

DIN 18088-3

ICS 27.180

**Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen –
Teil 3: Stahlbauten**

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

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

Gesamtumfang 39 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

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	9
5.3.1 Allgemeines	9
5.3.2 Ergänzende Festlegungen für den Offshorebereich	9
5.4 Festlegung und Dokumentation der Ausführungsklassen	10
6 Werkstoffe.....	10
6.1 Allgemeines	10
6.2 Baustahl	10
6.2.1 Allgemeines	10
6.2.2 Festlegungen für den Offshorebereich	10
6.2.3 Zusätzliche Anforderungen bei dreiaxialen Spannungszuständen in Bauteilen	10
6.3 Bruchzähigkeit und Reckalterungsempfindlichkeit	11
6.3.1 Allgemeines	11
6.3.2 Tragstrukturen für Windenergieanlagen für den On- und Offshorebereich.....	12
6.3.3 Tragstrukturen für Offshore-Plattformen.....	12
6.3.4 Stahlgütewahl für den Offshorebereich	12
6.3.5 Ringflansche	14
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 Allgemeines	18
8.3.2 Spannungsbasierter Beulnachweis.....	18
8.3.3 Numerischer Beulnachweis.....	19
8.3.4 Beulnachweise im Bereich von Türöffnungen.....	19
8.3.5 Pfahlfußbeulen (Pile tip buckling).....	21

9	Grenzzustände der Ermüdung.....	21
9.1	Nachweise.....	21
9.1.1	Allgemeines	21
9.1.2	Verwendung von Nennspannungen.....	22
9.1.3	Verwendung von Strukturspannungen	22
9.1.4	Querlaufende Stumpfnähte.....	23
9.1.5	Unversteifte Übergänge zwischen Zylinder- und Kegelstumpfschalen.....	23
9.1.6	Unversteifte runde oder elliptische Öffnungen.....	24
9.1.7	Rundstäble und Bolzen	24
9.1.8	Besondere Festlegungen für den Offshorebereich.....	24
9.2	Ermüdungsbeanspruchung.....	26
9.3	Ermüdungsfestigkeit	26
9.3.1	Wöhlerlinien	26
9.3.2	Anwendung der schadensäquivalenten Einstufenkollektive.....	27
9.3.3	Ringflanschverbindungen	27
10	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.....	30
	Anhang A (informativ) Plastische Versagenszustände zur Ringflanschbemessung.....	31
	Anhang B (informativ) Berechnung der Schraubenkraftfunktion nach Schmidt/Neuper	34
	Anhang C (informativ) Zusätzliche Kerbfälle.....	36
C.1	Kerbfall für Schrauben, wenn nur Axialkräfte berücksichtigt werden	36
C.2	Kerbfall für das Detail T-Flansch/Mantelblech	36
	Anhang D (informativ) Sonderkonstruktion — Kopfflansch	38
	Literaturhinweise.....	39

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 Abschnitte von DIN EN 1993-1-1 gelten weiterhin, sofern sie nicht durch dieses Dokument spezifiziert oder ergänzt werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokumentes Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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

- *Teil 1: Grundlagen und Einwirkungen*
- *Teil 2: Stahlbeton- und Spannbetontragwerke*
- *Teil 3: Stahlbauten*
- *Teil 4: Baugrund und Gründungselemente*

Ein weiterer *Teil 5: Verbindungen zwischen Stahlbauten und Stahlbeton- und Spannbetontragwerken* ist derzeit in Planung.

1 Anwendungsbereich

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

Die Festlegungen dieser Norm gelten, soweit nicht ausdrücklich eingeschränkt, sowohl für On- als auch Offshoreanwendungen. Festlegungen, die nur für einen Anwendungsbereich gültig sind, werden im Text 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 Festlegungen getroffen werden. Die Ausführung richtet sich nach den Bestimmungen der DIN EN 1090, sofern anwendbar.

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).

DIN 18088-1:2019-01, *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 1991-1-5, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen — Temperatureinwirkungen*

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*

DIN EN 1993-1-9:2010-12, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009*

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 (alle Teile), *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen*

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

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 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 (alle Teile), *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen*

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 (VDE 0127-1):2011-08, *Windenergieanlagen — Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010*

DIN EN 61400-3 (VDE 0127-3), *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 aufgetragene Zinküberzüge (Stückverzinken) — Anforderungen und Prüfungen*

DIN EN ISO 2063 (alle Teile), *Thermisches Spritzen — Zink, Aluminium und ihre Legierungen*

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

DIN EN ISO 12944 (alle Teile), *Beschichtungsstoffe — Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme*

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*

DIN EN ISO 14713-1, *Zinküberzüge — Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion — Teil 1: Allgemeine Konstruktionsgrundsätze und Korrosionsbeständigkeit*

DIN EN ISO 17637, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen*

DIN EN ISO 17640, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung — Techniken, Prüfklassen und Bewertung*

DAST-Richtlinie 021, *Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M39 bis M72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6¹⁾*

3 Begriffe

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

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Turmsektion

zylindrisches oder konisches Turmbauteil, in der Regel mit Ringflanschen an beiden Enden

3.2

Schuss

einzelnes oder mit Längsnähten zusammengesetztes Blech zwischen zwei Rundnähten als Bestandteil eines Rohres

3.3

Markov-Matrizen

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

¹⁾ Zu beziehen bei: Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf.

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

3.4

Mehrstufenkollektiv

vereinfachte Markov-Matrix ohne Mittelwerte

3.5

schadensäquivalentes Einstufenkollektiv

DEL

(en: Damage Equivalent Load)

Einstufenkollektiv, das unter Annahme einer konstanten Wöhlersteigung die gleiche Schädigung wie Mehrstufenkollektive erzeugt

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Formelzeichen nach DIN 18088-1 und die folgenden Formelzeichen.

