# DIN 18088-3

DIN

ICS 27.180

Einsprüche bis 2018-01-10

***Entwurf***

# Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen – Teil 3: Stahlbauten

Structures for wind turbines and platforms –
Part 3: Steel structures

Structures de aérogénérateurs et de plates-formes –
Partie 3: Structures en acier

## Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-11-10 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, 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 40 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

© DIN Deutsches Institut für Normung e. V. - Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.
Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

Preisgruppe 16
www.din.de
www.beuth.de

2772679

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

# Inhalt

Seite

Vorwort ... 4

1 Anwendungsbereich ... 5

2 Normative Verweisungen ... 5

3 Begriffe ... 7

4 Symbole und Abkürzungen ... 8

5 Grundlagen der Tragwerksplanung ... 8
5.1 Allgemeines ... 8
5.2 Einwirkungen, Umgebungseinflüsse und Nutzungsdauer ... 8
5.3 Dauerhaftigkeit ... 8
5.3.1 Ergänzende Regelungen für den Offshorebereich ... 9
5.4 Festlegung und Dokumentation der Ausführungsklassen ... 9

6 Werkstoffe ... 10
6.1 Allgemeines ... 10
6.2 Baustahl ... 10
6.2.1 Allgemeines ... 10
6.2.2 Regelungen für den Offshorebereich ... 10
6.2.3 Zusätzliche Anforderungen bei dreiaxialen Spannungszuständen in Bauteilen für den Offshorebereich ... 10
6.3 Bruchzähigkeit und Reckalterungsempfindlichkeit ... 11
6.3.1 Allgemein ... 11
6.3.2 Regelungen für Tragstrukturen für Windenergieanlagen für den On- und Offshorebereich ... 12
6.3.3 Regelungen für Tragstrukturen für Offshore-Plattformen ... 12
6.3.4 Stahlgütewahl für den Offshorebereich ... 12
6.3.5 Ringflansche ... 13
6.4 Auswahl der Stahlsorten im Hinblick auf Eigenschaften in Dickenrichtung ... 14
6.4.1 Allgemeines ... 14
6.4.2 Ringflanschverbindungen ... 14
6.4.3 Türzargen ... 15
6.5 Verbindungsmittel ... 16
6.5.1 Schrauben und Bolzen ... 16

7 Tragwerksberechnung ... 16
7.1 Allgemeines ... 16
7.2 Modelle, vereinfachte Ansätze ... 17
7.2.1 Ringflanschverbindungen ... 17
7.2.2 Turmschale ... 17

8 Grenzzustände der Tragfähigkeit ... 17
8.1 Allgemeines ... 17
8.2 Schraubenverbindungen ... 17
8.3 Stabilitätsnachweise ... 18
8.3.1 Allgemein ... 18
8.3.2 Spannungsbasierter Beulnachweis ... 19
8.3.3 Numerischer Beulnachweis ... 19
8.3.4 Beulnachweise im Bereich von Türöffnungen ... 19

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

8.3.5 Pfahlfußbeulen (Pile tip buckling) ... 21

9 Grenzzustände der Ermüdung ... 22
9.1 Allgemeines ... 22
9.1.1 Verwendung von Nennspannungen ... 23
9.1.2 Verwendung von Strukturspannungen ... 23
9.1.3 Querlaufende Stumpfnähte ... 23
9.1.4 Unversteifte Übergänge zwischen Zylinder- und Kegelstumpfschalen ... 24
9.1.5 Unversteifte runde oder elliptische Öffnungen ... 24
9.1.6 Rundstähle und Bolzen ... 24
9.1.7 Ergänzende Regelungen für den Offshorebereich ... 25
9.2 Ermüdungsbeanspruchung ... 26
9.3 Ermüdungsfestigkeit ... 27
9.3.1 Wöhlerlinien ... 27
9.3.2 Anwendung der schadensäquivalenten Einstufenkollektive ... 28
9.3.3 Ringflanschverbindungen ... 28

10 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit ... 31

Anhang A (informativ) Plastische Versagenszustände zur Ringflanschbemessung ... 32

Anhang B (informativ) Berechnung der Schraubenkraftfunktion nach Schmidt/Neuper ... 35

Anhang C (informativ) Zusätzliche Kerbfälle ... 37
C.1 Kerbfall für Schrauben, wenn nur Axialkräfte berücksichtigt werden ... 37
C.2 Kerbfall für das Detail T-Flansch/Mantelblech ... 37
C.3 Mittels Laborversuchen qualifizierte Kerbfälle ... 38

Anhang D (informativ) Sonderkonstruktionen ... 39
D.1 Kopfflansche ... 39

Literaturhinweise ... 40

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

# Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 005-51-07 AA „Windenergieanlagen“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) erarbeitet.

Dieses Dokument ergänzt DIN EN 1993-1-1 im Hinblick auf Windenergieanlagen und Plattformen.

Rahmen und Aufbau dieses Dokuments entsprechen DIN EN 1993-1-1. Dieses Dokument enthält jedoch Prinzipien und Anwendungsregeln, die ausschließlich für Windenergieanlagen und Plattformen gelten.

Alle Absätze von DIN EN 1993-1-1 gelten in der Regel weiterhin, wenn sie nicht durch dieses Dokument spezifiziert oder ergänzt werden.

DIN 18088, *Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen* besteht aus:

— *Teil 1: Grundlagen und Einwirkungen;*

— *Teil 2: Stahlbeton- und Spannbetontragwerke;*

— *Teil 3: Stahlbauten;*

— *Teil 4: Baugrund und Gründungselemente;*

— *Teil 5: Verbindungen zwischen Stahlbauten und Stahlbeton- und Spannbetontragwerken.*

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

## 1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Nachweise der Standsicherheit der Tragstrukturen von Windenergieanlagen und Plattformen in Stahlbauweise.

Die Regelungen dieser Norm gelten, soweit nicht ausdrücklich eingeschränkt, sowohl für On- als auch Offshoreanwendungen. Regelungen, die nur für einen Anwendungsbereich gültig sind, werden im Normentext kenntlich gemacht.

