

DIN 18088-1

ICS 01.040.27; 27.180

**Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen –
Teil 1: Grundlagen und Einwirkungen**

Structures for wind turbines and platforms –
Part 1: Basic principles and actions

Structures d'aérogénérateurs et de plates-formes –
Partie 1: Bases et actions

Gesamtumfang 64 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe und Allgemeines zu den Begriffen	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Allgemeines zu den Begriffen	10
4 Symbole und Abkürzungen	12
5 Grundlagen	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Sicherheitstechnische Festlegungen	16
5.3 Wiederkehrende Prüfungen	17
6 Bemessungssituationen	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 Nachweise für Grenzzustände der Tragfähigkeit	17
6.3 Nachweise für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	18
7 Einwirkungen	18
7.1 Allgemeines	18
7.2 Einwirkungen für Windenergieanlagen an Land	18
7.2.1 Trägheits- und Gravitationslasten	18
7.2.2 Aerodynamische Lasten	19
7.2.3 Sonstige Einwirkungen	22
7.2.4 Berücksichtigung zyklischer Belastungen auf Gründungselemente	23
7.3 Einwirkungen für Windenergieanlagen auf offener See	23
7.3.1 Trägheits- und Gravitationslasten	24
7.3.2 Aerodynamische Lasten	24
7.3.3 Sonstige Einwirkungen	25
7.3.4 Berücksichtigung zyklischer Belastungen auf Gründungselemente	25
7.3.5 Marine Lasten	26
7.3.6 Planmäßiger Bootsanprall	27
7.3.7 Planmäßiger Abwind aus Helikopterflug und Helikopterlandung	28
7.3.8 Außergewöhnliche Einwirkungen	29
7.3.9 Umgebungsbedingungen für Seetransport und Montage	29
7.4 Einwirkungen für Plattformen	29
7.4.1 Eigengewichts- und Ausbaulasten	29
7.4.2 Marine Lasten	30
7.4.3 Nutzlasten	30
7.4.4 Einwirkungen auf Geländer	32
7.4.5 Kranlasten	32
7.4.6 Windeinwirkungen	32
7.4.7 Einwirkungen infolge Temperatur	32
7.4.8 Planmäßiger Bootsanprall und Helikopterflug und Helikopterlandung	32
7.4.9 Außergewöhnliche Einwirkungen	32
7.4.10 Sonstige Einwirkungen	33
8 Einwirkungskombinationen	33

8.1	Allgemeines	33
8.2	Einwirkungskombinationen für Windenergieanlagen an Land.....	33
8.3	Einwirkungskombinationen für Windenergieanlagen auf offener See.....	38
8.4	Einwirkungskombinationen für Plattformen	39
9	Hinweise zur strukturdynamischen Berechnung von Windenergieanlagen und Plattformen.....	40
9.1	Hinweise zur gesamtdynamischen Berechnung von Windenergieanlagen an Land.....	40
9.1.1	Allgemeines	40
9.1.2	Gesamtdynamische Berechnung.....	41
9.1.3	Wirbelerregte Querschwingungen	43
9.1.4	Logarithmisches Dämpfungsdekrement	43
9.2	Hinweise zur gesamtdynamischen Berechnung von Windenergieanlagen auf offener See.....	44
9.2.1	Allgemeines	44
9.2.2	Hydrodynamische Lasten.....	45
9.2.3	Berechnung von Eislasten	45
9.2.4	Logarithmisches Dämpfungsdekrement	45
9.2.5	Simulationsanforderungen.....	45
9.2.6	Weitere Anforderungen.....	45
9.3	Hinweise zur strukturdynamischen Bemessung von Plattformen	46
Anhang A (normativ)	Zuordnung der Einwirkungskombinationen zu den geotechnischen Bemessungssituationen nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054	47
Anhang B (normativ)	35-h-Sturm — Zyklische Einwirkungen auf Offshore-Windenergieanlagen.....	48
B.1	Bemessungsereignis.....	48
B.2	Lastfälle, Bemessungssituationen und zugehörige Teilsicherheitsbeiwerte.....	50
B.2.1	Allgemeines	50
B.2.2	Zyklische Einwirkungen auf Plattformen.....	50
Anhang C (normativ)	Standorteignung von Windenergieanlagen an Land	52
Anhang D (informativ)	Schnittgrößendarstellung.....	54
Anhang E (informativ)	Seeschlag.....	56
E.1	Allgemeines	56
E.2	Bemessungskriterien.....	56
E.3	Lokale Lasten durch Seeschlag auf schlanke Bauteile der Tragstruktur.....	56
E.3.1	Vereinfachte Methode.....	56
E.3.2	Zeitabhängige Berechnung der lokalen Lasten durch Seeschlag auf horizontale Bauteile	57
E.3.3	Zeitabhängige Berechnung der lokalen Lasten durch Seeschlag auf vertikale Bauteile	58
Anhang F (informativ)	Lastfallkombinationen bei Plattformen.....	60
F.1	Allgemeines	60
Anhang G (informativ)	Vergleich der Windgeschwindigkeitsbezeichnungen verschiedener Normen und Richtlinien.....	62
Literaturhinweise.....		64

