eines Trägers mit gleichmäßig verteilten runden Öffnungen

7.3 Gebrauchstauglichkeit

(1) Die größere Verformung von Trägern aufgrund der Öffnungen sollte im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt werden. Vereinfachte Regeln zur Berücksichtigung der zusätzlichen Verformung infolge Biegung und Schub durch eine einzelne oder mehrere Öffnungen sind in Abschnitt 9 angegeben.

(2) Die Differenz zwischen den Verformungen an den beiden Enden einer einzelnen rechteckigen oder länglichen Öffnung sollte den in Abschnitt 9(5) angegebenen Grenzwert nicht überschreiten.

7.4 Querschnittsklassifizierung unter globaler Biegung

(1) Zur Ermittlung der globalen Momententragfähigkeit sollten die Querschnitte an jeder Stegöffnung und jedem Stegpfosten klassifiziert werden. An den Öffnungen sollten die Flansche oder der einseitig gestützte Steg, der als ein „einseitig gestützter Flansch“ behandelt wird, nach prEN 1993-1-1:2020, Tabelle 7.3 unter der Annahme einer reinen Druckbeanspruchung klassifiziert werden.

(2) Wenn der Flansch der Klasse 1 oder Klasse 2 angehört, darf der einseitig gestützte Klasse-3-Steg an der Öffnung als Klasse 2 eingestuft werden, wobei für die Profilhöhe der Grenzwert von Klasse 2 unter reiner Druckbeanspruchung anzusetzen ist.

(3) Wenn der Flansch der Klasse 1 bis Klasse 3 angehört, darf der einseitig gestützte Klasse-4-Steg an der Öffnung als Klasse 3 eingestuft werden, wobei für die Profilhöhe der Grenzwert von Klasse 3 unter reiner Druckbeanspruchung anzusetzen ist.

(4) Wenn der Flansch der Klasse 4 angehört, darf der einseitig gestützte Klasse-4-Flansch an der Öffnung als Klasse 3 eingestuft werden, wobei für die Breite der Grenzwert von Klasse 3 unter reiner Druckbeanspruchung anzusetzen ist.

7.5 Querschnittsklassifizierung von T-Stücken unter *Vierendeel*-Biegung

(1) Die Biegeeigenschaften von T-Profilen unter *Vierendeel*-Biegung sollten anhand der Querschnittsklasse des Flansches und des Steg ermittelt werden.

(2) Die Flanschklassifizierung sollte nach prEN 1993-1-1 erfolgen.

(3) Die einseitig gestützten Stege sollten in Abhängigkeit von der wirksamen Länge des T-Stücks an der Öffnung, a_{eff} , und der Höhe des Stegüberstands, d_t , klassifiziert werden. Bei gewalzten Profilen wird der Überstand d_t ausgehend vom Walzradius gemessen.

(4) Die wirksame Länge der Öffnung, a_{eff} , die für die Klassifizierung des einseitig gestützten Steges bei unterschiedlichen Formen von Öffnungen verwendet wird, sollte wie folgt bestimmt werden:

$a_{\text{eff}} = a_o$ – rechteckige Öffnungen;

$a_{\text{eff}} = 0,7h_o$ – runde und sechseckige Öffnungen;

$a_{\text{eff}} = a_o - 0,3h_o$ – längliche Öffnungen;

$a_{\text{eff}} = b_o + 0,5b_s$ – sinusförmige Öffnungen.

(5) einseitig gestützte Klasse-3-Stege mit einer Profilhöhe d_t dürfen für die *Vierendeel*-Biegung als in Klasse 2 eingestuft werden, wenn:

$$\text{Für } a_{\text{eff}} > 32t_w\varepsilon \quad d_t \leq \frac{10t_w\varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{32t_w\varepsilon}{a_{\text{eff}}}\right)^2}} \quad (7.3)$$

Alle einseitig gestützten Stege der Klasse 3 dürfen in Klasse 2 eingestuft werden, wenn $a_{\text{eff}} \leq 32t_w\varepsilon$.

Für einseitig gestützten Stege der Klasse 3 dürfen die wirksamen plastischen Querschnittseigenschaften mithilfe des Grenzwerts von d_t für einen Steg der Klasse 2 berechnet werden.

(6) einseitig gestützten Klasse-4 Stege mit einer Profilhöhe d_t dürfen für die *Vierendeel*-Biegung in Klasse 3 eingestuft werden, wenn:

$$\text{Für } a_{\text{eff}} > 36t_w\varepsilon \quad d_t \leq \frac{14t_w\varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{36t_w\varepsilon}{a_{\text{eff}}}\right)^2}} \quad (7.4)$$

Alle einseitig gestützten Stege der Klasse 4 dürfen in Klasse 3 eingestuft werden, wenn $a_{\text{eff}} \leq 36t_w\varepsilon$.