Konstruktion und Bemessung der Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen in Stahlbauweise richten sich nach den einschlägigen Technischen Baubestimmungen DIN EN 1993 für vergleichbare Konstruktionen, wie Antennentragwerke, Schornsteine, Masten u. ä., sofern in dieser Norm keine anderen Regelungen getroffen werden. Die Ausführung richtet sich nach den Bestimmungen der DIN EN 1090, sofern anwendbar.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 18088-1, *Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen — Teil 1: Grundlagen und Einwirkungen*

DIN EN 1090-2:2011-10, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011*

DIN EN 1990:2010-12, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010*

DIN EN 1990/NA:2010-12, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

DIN EN 1993-1-1:2010-12, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005+AC:2009*

DIN EN 1993-1-1/A1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005/A1:2014*

DIN EN 1993-1-1/NA, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN 1993-1-6: 2010-12, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007+AC:2009*

DIN EN 1993-1-6/NA, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*

DIN EN 1993-1-8:2010-12, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+AC:2009*

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

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

DIN EN 1993-1-9/NA, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-9: Ermüdung*

DIN EN 1993-1-10:2010-12, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005+AC:2009*

DIN EN 10025-1, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen*

DIN EN 10025-2, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

DIN EN 10025-3, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle*

DIN EN 10025-4, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle*

DIN EN 10164, *Stahlerzeugnisse mit verbesserten Verformungseigenschaften senkrecht zur Erzeugnisoberfläche — Technische Lieferbedingungen*

DIN EN 10204:2005-01, *Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen; Deutsche Fassung EN 10204:2004*

DIN EN 10210-1, *Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

DIN EN 10210-2, *Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte*

DIN EN 10219-1, *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

DIN EN 10225:2009-10, *Schweißgeeignete Baustähle für feststehende Offshore-Konstruktionen — Technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung EN 10225:2009*

DIN EN 14399-1, *Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

DIN EN 61400-1:2011-08, *Windenergieanlagen — Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005+A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005+A1:2010*

DIN EN 61400-3, *Windenergieanlagen — Teil 3: Auslegungsanforderungen für Windenergieanlagen auf offener See*

DIN EN ISO 898-1, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen — Regelgewinde und Feingewinde*

DIN EN ISO 1461, *Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrachte Zinküberzüge (Stückverzinken) — Anforderungen und Prüfungen*

DIN EN ISO 2063, *Thermisches Spritzen — Metallische und andere anorganische Schichten — Zink, Aluminium und ihre Legierungen*

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

DIN EN ISO 5817, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten*

DIN EN ISO 12944-1, *Beschichtungsstoffe — Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme — Teil 1: Allgemeine Einleitung*

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

DIN EN ISO 12944-6, *Beschichtungsstoffe — Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme — Teil 6: Laborprüfungen zur Bewertung von Beschichtungssystemen*

DASt-Richtlinie 021, *Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M39 bis M72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die Begriffe nach DIN EN 1993, DIN 18088-1 und die folgenden Begriffe.

**3.1**
**Turmsektion**
zylindrisches oder konisches Turmbauteil mit Ringflanschen an beiden Enden

**3.2**
**Schuss**
einzelnes Blech zwischen zwei horizontalen Schweißnähten als Bestandteil einer Turmsektion

**3.3**
**Markov-Matrizen**
Matrizen, die aus den Zeitreihen und den zugehörigen Häufigkeiten der Ermüdungslastfälle mittels Auszählverfahren (z. B. Rainflow-Count) ermittelt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie enthalten Schwingweiten, Mittelwerte und Lastspielzahlen.

**3.4**
**Mehrstufenkollektive**
vereinfachte Markov-Matrizen ohne Mittelwerte

**3.5**
**schadensäquivalente Einstufenkollektive**
**DEL**
(en: Damage Equivalent Load)
Einstufenkollektive, die unter Annahme einer konstanten Wöhlersteigung die gleiche Schädigung wie Mehrstufenkollektive erzeugen

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

# 4 Symbole und Abkürzungen

Formelzeichen im Hinblick auf WEA, Ergänzung von nicht bereits in DIN 18088-1 definierten Symbolen und Abkürzungen in Anlehnung an die referenzierten Normen.

Weitere Formelzeichen werden im Text definiert.

$A_k$ planmäßige Einwirkung aus Anlegestoß

$C_d$ Axialsteifigkeit des Klemmpakets

$C_s$ Axialsteifigkeit der Schraube

$F_s$ Schraubenkraft

$F_{s,Rd}$ Grenzgleitkraft

$k$ Flanschklaffung

$l_k$ Länge der Flanschklaffung über den Umfang

$k_f$ Spannungskonzentrationsfaktor

$r_i$ Innenradius der Turmwand oder Rohr/Schale

$s$ Turmwanddicke

$Z$ Segmentkraft

$\alpha_s$ Winkel der flanschseitigen Kippung

$\sigma_{xS,Rd}$ reduzierte Bemessungsbeulspannung

# 5 Grundlagen der Tragwerksplanung

## 5.1 Allgemeines

Sofern in dieser Norm nicht abweichend geregelt, gelten die Hinweise für die Grundlagen der Tragwerksplanung der DIN EN 1993-1-1.

## 5.2 Einwirkungen, Umgebungseinflüsse und Nutzungsdauer

Siehe DIN 18088-1.

## 5.3 Dauerhaftigkeit

Abhängig von der Art der Einwirkungen, die die Dauerhaftigkeit und Nutzungsdauer beeinflussen, ist bei den Tragkonstruktionen in der Regel die Sicherstellung von Inspektions- und Wartungsmaßnahmen zu beachten. Hinweise zu Wartung und Inspektion enthält auch DIN 18088-1.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

Die Anwendung der Nachweiskonzepte der DIN EN 1993-1-9 mit den ergänzenden Regelungen dieser Norm setzen einen ausreichenden Korrosionsschutz der Konstruktionen voraus. Dies ist durch geeignete organische Beschichtungen oder metallische Überzüge oder Duplex-Systeme aus metallischen Überzügen nach DIN EN ISO 2063 und DIN EN ISO 1461 zu erreichen. Die Feststellung der entsprechenden Korrosivitätskategorie hat mit Hilfe der DIN EN ISO 12944-1, DIN EN ISO 12944-2 und DIN EN ISO 12944-6 zu erfolgen.