Vorwort

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

Dieses Dokument ergänzt DIN EN 1990 und DIN EN 1991 im Hinblick auf die Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke. Dieses Dokument enthält Prinzipien und Anwendungsregeln, die ausschließlich für Windenergieanlagen und Plattformen gelten. Hierbei werden zunächst Festlegungen für Windenergieanlagen an Land, dann Ergänzungen für Windenergieanlagen auf offener See und abschließend Festlegungen für Plattformen auf offener See getroffen.

Alle Abschnitte von DIN EN 1990 und DIN EN 1991 gelten weiterhin, wenn sie nicht in diesem Dokument spezifiziert oder ergänzt werden.

Es ist beabsichtigt, dass diese Normenreihe zusammen mit DIN EN 1990 und den Normen DIN EN 1991 bis DIN EN 1999 sowie DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1) und DIN EN 61400-3 (VDE 0127-3) angewendet wird.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments 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 Windenergieanlagen zu Land und auf offener See und für Offshore-Plattformen.

Durch die Norm wird die Situation an Land und auf offener See abgedeckt. Für küstennahe Standorte sind ggf. die Anforderungen anzupassen.

Kleinwindenergieanlagen können nach DIN EN 61400-2 (VDE 0127-2) behandelt werden. Für die Bemessung von Kleinwindenergieanlagen sind DIN 18088-2 bis DIN 18088-4 anzuwenden.

Diese Norm legt die Grundlagen und Einwirkungen für die Nachweise der Standsicherheit der Tragstruktur und der Gründung von Windenergieanlagen und Plattformen fest.

Es enthält zugleich Regelungen über Einwirkungen auf die gesamte Windenergieanlage und auf Plattformen einschließlich der zugehörigen Sicherheitsbeiwerte.

Die Bemessung der Rotor-Gondel-Baugruppe selbst ist nicht Bestandteil dieser Norm.

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 1054, *Baugrund — Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau — Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1*

DIN 1055-5:2005-07, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 5: Schnee- und Eislasten*

DIN 4426, *Einrichtungen zur Instandhaltung baulicher Anlagen — Sicherheitstechnische Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege — Planung und Ausführung*

DIN 18088-2, *Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen — Teil 2: Stahlbeton- und Spannbetontragwerke*

DIN 18088-3, *Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen — Teil 3: Stahlbauten*

DIN 18088-4, *Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen — Teil 4: Baugrund und Gründungselemente*

DIN EN 1808, *Sicherheitsanforderungen an hängende Personenaufnahmemittel — Berechnung, Standsicherheit, Bau — Prüfungen*

DIN EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

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

DIN EN 1991-1-1, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke — Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*

DIN EN 1991-1-3, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten*

DIN EN 1991-1-4, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen — Windlasten*

DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen — Windlasten*

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

DIN EN 1991-1-5/NA, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen — Temperatureinwirkungen*

DIN EN 1991-1-7:2010-12, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen — Außergewöhnliche Einwirkungen; Deutsche Fassung EN 1991-1-7:2006 + AC:2010*

DIN EN 1991-3, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen*

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

DIN EN 1997-1, *Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

DIN EN 1998-1, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten*

DIN EN 1998-1/NA, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau*

DIN EN 13155, *Krane — Sicherheit — Lose Lastaufnahmemittel*

DIN EN 50308:2005-03, *Windenergieanlagen — Schutzmaßnahmen — Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung; Deutsche Fassung EN 50308:2004*

DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1), *Windenergieanlagen — Teil 1: Auslegungsanforderungen*

DIN EN 61400-3 (VDE 0127-3), *Windenergieanlagen — Teil 3: Auslegungsanforderungen für Windenergieanlagen auf offener See*

DIN EN 61400-13 (VDE 0127-13), *Windenergieanlagen — Teil 13: Messung von mechanischen Lasten*

DGUV-Information 203-007, *Windenergieanlagen*¹⁾

3 Begriffe und Allgemeines zu den Begriffen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN EN 1990:2010-12, 1.5, und die folgenden Begriffe.

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

1) Zu beziehen durch: Carl Heymanns Verlag GmbH, Luxemburger Str. 449, 50938 Köln.

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

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

3.1.1

offene See

(en: Offshore)

Standortbedingungen, sofern hydrodynamische Lasten auf die Tragstruktur auftreten

3.1.2

An Land

(en: Onshore)

Standortbedingungen, sofern keine hydrodynamischen Lasten auf die Tragstruktur auftreten und der Einfluss von Seewasser zu vernachlässigen ist

3.1.3

Turm

(en: Tower)

Teil der Tragstruktur einer Windenergieanlage oberhalb des Fundaments bzw. der Unterstruktur, der die Rotor-Gondel-Baugruppe trägt, einschließlich eventueller Abspannungen

3.1.4

Entwurfsgrundlagen

(en: Design Basis)

Zusammenstellung der Konstruktionsregeln, ergänzender Vorschriften und der standortspezifischen Entwurfsgrundlagen

3.1.5

Tragstruktur

konstruktive Bauteile, die eine tragende Funktion erfüllen

Anmerkung 1 zum Begriff: Konstruktive Bauteile, die eine tragende Funktion erfüllen, können auch Bestandteil der Betriebsstruktur sein.

3.1.6

Gründungselement

konstruktives Bauteil, das auf oder im Baugrund abgesetzt bzw. verankert wird und die auftretenden Kraftwirkungen dauerhaft sicher in den Baugrund einleitet

3.1.7

Windenergieanlage

WEA

Anlage, die die kinetische Energie des Windes in elektrische Energie umwandelt

3.1.8

Lebensdauer

die der Auslegung der Windenergieanlage zugrunde gelegte Zeitspanne

3.1.9

Nennleistung

maximale Dauerleistung, die sich aus der Leistungskurve ergibt

3.1.10

Leerlauf

betriebsbereiter Zustand einer Windenergieanlage ohne Leistungsabgabe, bei dem sich der Rotor langsam dreht

3.1.11

mittlere Windgeschwindigkeit

$v_m(z)$

10-Minuten-Mittel der Windgeschwindigkeit in einer Höhe z über Grund

3.1.12

mittlere 50-Jahreswindgeschwindigkeit

$v_{m50}(z)$

mittlere Windgeschwindigkeit in der Höhe z über Grund, abhängig von der Topographie des Standortes, die statistisch im Mittel einmal in 50 Jahren erreicht oder überschritten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: entspricht einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,02; $v_m(z)$ nach DIN EN 1991-1-4 in Verbindung mit DIN EN 1991-1-4/NA