Für einseitig gestützte Stege der Klasse 4 dürfen die wirksamen elastischen Querschnittseigenschaften mithilfe des Grenzwerts von d_t für einen Steg der Klasse 3 berechnet werden.

(7) Wenn der Flansch der Klasse 4 angehört, darf der einseitig gestützte Klasse-4 Flansch bei *Vierendeel*-Biegung in die Klasse 3 eingestuft werden, wobei für die Breite der Grenzwert von Klasse 3 unter reiner Druckbeanspruchung anzusetzen ist.

(8) Zugbeanspruchung im T-Stück kann die Querschnittsklasse des Stegüberstand bei *Vierendeel*-Biegung verändern; diese Auswirkung darf entsprechend prEN 1993-1-1:2020, Tabelle 7.3, berücksichtigt werden.

7.6 Querschnittsklassifizierung von Längssteifen

(1) Der Querschnitt der Längssteife sollte nach prEN 1993-1-1:2020, Tabelle 7.3, klassifiziert werden.

(2) Die Längssteifen sollten Klasse 1, Klasse 2 oder Klasse 3 entsprechen. Gehören sie der Klasse 3 an, darf ihre wirksame Breite für den *Vierendeel*-Biegezugwiderstand auf die für Querschnitte der Klasse 2 geltenden Grenzwerte verringert werden.

8 Grenzzustand der Tragfähigkeit

8.1 Allgemeine Anforderungen an alle Öffnungen

8.1.1 Allgemeines

(1) Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sollten Nachweise an jeder Stegöffnung und auch in dem von den Öffnungen betroffenen Bereich durchgeführt werden. Die folgenden Abschnitte dieses Dokuments sollten im Rahmen dieser Nachweise angewendet werden:

- a) Querkraftbeanspruchbarkeit des Trägers — 8.2;
- b) Momententragfähigkeit des Trägers und Stabilität des druckbeanspruchten T-Stücks — 8.3;
- c) Querkrafttragfähigkeit unter *Vierendeel*-Biegung der T-Stücke — 8.4;
- d) Stabilität des Steges neben weit auseinanderliegenden Öffnungen — 8.5;
- e) Widerstand des Stegpfostens gegen Biegeknicken, Querkraft und Biegung zwischen dicht beieinanderliegenden Öffnungen — 8.6;
- f) Einfluss von Aussteifungen auf das Biegeknickenverhalten von Stegpfosten — 8.7;
- g) Biegeknickwiderstand und Querkraftbeanspruchbarkeit von Endpfosten neben den Anschlüssen — 8.8.1;
- h) Fälle, in denen Lasten oder Kräfte aufgebracht werden, die die Anwendung von Quersteifen erfordern können — 8.8.2;
- i) alternatives Verfahren für die *Vierendeel*-Biegung an runden Öffnungen unter Berücksichtigung der Radialspannungen — 8.9;
- j) alternatives Verfahren für das Biegeknicken von Stegpfosten zwischen runden Öffnungen — 8.10;
- k) alternatives Verfahren für die *Vierendeel*-Biegung von sinusförmigen Stegöffnungen — 8.11.

(2) Biegedrillknicken des Trägers sollte nach 8.12 nachgewiesen werden.

(3) Die Bemessungsverfahren nach dieser Norm gelten für Träger, die Normalkräften ausgesetzt sind, die $N_{o,pl,Rd}/50$ nicht überschreiten, wobei $N_{o,pl,Rd}$ der Bemessungswert der plastischen Normalkraft-Querschnittstragfähigkeit des Stahlprofils mit Öffnung ist. Für normalkraftbeanspruchte Träger, sollte der

Querschnitt der Klasse 1 oder Klasse 2 im Mittelpunkt der größten Öffnung angehören. Zum Nachweis der Tragfähigkeit der T-Stücke und zum Führen des Biegedrillknicknachweis für den Träger sollten die Normalkräfte zwischen den T-Stücken im Verhältnis zur deren Querschnittsflächen verteilt und sollten mit den lokalen Kräften infolge globaler Biegung und Schub kombiniert werden. Bei höheren Normalkräften sollten genauere Verfahren zur Anwendung kommen.