### 5.3.1 Ergänzende Regelungen für den Offshorebereich

Die nachfolgenden Regelungen gehen davon aus, dass der Korrosionsschutz für unter Wasser liegende Teile der Konstruktion durch aktive oder passive kathodische Schutzsysteme erreicht wird. Über Wasser liegende Teile oder solche in der Wasserwechselzone sind durch organische Beschichtungen zu schützen.

Es muss davon ausgegangen werden, dass organische Beschichtungen in der Spritzwasserzone (Definition siehe DIN EN 61400-3) regelmäßig eine geringere Dauer der Schutzwirkung im Vergleich zur Lebensdauer der Konstruktion erreichen. In diesem Fall ist für die Abschnitte der Lebensdauer, in denen kein voll wirksamer organischer Korrosionsschutz vorausgesetzt werden kann, ein konstruktiver Zuschlag zur Blechdicke in der Bemessung einzuplanen.

Ein Abrostungszuschlag deckt ausschließlich die negativen Effekte der einsetzenden Flächenkorrosion bei großflächiger Beeinträchtigung der Wirksamkeit des organischen Beschichtungssystems ab. Lokale Beschädigungen der Beschichtung, die insbesondere an geometrischen Ungänzen und Anschlüssen zu stark beschleunigter Korrosion führen können, sind durch Inspektionen und gegebenenfalls Instandsetzungsmaßnahmen sicher auszuschließen oder bedürfen einer gesonderten Betrachtung.

Der Abrostungszuschlag für Zeiten ohne ausreichenden Korrosionsschutz ist mit jährlichen Abrostungsraten zu ermitteln, die folgende Werte nicht unterschreiten dürfen:

**Tabelle 1 — Abrostungsraten**

| Bauteiloberfläche | jährliche Abrostungsrate[a] |
|---|---|
| äußere, dem Seewasser frei ausgesetzte Bauteile in der Wasserwechselzone | 0,30 mm/a |
| innere vom Seewasser zeitweise benetzte Oberflächen bei vermindertem Wasseraustausch | 0,15 mm/a |

[a] Die Werte sind gültig für Gewässer der deutschen Nord- und Ostsee und gelten für allgemeine Baustähle nach DIN EN 1993-1-1:2010-12, Tabelle 3.1. Nichtrostende Stähle sind hiervon ausgenommen, bedürfen aber des Nachweises eines ausreichenden Korrosionswiderstandes.

## 5.4 Festlegung und Dokumentation der Ausführungsklassen

Die Ausführungsklassen werden im Rahmen der Tragwerksplanung festgelegt.

Vorwiegend nicht ruhend beanspruchte Stahltragwerke sind mindestens in EXC 3 nach DIN EN 1993-1-1/A1:2014-07 einzustufen. Hinsichtlich Ein- und Anbauten, die vorwiegend ruhend beansprucht werden, kann eine andere Einstufung durch den Tragwerksplaner sinnvoll sein.

Schweißnähte, die Bauwerksabschnitte/Bauteile unterschiedlicher Ausführungsklassen miteinander verbinden, sind der höheren Ausführungsklasse zuzuordnen.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

# 6 Werkstoffe

## 6.1 Allgemeines

Siehe DIN EN 1993-1-1:2010-12, 3.1 (1) und (2).

## 6.2 Baustahl

### 6.2.1 Allgemeines

Es müssen Stähle aus den in DIN EN 1993-1-1 aufgelisteten Stahlsorten und den entsprechenden Werkstoffnormen verwendet werden.

Eine verbleibende Hartprägung in vorwiegend nicht ruhend beanspruchten Bauteilen ist nicht zulässig (siehe DIN EN 1090-2).

Für alle Erzeugnisse, die vorwiegend nicht ruhend beansprucht sind, müssen mindestens Abnahmeprüfzeugnisse „3.1“ nach DIN EN 10204:2005-01 je Schmelze mit folgenden zusätzlichen Angaben vorliegen:

— 15er-Analyse (chem. Zusammensetzung) - Angabe von C, Mn, Si, S, P, Al, N, Cu, Cr, Nb, V, Ti, Mo, Ni, B;

— Lieferzustand AR nicht zugelassen;

— Kennzeichnung des/der Abnahmebeauftragten.

### 6.2.2 Regelungen für den Offshorebereich

Im Fall des Verlassens des Regelungsbereichs zur Stahlsortenauswahl nach DIN EN 1993-1-10, z. B. bei Verwendung großer Blechdicken und/oder bei tiefen Einsatztemperaturen sowie bei Vorliegen von höheren Kaltverformungsgraden und multiaxialen Beanspruchungszuständen, sind ergänzende Stahlsorten und zugehörige Werkstoffnormen anzuwenden. Anwendbar sind deshalb auch Stähle nach DIN EN 10225. Da es sich bei den Stählen nach DIN EN 10225 um Halbzeuge handelt, die nicht Bestandteil der Bauregelliste sind, sind die Qualitäts- und Prüfvorschriften der DIN EN 10025-1, DIN EN 10025-3 und DIN EN 10025-4 für Blech und der DIN EN 10210-1 und DIN EN 10210-2 für warmgefertigte Hohlprofile umzusetzen, insofern diese höhere Anforderungen gegenüber der DIN EN 10225 beinhalten. Stähle der Gruppe 1 nach DIN EN 10225:2009-10 sind für eine Verwendung ausgeschlossen.

### 6.2.3 Zusätzliche Anforderungen bei dreiaxialen Spannungszuständen in Bauteilen für den Offshorebereich

Bauteile, die aufgrund der Fertigungsbedingungen und/oder der Betriebsbeanspruchungen dreiaxiale Spannungszustände aufweisen, bedürfen besonderer Betrachtungen bei der Stahlauswahl. Dies betrifft z. B. Knotenpunkte zwischen Eckstielen und Diagonalen in Fachwerkkonstruktionen.