3.1.13

mittlere 1-Jahreswindgeschwindigkeit

$v_{m1}(z)$

mittlere Windgeschwindigkeit in der Höhe z über Grund, abhängig von der Topographie des Standortes, die statistisch im Mittel einmal jährlich erreicht oder überschritten wird

3.1.14

Basiswindgeschwindigkeit

$v_b(z)$

50-Jahres-Wind in 10 m Höhe in ebenem offenem Gelände, der über eine Zeitspanne von 10 min gemittelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: $v_b = v_{b,0}$, da c_{Season} und $c_{dir} = 1$, siehe DIN EN 1991-1-4 in Verbindung mit DIN EN 1991-1-4/NA

3.1.15

Jahresmittel der Windgeschwindigkeit

v_{ave}

über mehrere Jahre gemittelte Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe

3.1.16

Nennwindgeschwindigkeit

v_r

kleinste mittlere Windgeschwindigkeit, bei der die Nennleistung erreicht wird

3.1.17

Einschaltwindgeschwindigkeit

v_{in}

kleinste mittlere Windgeschwindigkeit, bei der die Windenergieanlage betrieben wird

3.1.18

Abschaltwindgeschwindigkeit

v_{out}

größte mittlere Windgeschwindigkeit, bei der die Windenergieanlage betrieben wird

3.1.19

Bathymetrie

Vermessung der topographischen Gestalt des Meeresbodens

3.1.20

Kolk

örtlich begrenzte, durch Strömungsvorgänge hervorgerufene Vertiefung am Gewässerbett

[QUELLE: DIN 4054:1977, 1.15]

3.1.21

Offshore-Plattform

Seeanlage (einschließlich Messmast), die eine künstliche Standfläche im Meer mit allen erforderlichen Infrastrukturkomponenten und Sicherheitsausrüstungen umfasst

3.1.22

Betriebsstruktur der Offshore-Plattform

(en: Topside)

tragende Struktur des oberen Aufbaus einer Offshore-Plattform, die sich auf der Unterstruktur befindet

Anmerkung 1 zum Begriff: Üblicherweise enthält die Betriebsstruktur die gesamte für den Betrieb notwendige Technik bzw. Ausrüstung.

3.1.23

Unterstruktur

Teil der Tragstruktur oberhalb der Gründungselemente

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Windenergieanlagen auf See ist das der Teil zwischen Gründungselement und Turm, bei Offshore-Plattformen der Teil zwischen Gründungselement und Betriebsstruktur (siehe Bild 1 und Bild 2).

3.1.24

Querschwingungen

Schwingungen einer Konstruktion quer zur Hauptbeanspruchungsrichtung

3.1.25

Marine Lasten

Einwirkungen aus Seegang und Strömung

3.1.26

Seeschlag

(en: slamming)

Einwirkungen aufgrund des Brechens von Wellen auf die Konstruktion

3.1.27

Wellenaufwurf

(en: Wave Run Up)

Hochlaufen einer Wasserfront entlang einer Konstruktion

3.1.28

Eislasten

witterungsbedingter Aufbau von Eismassen an Strukturelementen

3.1.29

Seeeis-Lasten

witterungsbedingte Vereisung der Meeresoberfläche, beispielsweise in Form von Eischollen, Eistrümmern, Höckereis, Eisbergen, Treibeis und geschlossener Eisdecke sowie thermischen Eisdruck, bei schwankendem Wasserstand

3.1.30

Bootsanprall

Einwirkungen durch das Anlegen von Booten, z. B. zur Versorgung und Wartung

3.1.31

gesamtdynamische Berechnung

Berechnung unter Berücksichtigung eines kompletten dynamischen Modells der Einwirkungen und Reaktionen