8.1.2 Geometrische Grenzen für unausgesteifte Stegöffnungen

(1) Für die Anwendung des in Abschnitt 8 angegebenen Verfahrens sind die Höchstmaße der Öffnungen ohne Längssteifen und die Mindesthöhen der T-Stücke in Tabelle 8.1 angegeben, wobei a_{eff} in 7.5(4) definiert ist.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Möglichkeit vorsehen, dass Grenzwerte überschritten werden dürfen, wenn dies durch erweiterte Berechnungen begründet wird.

Tabelle 8.1 — Grenzmaße für unterschiedliche Formen von unausgesteiften Öffnungen für die Anwendung dieses Dokuments

Form der Öffnung	Maximale Höhe der Öffnung, h_o	Maximale Länge der Öffnung, a_o	Mindest-Randabstand, s_o	Mindesthöhe des T-Stücks	
				Druckbeanspruchtes T-Stück	Zugbeanspruchtes T-Stück
Rund	$0,8h$	—	$0,1h_o$	$\text{Max}(t_f + r + 10 \text{ mm}; t_f + 30 \text{ mm})$	$\text{Max}(t_f + r + 10 \text{ mm}; t_f + 30 \text{ mm})$
Sechseckig	$0,75h$	$1,5h_o$	$0,25h_o$		
Rechteckig	$0,75h$	$2,5h_o$	$\text{Max}(0,5a_o; h_o)$	$\text{Max}(a_o/12; 0,1h)$	$0,1h$
Länglich	$0,8h$	$3h_o$	$\text{Max}(0,25a_{\text{eff}}; 0,5h_o)$	$a_{\text{eff}}/12$	$\text{Max}(t_f + r + 10 \text{ mm}; t_f + 30 \text{ mm})$
Sinusförmig	$0,8h$	$5h_o$	$0,25h_o$	$a_{\text{eff}}/12$	

(2) Für benachbarte Öffnungen mit unterschiedlichen Formen und Maßen darf der Mittelwert der jeweiligen Grenzwerte nach Tabelle 8.1 verwendet werden.

8.1.3 Geometrische Grenzen für Stegöffnungen mit Aussteifungen

(1) Die Mindest-Querschnittsfläche einer Längssteife über oder unter einer Öffnung sollte mindestens der halben Schubfläche des Stegs eines T-Profils, mit dem sie verbunden ist, entsprechen, damit eine Öffnung als ausgesteift gilt. Im Fall von beidseitig vorhandenen Längssteifen bezieht sich die Mindestfläche auf die kombinierte Fläche beider Steifen.

(2) Höchstmaße von rechteckigen, länglichen und sinusförmige Öffnungen mit Längssteifen und Mindestmaße sind in Tabelle 8.2 angegeben, wobei a_{eff} in 7.5 definiert ist.

Für runde und sechseckige Öffnungen mit Aussteifungen dürfen die Grenzmaße von Tabelle 8.1 angewendet werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Möglichkeit vorsehen, dass Grenzwerte überschritten werden dürfen, wenn dies durch erweiterte Berechnungen begründet wird.

Tabelle 8.2 — Grenzmaße für unterschiedliche Formen von ausgesteiften Öffnungen für die Anwendung dieses Dokuments

Form der Öffnung	Maximale Höhe der Öffnung, h_o	Maximale Länge der Öffnung, a_o	Mindest-Randabstand, s_o	Mindesthöhe des T-Stücks	
				Druckbeanspruchtes T-Stück	Zugbeanspruchtes T-Stück
Rechteckig	$0,75h$	$3,2h_o$	$\text{Max}(0,5a_o; h_o)$	$\text{Max}(a_o/14; 0,1h)$	$0,1h$
Länglich	$0,8h$	$3,5h_o$	$\text{Max}(0,25a_{\text{eff}}; 0,5h_o)$	$\text{Max}(a_{\text{eff}}/14; t_f + 50 \text{ mm})$	$t_f + 50 \text{ mm}$
Sinusförmig	$0,8h$	$5h_o$	$0,25h_o$		

(3) Für benachbarte ausgesteifte Öffnungen mit unterschiedlichen Maßen oder für benachbarte unausgesteifte und ausgesteifte Öffnungen mit unterschiedlichen Formen darf der Mittelwert der jeweiligen Grenzmaße von Tabelle 8.1 und Tabelle 8.2 verwendet werden.