Für Bauteile mit dreiaxialen Beanspruchungen sind folgende Besonderheiten bei der Materialbestellung zu beachten:

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

**Tabelle 2 — Zusätzliche Anforderungen an die Kerbschlagbiegeprüfung**

| | Werkstoffe nach DIN EN 10025-1, DIN EN 10025-3, DIN EN 10025-4 | Werkstoffe nach DIN EN 10210-1 | Werkstoffe nach DIN EN 10219-1 | Werkstoffe nach DIN EN 10225:2009-10 |
|---|---|---|---|---|
| Probenlage in der Kerbschlagbiegeprüfung | zusätzlicher Nachweis der Kerbschlageigenschaften an Querproben (Bestelloption 30 nach DIN EN 10025-3/DIN EN 10025-4) | | Einsatz bei mehraxialen Spannungs–zuständen ohne ergänzende Maßnahmen nicht zulässig | keine zusätzlichen Anforderungen |
| zusätzliche Kerbschlagbiegeprüfung in der Blechdickenmitte | zusätzliche Prüfung für Blechdicken $t > 40$ mm erforderlich | | | |

In jedem Fall sind die Regelungen zur Stahlsortenauswahl im Hinblick auf die Eigenschaften in Dickenrichtung nach DIN EN 1993-1-10:2010-12, Abschnitt 3 anzuwenden und die resultierenden zusätzlichen Anforderungen zur Z-Güte nach DIN EN 10164 in der Bestellung zu berücksichtigen.

## 6.3 Bruchzähigkeit und Reckalterungsempfindlichkeit

Die Werkstoffe müssen die erforderliche Zähigkeit aufweisen, um während der Lebensdauer des Tragwerks Sprödbruch auszuschließen.

Weitergehende Sprödbruchnachweise können entfallen, wenn die Anforderungen in DIN EN 1993-1-10 für die Bezugstemperatur erfüllt werden (siehe 6.3.4 für den Offshorebereich).

### 6.3.1 Allgemein

Das Auftreten der niedrigsten Bauteiltemperatur entspricht einer "außergewöhnlichen" Bemessungssituation.

Für den Onshorebereich ist die Einsatztemperatur $T_{\mathrm{mdr}} = T_{\mathrm{md}} + \Delta T_{\mathrm{r}} = -30°\,\mathrm{C}$ anzunehmen.

Für den Offshorebereich ist die Einsatztemperatur $T_{\mathrm{mdr}} = T_{\mathrm{md}} + \Delta T_{\mathrm{r}}$ gemäß Tabelle 3 anzunehmen.

**Tabelle 3 — Einsatztemperatur $T_{\mathrm{mdr}}$ zur Verwendung beim Sprödbruchnachweis nach DIN EN 1993-1-10**

| | Deutsche Seegebiete | Nordsee | | Ostsee | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Wassertiefe des Standortes | ≥ 10 m | < 10 m | ≥ 10 m | < 10 m |
| 1 | unterhalb des tidebedingten Niedrigstwasserstandes (LAT) | −5 °C | −5 °C | −5 °C | −5 °C |
| 2 | oberhalb des tidebedingten Niedrigstwasserstandes (LAT) | −15 °C | −20 °C | −15 °C | −25 °C |

Der Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkungen ist jeweils $\gamma_{\mathrm{F}} = 1{,}0$.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

Das maßgebende Spannungsniveau $\sigma_{Ed}$ ist als Nennspannung im maßgebenden Querschnitt und Tragwerksteil an der Stelle der erwarteten Rissentstehung (z. B. in umlaufenden Kragenversteifungen) zu ermitteln. In der Anwendung kommt der anerkannte Stand der Technik zum Tragen, nach dem Spannungsüberhöhungen an Öffnungen und Turmkopf (und gegebenenfalls anderen relevanten Strukturdetails) nicht gesondert berücksichtigt werden.

Die Temperaturverschiebung durch Kaltverformung zur Führung des Sprödbruchnachweises ist gemäß DIN EN 1993-1-10:2010-12, Gleichung (2.4) zu ermitteln. Beiträge aus der Kaltverformung können hierin unberücksichtigt bleiben, wenn die plastische Dehnung kleiner 2 % ist ($r_i/t > 25$ z. B. für kreisförmige Rohre und Schalen).

### 6.3.2 Regelungen für Tragstrukturen für Windenergieanlagen für den On- und Offshorebereich

Die Schnittgrößen zur Bestimmung der maßgebenden Spannungen sind mit dem Lastfall D.2 (häufige Lasten) für Onshoreanlagen bzw. dem Lastfall O.2 (häufige Lasten) für Offshoreanlagen nach DIN 18088-1 zu bestimmen, siehe auch DIN EN 1993-1-10:2010-12, 2.2 (4). Die genannten Lastfälle ersetzen die Addition von ständigen und veränderlichen Einwirkungen nach DIN EN 1993-1-10:2010-12, Gleichung 2.1.

### 6.3.3 Regelungen für Tragstrukturen für Offshore-Plattformen

Es sind folgende beiden Bemessungssituationen zu betrachten:

$$E_{d1} = E\,\{A[T_{Ed}]\ "+"\ \Sigma G_k\ "+"\ Q_{Ek}\} \text{ und } E_{d2} = E\,\{A[T_{Ed}]\ "+"\ \Sigma G_k\ "+"\ A_k\} \quad (1)$$

Dabei stellt die Leiteinwirkung $A$ die Wirkung der Bezugstemperatur $T_{Ed}$ dar. $\Sigma G_k$ ist die Summe der ständigen Einwirkungen. $Q_{Ek}$ ist die kombinierte Einwirkung aus den Umgebungsbedingungen Seegang, Wind und Seeeis mit einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren. $A_k$ ist die Einwirkung aus dem planmäßigen Anlegestoß eines Versorgungsschiffes.