3.1.32

Windmodell

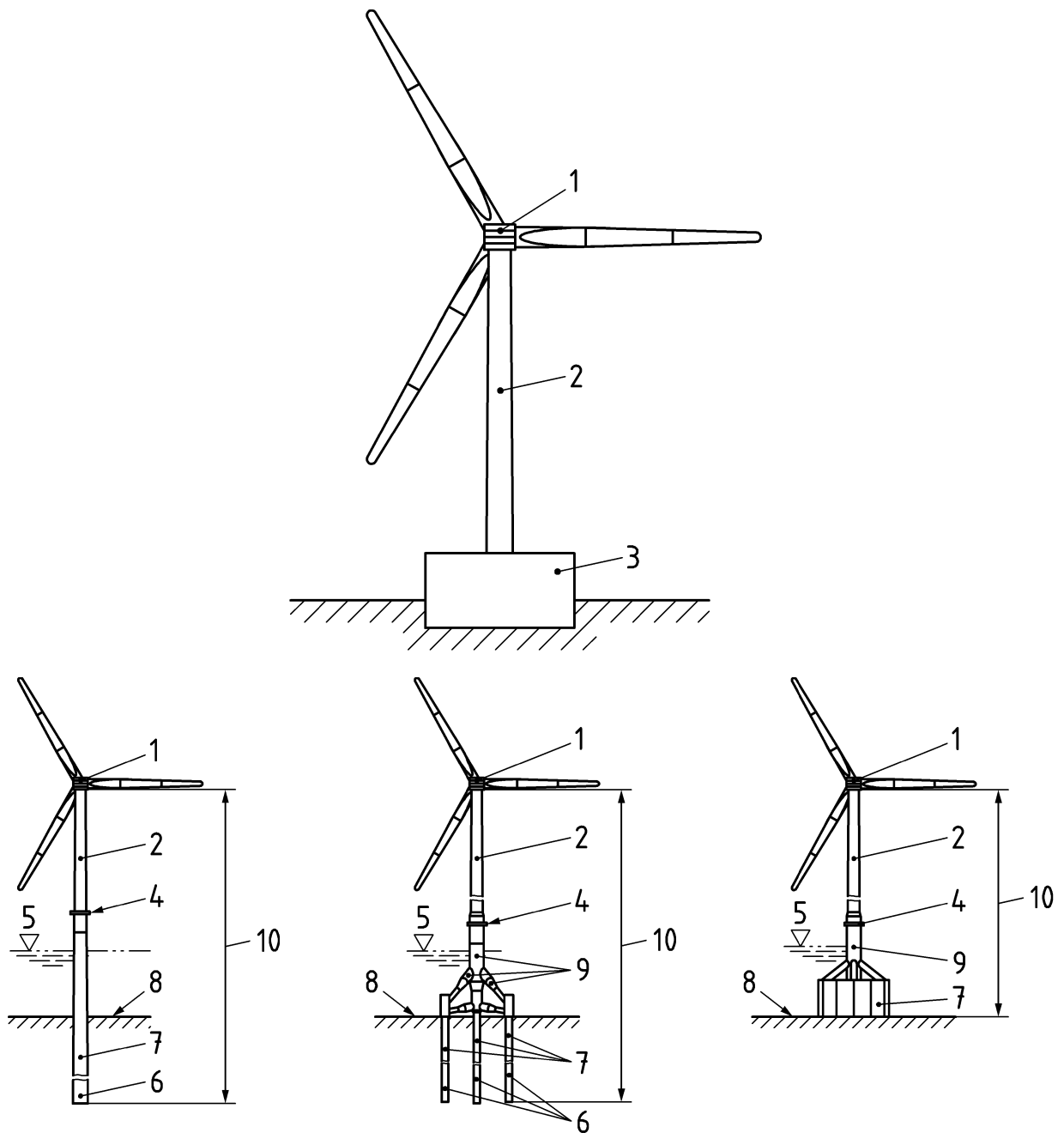
Modellierung der realen Windbedingungen mittels mathematischer Methoden in numerischen Simulationen

3.2 Allgemeines zu den Begriffen

Benennungen zu Bestandteilen von Windenergieanlagen und Plattformen sind in Bild 1 und 2 dargestellt.