8.2 Querkraftbeanspruchbarkeit im Bereich von Stegöffnungen

(1) Für die Durchführung von lokalen Nachweisen an jeder Stegöffnung darf die plastische Querkrafttragfähigkeit der T-Stücke herangezogen werden. Für den Bemessungswert der einwirkenden Querkraft, V_{Ed} , auf der Mittellinie der Öffnung sollte folgenden Nachweis erfüllen:

$$V_{\text{Ed}}/V_{\text{o,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.1)$$

Dabei ist

$$V_{\text{o,pl,Rd}} = V_{\text{pl,Rd,b}} + V_{\text{pl,Rd,t}} \quad (8.2)$$

Dabei ist

$V_{\text{pl,Rd,b}}$ und $V_{\text{pl,Rd,t}}$ der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit des unteren bzw. oberen T-Stücks, wie in prEN 1993-1-1:2020, 8.2.6(2) und (3), definiert.

Im Fall von symmetrischen Profilen darf Gleichung (8.3) angewendet werden:

$$V_{\text{o,pl,Rd}} = \left[V_{\text{pl,Rd}} - \frac{h_o t_w f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right] < V_{\text{w,b,Rd}} \quad (8.3)$$

Dabei ist

$V_{\text{pl,Rd}}$ der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit des Bruttoquerschnitts (ohne Stegöffnungen) nach prEN 1993-1-1:2020, 8.2.6;

$V_{\text{w,b,Rd}}$ der Schubbeulwiderstand des Stegs ohne Stegöffnungen nach prEN 1993-1-5:2022, 5.3.

(2) Wenn $V_{\text{Ed}} > 0,5V_{\text{o,pl,Rd}}$, sollte der Einfluss großer vertikaler Schubkräfte auf die Biege- und Normalkraftbeanspruchbarkeit berücksichtigt werden, indem die Streckgrenze der Schubfläche der T-Stücke nach prEN 1993-1-1:2020, 8.2.10(3), wie folgt abgemindert wird:

$$f_{y,\text{red}} = f_y [1 - \rho] \quad \text{für } V_{\text{Ed}}/V_{\text{o,pl,Rd}} > 0,5 \quad (8.3)$$

Dabei ist

$$\rho = (2V_{Ed}/V_{o,pl,Rd} - 1)^2 \quad (8.4)$$

ANMERKUNG Bei T-Stücken aus unterschiedlichen Stahlsorten ergibt sich der Wert von ρ für den Querschnitt an der Öffnung durch Anwendung von Gleichung (8.4); die abgeminderte Streckgrenze $f_{y,red}$ wird unter Berücksichtigung der Querkraftbeanspruchung separat für das obere und das untere T-Stück mit Gleichung (8.3) berechnet. Werte von V_{Ed} für jedes T-Stück in Gleichung (8.4) können mit Gleichung (8.16) und Gleichung (8.17) erhalten werden. Diese abgeminderten Streckgrenzen gelten dann für die jeweilige Schubfläche des Stegs bei der Berechnung der plastischen Momententragfähigkeit des Profils an den Öffnungen.

(3) Wenn die kombinierte Fläche des Stegs der T-Stücke 70 % der gesamten Schubfläche der T-Stücke überschreitet, darf die wirksame Dicke des Stegs alternativ ermittelt werden, indem sie über das Verhältnis zu $f_{y,red}/f_y$ abgemindert wird.

8.3 Biegebeanspruchbarkeit eines Trägers mit Stegöffnungen

8.3.1 Allgemeines

(1) Für den Bemessungswert der Momententragfähigkeit des Stahlträgers an der Position der Öffnung, $M_{o,Rd}$, ist folgender Nachweis zu erfüllen:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{o,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.5)$$

(2) Zur Vereinfachung darf der Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit des Stahlträgers an der Position der Öffnung, $M_{o,pl,Rd}$, wie folgt ermittelt werden:

$$M_{o,pl,Rd} = (h - z_b - z_t) \min(A_{bT} f_{y,bT}; A_{tT} f_{y,tT}) / \gamma_{M0} \quad (8.6)$$

(3) Für unsymmetrische Querschnitte darf der Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit an der Position der Nulllinie des Querschnitts berechnet werden.

(4) Bei der Ermittlung des Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit nach Gleichung (8.6) sollte die Interaktion mit der Querkraft nach 8.2(2) oder (3) berücksichtigt werden.

(5) Für Querschnitte der Klasse 3 sollte der Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit des Trägerquerschnitts aus seinen effektiven plastischen Eigenschaften an der Mittellinie der Öffnung berechnet werden, wobei die wirksame Höhe des druckbeanspruchten einseitig gestützten Steges auf den Grenzwert für Klasse 2 abgemindert wird.