### 6.3.4 Stahlgütewahl für den Offshorebereich

Zur Stahlgütenwahl bei Tragstrukturen für den Offshorebereich kann DIN EN 1993-1-10:2010-12, Tabelle 2.1 unter folgenden Voraussetzungen verwendet werden:

— Einhaltung einer Kerbfallklasse 71 oder höher bzw. bei Anwendung des Strukturspannungskonzeptes Einhaltung eines Spannungskonzentrationsfaktors ≤ 1,41;

— Maximale Erzeugnisdicke von 140 mm;

— Berücksichtigung eines zusätzliches Sicherheitsterms $\Delta T_R = -10$ K.

Wenn obige Voraussetzungen nicht erfüllt sind, kann der Sprödbruchnachweis nach DIN EN 1993-1-10:2010-12, 2.2 (3) erfolgen. Siehe dazu auch [9].

Für kaltgefertigte rechteckige oder quadratische Hohlprofile nach DIN EN 10219 ist eine Temperaturverschiebung infolge der Kaltumformung in Höhe von $\Delta T_{\varepsilon cf} = 35$ K für Wanddicken $t \leq 16$ mm bzw. $\Delta T_{\varepsilon cf} = 45$ K für Wanddicken $16\text{ mm} < t \leq 40$ mm, bei Kantenradien größer $3 \cdot t$ anzusetzen. Bei Kantenradien kleiner oder gleich $3 \cdot t$ bei Wanddicken $t \leq 16$ mm und $16\text{ mm} < t \leq 40$ mm ist die Temperaturverschiebung zur Führung des Sprödbruchnachweis gemäß Gleichung 2.4 nach DIN EN 1993-1-10:2010-12 zu ermitteln.

ANMERKUNG Die größten zulässigen Erzeugnisdicken für tiefe Bezugstemperaturen $T_{Ed}$ sowie weitere Hinweise können erforderlichenfalls dem Kommentar zu DIN EN 1993-1-10 im Stahlbaukalender 2012 [1] (Tabelle 7) entnommen werden.



BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

Für die Verwendung von Stahlgüten nach DIN EN 10225:2009-10 im Rahmen dieser Norm können folgende Temperaturen T27J angesetzt werden:

— Dicken $t \leq 40$ mm: T27J = −50 °C;

— Dicken 40 mm $< t \leq 80$ mm: T27J = −60 °C;

— Dicken $t > 80$ mm: T27J = −70 °C.

ANMERKUNG: Die angegebenen T27J Werte tragen den unterschiedlichen Prüfbedingungen dieser Werkstoffe im Vergleich zu Stählen nach Normenreihe DIN EN 10025 Rechnung.

Falls erforderlich darf von der Definition der in DIN EN 1993-1-10:2010-12, Tabelle 2.1 geregelten Testtemperaturen und Kerbschlagbiegearbeiten unter Beibehaltung der zu erreichenden Bruchzähigkeiten abgewichen werden. Das bruchmechanische Konzept zur Stahlsortenwahl der DIN EN 1993-1-10 erlaubt die äquivalente Umrechnung der Testtemperaturen bei Anpassung der zu erreichenden Kerbschlagbiegearbeiten.

Für kaltgefertigte kreisförmige Hohlprofile nach DIN EN 10219 sowie durch Kaltverformung aus anderen Stahl-Halbzeugen, insbesondere Grobblech, entstandene Rohre und Schalen, die ein Verhältnis des Innenradius zur Wanddicke $r_i/t \leq 25$ aufweisen ($\geq 2$ % plastische Dehnung), sollen Stahlgüten verwendet werden, für die ausreichende Kerbschlagarbeitswerte nach Reckalterung nachgewiesen sind. Dies kann durch Bestellung eines Reckalterungstests in Anlehnung an die zusätzliche Anforderung 12 nach DIN EN 10225:2009-10, Abschnitt 13 erfolgen. Dabei ist ein Reckalterungstest mit z. B. 5 % plastischer Dehnung durchzuführen. Die größte plastische Dehnung aus Umformprozessen im Bauteil soll kleiner oder gleich der Prüfdehnung sein. Größere plastische Dehnungen als 7,5 % bzw. kleinere Verhältnisse $r_i/t \leq 6{,}2$ sind konstruktiv zu vermeiden, sofern die Anwendbarkeit nicht durch besondere qualitätssichernde Maßnahmen wie z. B. durch eine Wärmebehandlung belegt werden kann.

ANMERKUNG: Hierzu kann eine höhere Prüfdehnung als 5 % entsprechend DIN EN 10225:2009-10 „zusätzliche Anforderung 12“ gefordert werden.

Das Schweißen in kaltverformten Bereichen bei konischen und zylindrischen Schalen bis einschließlich 7,5 % plastischer Dehnung darf ohne Berücksichtigung der DIN EN 1993-1-8:2010-12, 4.14 erfolgen. Bei kreisförmigen Bauteilen mit mehr als 7,5 % plastischer Dehnung sind besondere qualitätssichernde Maßnahmen durchzuführen, z. B. in Form einer Wärmebehandlung. Diese Regelung gilt nicht für kaltgefertigte rechteckige oder quadratische Hohlprofile nach DIN EN 10219.

Die Mindestanforderung an die Kerbschlagenergie und Prüftemperatur von Schweißnähten in kalt- und warmgefertigten Hohlprofilen müssen den Mindestwerten des Grundmaterials entsprechen. Bei Unterschreitung der Mindestwerte für die Kerbschlagarbeit und Prüftemperatur innerhalb des Schweißnahtbereichs (Grundmaterial, Wärmeeinflusszone und Schweißgut) muss ein Zähigkeitsnachweis mit den niedrigsten Werten aus allen Bereichen der Schweißnaht geführt werden.

### 6.3.5 Ringflansche

Die maßgebende Erzeugnisdicke für Ringflansche entspricht:

— der Blechdicke der anschließenden Turmwand;

  wenn bei Flanschen mit Hals (Vorschweißflansch) der Abstand $r + l \geq \max(r; 10\text{ mm})$ zwischen dem Schweißnahtfußpunkt und der Flanschoberfläche (Auflageflächen der Unterlegscheiben) vorliegt (für $l$ und $r$ siehe Bild 1);

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

— der Dicke des Flanschkörpers ($t_f$ gemäß Bild 1);

in allen anderen Fällen.