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

α_s Winkel der flanschseitigen Kippung

$\sigma_{xS,Rd}$ reduzierte Bemessungsbeulspannung

5 Grundlagen der Tragwerksplanung

5.1 Allgemeines

Sofern in dieser Norm nicht anders festgelegt, gelten die Hinweise für die Grundlagen der Tragwerksplanung nach DIN EN 1993-1-1.

5.2 Einwirkungen, Umgebungseinflüsse und Nutzungsdauer

Siehe DIN 18088-1.

5.3 Dauerhaftigkeit

5.3.1 Allgemeines

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.

Die Anwendung der Nachweiskonzepte der DIN EN 1993-1-9 mit den ergänzenden Festlegungen dieser Norm setzen einen ausreichenden Korrosionsschutz der Konstruktionen voraus. Dies ist durch geeignete Korrosionsschutzsysteme nach den Normenreihen DIN EN ISO 12944, DIN EN ISO 2063 und nach DIN EN ISO 1461 zu erreichen. Die Feststellung der entsprechenden Korrosivitätskategorie und sonstige Anforderungen hat nach DIN EN ISO 12944-1, DIN EN ISO 12944-2, DIN EN ISO 12944-6 bzw. DIN EN ISO 14713-1 zu erfolgen.

Für Zinküberzüge sind Angaben zur Korrosionsbeständigkeit, Korrosivitätskategorien und Schutzdauern DIN EN ISO 14713-1 zu entnehmen.

5.3.2 Ergänzende Festlegungen für den Offshorebereich

Die nachfolgenden Festlegungen 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 (VDE 0127-3)) 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 Ungängen 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 nach Tabelle 1 nicht unterschreiten dürfen.

Tabelle 1 — Jährliche Abrostungsraten

Bauteiloberfläche	Jährliche Abrostungsrate ^a mm/a
äußere, dem Seewasser frei ausgesetzte Bauteile in der Wasserwechselzone	0,30
innere vom Seewasser zeitweise benetzte Oberflächen bei vermindertem Wasseraustausch	0,15
^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 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.

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 Abnahmeprüfzeugnisse (Art des Prüfzeugnisses nach Vereinbarung) 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 Festlegungen 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 entsprechend zugehöriger Werkstoffnormen zu verwenden. Anwendbar sind deshalb auch Stähle nach DIN EN 10225. Da es sich bei den Stählen nach DIN EN 10225 um Halbzeuge handelt, für die kein Verwendbarkeitsnachweis vorliegt, sind die Qualitäts- und Prüfvorschriften nach DIN EN 10025-1, DIN EN 10025-3 und DIN EN 10025-4 für Blech und nach DIN EN 10210-1 und DIN EN 10210-2 für warmgefertigte Hohlprofile umzusetzen, insofern diese höhere Anforderungen gegenüber 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

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 Fachwerkstrukturen.

Für Bauteile mit dreiaxialen Beanspruchungen sind die in Tabelle 2 festgelegten Besonderheiten bei der Materialbestellung zu beachten.

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 Kerbschlagbiege- prüfung	zusätzlicher Nachweis der Kerbschlag- eigenschaften an Querproben (Option 30) nach DIN EN 10025-3/DIN EN 10025-4)	Einsatz bei mehraxialen Spannungs- zuständen ohne ergänzende Maßnahmen nicht zulässig		keine zusätzlichen Anforderungen
zusätzliche Kerbschlagbiege- prüfung in der Blehdickenmitte	zusätzliche Prüfung für Blehdicken $t > 40$ mm erforderlich			

In jedem Fall sind die Festlegungen 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

6.3.1 Allgemeines

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).

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

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

Für den Offshorebereich ist die Einsatztemperatur $T_{\text{mdr}} = T_{\text{md}} + \Delta T_r$ nach Tabelle 3 anzunehmen.

Dabei ist

T_{md} die niedrigste Lufttemperatur mit spezifizierter Wiederkehrperiode, siehe EN 1991-1-5;

ΔT_r die Temperaturverschiebung infolge von Strahlungsverlusten, siehe EN 1991-1-5.

Tabelle 3 — Einsatztemperatur T_{mdr} zur Verwendung beim Sprödbbruchnachweis 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 $\gamma_F = 1,0$.

Das maßgebende Spannungsniveau σ_{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 Sprödbbruchnachweises ist nach DIN EN 1993-1-10:2010-12, Gleichung (2.4) zu ermitteln. Beiträge aus der Kaltverformung dürfen unberücksichtigt bleiben, wenn die plastische Dehnung hieraus kleiner 2 % ist ($r_i/t > 25$, z. B. für kreisförmige Rohre und Schalen).

6.3.2 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 Tragstrukturen für Offshore-Plattformen

Es sind folgende beiden Bemessungssituationen zu betrachten:

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

Dabei stellt die Leiteinwirkung A die Wirkung der Bezugstemperatur T_{Ed} dar. ΣG_k ist die Summe der ständigen Einwirkungen. Q_{Ek} ist die kombinierte Einwirkung aus den Umgebungsbedingungen Seegang, Wind und Seeis 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 Stahlgütewahl 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 nach DIN EN 1993-1-9 oder höher bzw. bei Anwendung des Strukturspannungskonzeptes Einhaltung eines Spannungskonzentrationsfaktors $\leq 1,41$;
- maximale Erzeugnisdicke von 140 mm;