(6) Für Querschnitte der Klasse 4 sollte der Bemessungswert der elastischen Momententragfähigkeit des Trägerquerschnitts aus seinen effektiven elastischen Eigenschaften an der Mittellinie der Öffnung berechnet werden, wobei die wirksame Breite der druckbeanspruchten Teile auf die Grenzwerte für Klasse 3 abgemindert werden.

8.3.2 Biegeknickwiderstand des druckbeanspruchten T-Stücks bei langen Öffnungen

(1) Eine Öffnung ist eine lange Öffnung, wenn $a_{eff} > 6h_T \varepsilon (M_{o,Rd}/M_{Ed})^{0,5}$. Dabei ist h_T die Höhe des druckbeanspruchten T-Stücks, $M_{Ed}/M_{o,Rd}$ ist in 8.3.1(1) angegeben und a_{eff} ist in 7.5(4) angegeben.

(2) Für lange Öffnungen sollte die Stabilität des druckbeanspruchten T-Stücks nach EN 1993-1-1 nachgewiesen werden, wobei die Bemessungswerte der Biegemomente infolge der *Vierendeel*-Biegung, die Bemessungswerte der auf das Bauteil einwirkenden Biege- und Drucknormalkräfte, und die

Bemessungswerte der auf das T-Stück aufgetragenen gleichmäßig verteilten Lasten berücksichtigt werden; Folgende Anforderung sollte dabei erfüllt sein:

$$\frac{N_{T,Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{0,4M_{T,Ed} + M_{add,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.7)$$

Dabei ist

$$M_{T,Ed} = \frac{V_{Ed}a_{eff}}{4} + N_{T,Ed} * \frac{2w_{Vier,add}}{2} \quad (8.8)$$

$M_{add,Ed}$ der Bemessungswert des Biegemoments infolge der gleichförmiger Belastungen, die auf das druckbeanspruchte T-Stück an der Öffnung mit der Länge a_{eff} aufgebracht werden, unter der Annahme, dass es an seinen Enden eingespannt ist;

$M_{T,Rd}$ der Bemessungswert der Momententragfähigkeit des druckbeanspruchten T-Stücks in der Nachweisebene des Stegs, der auf der Mittellinie der Öffnung bestimmt wird;

$N_{T,Ed}$ der Bemessungswert der Normalkraft, die auf das druckbeanspruchte T-Stück infolge globaler Biegung und zusätzlicher Normalkräfte wirkt;

$N_{b,Rd}$ der Bemessungswert des Biegeknickwiderstands des druckbeanspruchten T-Stücks bei Knicken in der Nachweisebene des Stegs, der für eine Knicklänge von $0,5a_{eff}$ ermittelt wird.

(3) In Gleichung (8.8) wird die Exzentrizität der Normalkraft entlang der Öffnung im Grenzzustand der Tragfähigkeit als $2w_{Vier,add}$ angenommen, wobei $w_{Vier,add}$ die relative Verformung entlang der Öffnung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist, die nach Abschnitt 9(6) berechnet werden darf, oder die konservativ als $w_{Vier,max}$ nach Abschnitt 9(5) angenommen werden darf.

8.4 Tragfähigkeit der T-Stücke unter Vierendeel-Biegung

(1) Die Querkraftbeanspruchbarkeit unter Vierendeel-Biegung sollte aus den kombinierten Biege- und Querkraftwiderständen der T-Stücke, geteilt durch die äquivalente Länge der Öffnung, a_{eq} , nach Tabelle 8.3 in (5), ermittelt werden.

(2) Die Höhe der äquivalenten rechteckigen Öffnung, h_{eq} , nach Tabelle 8.3, und die Exzentrizität der Position der Öffnung, e_o , relativ zur Mittellinie des Trägers, sollten verwendet werden, um die Maße der T-Stücke zu bestimmen, mit denen in (5) deren Bemessungswerte der aufgrund der Normal- und Querkraft abgeminderten Momententragfähigkeit zu ermitteln.

(3) Falls die Biege- und Querkraftwiderstände des oberen und des unteren T-Stücks verschieden sind, sollte der Einfluss auf die Verteilung des Momentes im Stegpfosten für dicht beieinanderliegende Öffnungen in 8.6.2(4) berücksichtigt werden.

(4) Für den Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit unter Vierendeel-Biegung an der Position der Öffnung sollte folgender Nachweis erfüllt sein:

$$V_{Ed}/V_{Vier,Rd} \leq 1,0 \quad (8.9)$$

(5) Der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit unter Vierendeel-Biegung beträgt:

$$V_{Vier,Rd} = (2M_{NV,bT,Rd} + 2M_{NV,tT,Rd})/a_{eq} \quad (8.10)$$