ANMERKUNG: Vereinfachend darf angenommen werden, dass der Schweißnahtfußpunkt mit dem Ende der Schweißnahtvorbereitung zusammenfällt. Falls die Schweißnahtvorbereitung nicht näher spezifiziert ist, darf von einer Doppel-V-Nahtvorbereitung mit einem beidseitigen Fasenwinkel von 45° für die Berechnung des vorhandenen Abstands ausgegangen werden.

Für die Bestimmung der Streckgrenze des Flanschkörpers $f_y$ $(t)$ darf die Querschnittsabmessung senkrecht zur Walzrichtung herangezogen werden (in der Regel ist dies die tatsächliche Flanschdicke mit Vorschweißflansch und Nahtvorbereitung in Hauptbelastungsrichtung).

## 6.4 Auswahl der Stahlsorten im Hinblick auf Eigenschaften in Dickenrichtung

### 6.4.1 Allgemeines

Bei Blechen, die senkrecht zur Blechebene beansprucht werden, ist eine Z-Güte nach DIN EN 1993-1-10:2010-12, Abschnitt 3, nachzuweisen.

Bei in Dickenrichtung beanspruchten Bauteilen (z. B. Flansche und Zargen) ist für den Onshorebereich DIN EN 1090-2 zu beachten.

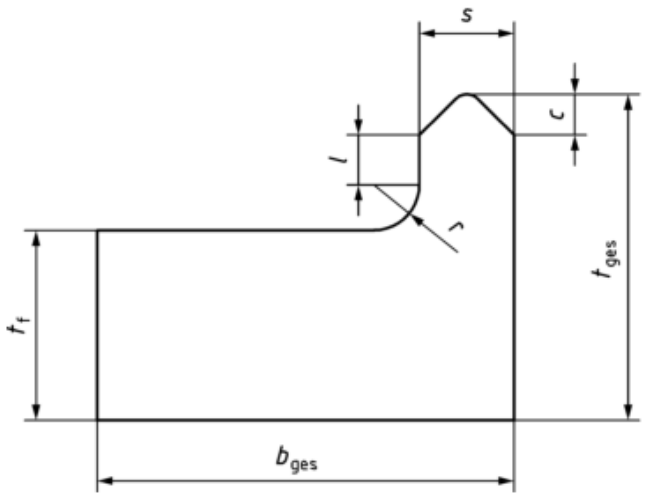
Für die Abgrenzung der erforderlichen Z-Güte kann DIN EN 1993-1-10:2010-12, Tabelle 3.2 berücksichtigt werden.

### 6.4.2 Ringflanschverbindungen

Bei aus Blechen hergestellten Flanschen (Blechdicke = Flanschhöhe $t_f$ bzw. $t_{ges}$ gemäß Bild 1) kann ein Vorschweißflansch nur dann vollständig günstig wirkend angesetzt werden, wenn $l + r \geq s/2$ aber $l + r > 15$ mm (siehe Bild 1).

Bei aus Blechen hergestellten Flanschen, die nur in Blechebene beansprucht werden (Blechdicke = Flanschbreite $b_{ges}$ nach Bild 1), sowie bei Flanschen, die aus einem nahtlos gewalzten Ring oder aus einem allseitig gewalzten Stab hergestellt werden, braucht keine Z-Güte nach DIN EN 1993-1-10 nachgewiesen zu werden.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12




**Legende**

$t_f$ Flanschdicke
$t_{ges}$ Gesamte Flanschdicke einschließlich Vorschweißflansch
$b_{ges}$ Flanschbreite
$r$ Übergangsradius
$c$ Flankenhöhe der Schweißnahtvorbereitung
$s$ Ansatzdicke (in der Regel gleich der Blechdicke des anschließenden Bleches)
$l$ Abstand vom Übergangsradius zur Schweißnahtvorbereitung ($= t_{ges} - t_f - r - c$)

**Bild 1 — Flanschbezeichnungen am Beispiel eines L-Flansches**

Im Allgemeinen kann die Z Güte aus DIN EN 1993-1-10:2010-12, Tabelle 3.2 für Ringflansche wie folgt bestimmt werden:

— $Z_a$ „Höhe“ der Schweißnaht (darf vereinfachend mit 2*c entsprechend Bild 1 angesetzt werden);

— $Z_b$ für:

  — Flansche mit ausreichendem Ansatz: $Z_b = -25$;

  — Flansche ohne Ansatz nach Tabelle 3.2;

  — bei $0 < l + r < b/2$ darf zwischen $Z_b = -25$ (für $l + r \geq s/2$) und $Z_b = 8$ (für $l + r = 0$) linear interpoliert werden;

— $Z_c$ Dicke des Flanschkörpers $t_f$;

— $Z_d$ 0;

— $Z_e$ entsprechend Ausführung.

### 6.4.3 Türzargen

Bei aus Blechen hergestellten Türzargen, die nicht quer zur Erzeugungsrichtung beansprucht werden sowie bei aus einem allseitig gewalzten Stab hergestellten Türzargen braucht keine Z-Güte nach DIN EN 1993-1-10 nachgewiesen zu werden.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

Im Allgemeinen kann die Z-Güte nach DIN EN 1993-1-10:2010-12, Tabelle 3.2 für Türzargen wie folgt bestimmt werden:

— $Z_a$ Höhe der Schweißnaht zwischen Türzarge und Turmwand;

— $Z_b$:

  — Turmwand endet nicht auf der Kante der Zarge: $Z_b = 3$ (mit geeigneter Schweißfolge), sonst $Z_b = 5$;

  — Turmwand endet auf der Kante der Zarge: $Z_b = 8$;

— $Z_c$ Dicke der Türzarge quer zur Erzeugungsrichtung;

— $Z_d = 3$;

— $Z_e$ entsprechend Ausführung.

## 6.5 Verbindungsmittel

### 6.5.1 Schrauben und Bolzen

#### 6.5.1.1 Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben für Flanschverbindungen

Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben haben in der Regel der „Bezugsnormengruppe 4“ nach DIN EN 1993-1-8:2010-12, 1.2.4 zu entsprechen.

Hochfeste planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen umfassen das System HR, das System HV sowie HRC-Schrauben. Sie müssen den Anforderungen von DIN EN 14399-1 und DIN EN 1090-2:2011-10, Tabelle 7 oder der DASt-Richtlinie 021 entsprechen. Nur Garnituren der Güte 8.8 und 10.9 sind als hochfeste planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen zulässig.

#### 6.5.1.2 Ankerbolzen

Werkstoffe mit den Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 und den mechanischen Eigenschaften nach DIN EN ISO 898-1 dürfen für Ankerbolzen eingesetzt werden.

# 7 Tragwerksberechnung

## 7.1 Allgemeines

Soweit nicht andere Koordinatensystem angenommen werden, gilt das Koordinatensystem aus DIN 18088-1:201X-XX, Bild C.1.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

## 7.2 Modelle, vereinfachte Ansätze

### 7.2.1 Ringflanschverbindungen

Für Extremlastnachweise von Ringflanschverbindungen dürfen die Bauteilwiderstände vereinfachend mit Hilfe plastischer Versagenszustände (VZ) ermittelt werden (siehe Anhang A). Dabei braucht die Vorspannkraft der Schrauben nicht berücksichtigt zu werden, d. h. der Tragsicherheitsnachweis darf wie für eine nicht vorgespannte Schraubenverbindung geführt werden. Lokale Plastizierungen (Fließgelenke im Flansch und/oder im Turmmantel) dürfen dabei berücksichtigt werden. Die Dehnung der Schrauben ist durch Berücksichtigung einer modifizierten Grenztraglast im Modus B zu begrenzen, es sei denn ausreichendes Verformungsvermögen kann nachgewiesen werden (Länge der Verbindungsmittel ausreichend, z. B. bei Ankerstangen).

### 7.2.2 Turmschale

In zylindrischen und konischen Stahlrohrtürmen dürfen die für den Tragsicherheitsnachweis benötigten Spannungen nach der Schalenmembrantheorie berechnet werden. Schalenbiegemomente aus ungleichmäßig über den Turmumfang verteiltem Winddruck oder Zwangsbeanspruchungen aus Randstörungen an Flanschen oder Steifen brauchen nicht berücksichtigt zu werden. An Übergängen mit unterschiedlicher Konizität sind die aus Kraftumlenkung entstehenden lokalen Umfangsmembrankräfte und Schalenbiegemomente zu berücksichtigen. Dies betrifft nicht den Übergang von konischen Schüssen zu Ringflanschen sofern die Konizität klein ist.

Details wie Öffnungen oder der Bereich des Kopfflansches sind gesondert zu betrachten.

ANMERKUNG Die hier beschriebene Nachweisführung entspricht in der Terminologie von DIN EN 1993-1-1 einer elastischen Tragwerksberechnung mit plastischen Querschnittsbeanspruchbarkeiten für die lokalen Turmwandschnittgrößen, jedoch elastischen Querschnittsbeanspruchbarkeiten für die globalen Turmschnittgrößen.

# 8 Grenzzustände der Tragfähigkeit

## 8.1 Allgemeines

Die Nachweise sind mit den ungünstigsten aller Einwirkungskombinationen der Gruppen N, A und T zu führen (siehe DIN 18088-1).

Die Teilsicherheitsbeiwerte sind entsprechend DIN EN 1993-1-1/NA anzuwenden.

Im Bereich von Spannungskonzentrationen (z. B. Türöffnungen und Kopfflansche) sind in begrenzten Bereichen Überschreitungen der Streckgrenze von 10 % zulässig. Treten größere Überschreitungen auf, sind diese zu bewerten (Ermittlung von plastischen Dehnungen).

Örtliche Spannungsspitzen (z. B. aus Schweißbuchsen) brauchen im Grenzzustand der Tragfähigkeit nicht berücksichtigt zu werden.

## 8.2 Schraubenverbindungen

Für die Bemessung von Schraubverbindungen ist grundsätzlich die DIN EN 1993-1-8 zu beachten.

Abweichend davon werden folgende Regelungen getroffen:

— Der Nachweis von Ringflanschverbindungen darf mit dem unter Anhang A beschriebenen Verfahren erfolgen.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

— Bei GV- und GVP-Verbindungen ist entsprechend Kategorie C nach DIN EN 1993-1-8:2010-12, Tabelle 3.2 nachzuweisen, dass im Grenzzustand der Tragsicherheit die maximale auf eine Schraube in einer Scherfuge entfallene Kraft die Grenzgleitkraft nach Gleichung (2) nicht überschreitet:

$$F_{s,Rd} = 0{,}9 \cdot \frac{k_S \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M,3}} \cdot F_{p,C^*} \qquad (2)$$

Dabei ist

$F_{p,C^*}$ Regel-Vorspannkraft nach DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, Tabelle A.1 und A.2

Der Erhalt der Regel-Vorspannkraft ist über die gesamte Lebensdauer sicherzustellen. Dies kann durch regelmäßige Überprüfung und ggf. Nachspannen erfolgen. Alternativ sind Spannkraftverluste über die Lebensdauer der Anlage zu berücksichtigen;

$k_s$ Beiwert nach DIN EN 1993-1-8:2010, Tabelle 3.6;

$n$ Anzahl der Reiboberflächen;

$\mu$ Reibungszahl für die Ausführung der Kontaktflächen; entweder durch Versuche nach Bezugsnormengruppe 7, DIN EN 1993-1-8:2010-12, 1.2.7 zu ermitteln oder DIN EN 1993-1-8:2010-12, Tabelle 3.7 zu entnehmen;

$\gamma_{M,3}$ Sicherheitsbeiwert

$\gamma_{M,3} = 1{,}25$ bei Einwirkungskombinationen der Gruppe N und den Betriebsbedingungen 1 bis 4 nach DIN EN 61400-1:2011-08;

$\gamma_{M,3} = 1{,}1$ Sicherheitsbeiwert bei allen anderen Einwirkungskombinationen.

ANMERKUNG 1: Bei Passverbindungen mit feuerverzinkten Bauteilen sind spezielle Korrosionsschutzmaßnahmen zu treffen.

ANMERKUNG 2: Der Teilsicherheitsbeiwert von 0,9 soll der vorwiegend nicht ruhenden Beanspruchung und deren Einfluss auf die Reibflächen Rechnung tragen.

## 8.3 Stabilitätsnachweise

### 8.3.1 Allgemein

Für Stahlvollwandtürme ist der Beulsicherheitsnachweis nach DIN EN 1993-1-6 in Verbindung mit DIN EN 1993-1-6/NA zu führen.

Der Beulsicherheitsnachweis kann als spannungsbasierter Nachweis gemäß DIN EN 1993-1-6:2010-12, 8.5 oder als numerischer Nachweis gemäß DIN EN 1993-1-6:2010-12, 8.6 bzw. 8.7 geführt werden.

Als Schalenrandbedingung sollte für die üblichen Konstruktionen mit geschraubten Ringflansch-verbindungen BC2f (DIN EN 1993-1-6:2010-12, Tabelle 5.1) angenommen werden.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

### 8.3.2 Spannungsbasierter Beulnachweis

Der spannungsbasierte Beulnachweis ist nach DIN EN 1993-1-6:2010-12, 8.5 zu führen.

Für den spannungsbasierten Beulnachweis ist es nach 8.2.2 bei üblichen Stahlvollwandtürmen im Allgemeinen ausreichend, die in DIN EN 1993-1-6 beschriebenen Spannungsanteile auf den Membrananteil aus Primärspannungen zu begrenzen. Dabei sind mindestens Axialspannungen und Schubspannungen zu berücksichtigen. Die Spannungen können nach DIN EN 1993-1-6:2010-12, Anhang A und D ermittelt werden.

Die Bemessungsbeulspannung ist nach DIN EN 1993-1-6:2010-12, 8.5.2 zu ermitteln.

Die idealen Beulspannungen können auch bei konischen Türmen mit abgestuften Wanddicken nach DIN EN 1993-1-6:2010-12, Anhang D.1 ermittelt werden, wenn folgende Randbedingungen angesetzt werden:

— jeder Schuss (Bereich mit konstanter Wanddicke) wird separat betrachtet;

— pro Schuss wird ein Ersatzzylinder mit der Dicke und dem Radius des Schusses definiert;

— der Ersatzzylinder hat die Höhe einer Turmsektion von Ringflansch zu Ringflansch.

### 8.3.3 Numerischer Beulnachweis

Beim numerischen Beulnachweis sind der ideale Beulwiderstand $R_{cr}$ und der plastische Widerstand $R_{pl}$ zu ermitteln.

Der ideale Beulwiderstand $R_{cr}$ kann mittels linearer elastischer Verzweigungs(eigenwert)-Berechnung (LBA) oder geometrischer nichtlinearer elastischer Berechnung (GNA) ermittelt werden.

Der plastische Widerstand $R_{pl}$ kann in Anlehnung an DIN EN 1993-1-6:2010-12, Gleichung (8.24) als Verhältnis Streckgrenze/Vergleichsspannung aus Designlasten berechnet werden. Die von-Mises-Vergleichsspannungen können dabei nach Rohrbiegetheorie berechnet werden oder direkt aus dem FE-Modell abgelesen werden.

### 8.3.4 Beulnachweise im Bereich von Türöffnungen

Im Allgemeinen muss die Beulsicherheit der Turmwand im Bereich von Türöffnungen numerisch nachgewiesen werden. Bei der Festlegung der maßgebenden Stelle für die Ermittlung des plastischen Referenzwiderstandes $F_{R,pl}$ darf der engere Bereich um die Öffnung herum unberücksichtigt bleiben; dieser engere Bereich darf nicht breiter als $2\,(r \cdot t)^{0,5}$ angesetzt werden.

Der Beulsicherheitsnachweis darf vereinfacht wie für eine ungeschwächte Turmwand geführt werden. Dabei ist anstelle der Bemessungsbeulspannungen nach DIN EN 1993-1-6 die reduzierte Bemessungsbeulspannung nach Gleichung 3 anzuwenden:

$$\sigma_{xS,R,d} = C_1 \cdot \sigma_{x,Rd_{EC}} \tag{3}$$

Dabei ist:

$\sigma_{xS,R,d}$ Bemessungsbeulspannung nach DIN EN 1993-1-6

$C_1$ Reduktionsfaktor gemäß Gleichung 4 zur Erfassung des Öffnungseinflusses.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

$$C_1 = A_1 - B_1 \cdot \left(\frac{r}{t}\right) \quad (4)$$

mit $A_1$ und $B_1$ nach Tabelle 4.

**Tabelle 4 — Beiwerte für Gleichung 3**

| Festigkeitsklasse | S 235 | | S 355 | |
|---|---|---|---|---|
| Öffnungswinkel | $A_1$ | $B_1$ | $A_1$ | $B_1$ |
| $\delta = 20°$ | 1,00 | 0,001 9 | 0,95 | 0,002 1 |
| $\delta = 30°$ | 0,90 | 0,001 9 | 0,85 | 0,002 1 |
| $\delta = 60°$ | 0,75 | 0,002 2 | 0,70 | 0,002 4 |

$\delta$ ist der Öffnungswinkel in Umfangsrichtung

Die vorstehenden Regeln sind gültig für:

— Turmwände mit $(r/t) \leq 160$;

— Öffnungswinkel $\delta \leq 60°$;

— Öffnungsmaße $h_1/b_1 \leq 3$;

sowie für Öffnungsrandsteifen,

— die mit konstantem Querschnitt um die ganze Öffnung laufen;

— deren Querschnittsfläche mindestens einem Drittel der Öffnungsfehlfläche entspricht;

— deren Querschnitt an den Öffnungslängsrändern mittig zur Wandmittelfläche angeordnet ist (siehe Bild 2 c) und

— deren Querschnittsteile die maximalen $c/t$-Verhältnisse nach DIN EN 1993-1-1:2010-12, Tabelle 5.2 für die Querschnittsklassen 2 unterschreiten.

BEST BeuthStandardsCollection - Stand 2017-12

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/857034130064006063