Zu den in dieser Norm behandelten konstruktionsbezogenen baulichen Komponenten von Onshore- und Offshore-Bauwerken der Windenergieerzeugung zählen insbesondere

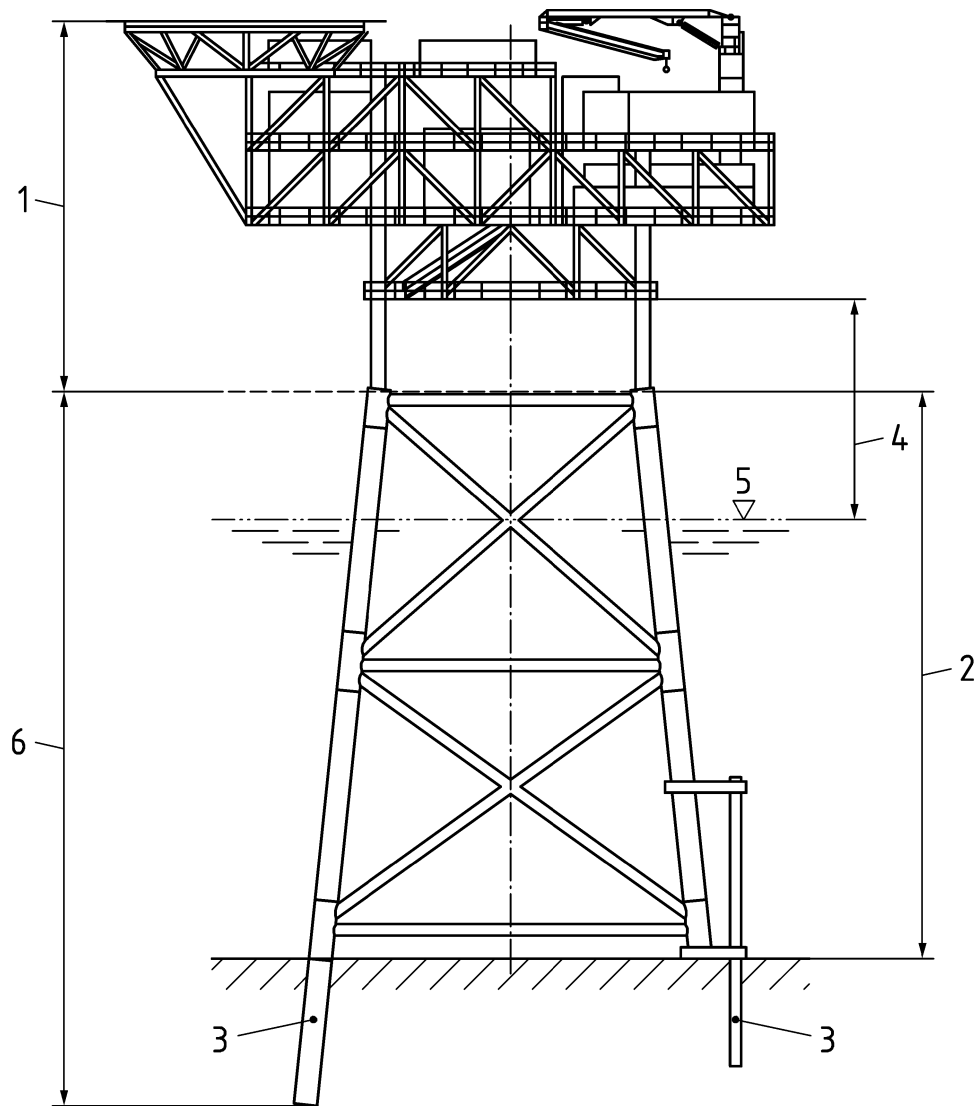
- die Einbindung in den Baugrund (Gründungselemente);
- die Tragstruktur (bei WEA: Turm und Unterstruktur, bei Offshore-Stationen: Unterstruktur sowie alle tragenden Bestandteile der Betriebsstruktur).



Legende

- | | | |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 1 Rotor-Gondel-Baugruppe | 5 Wasserstand | 9 Unterstruktur |
| 2 Turm | 6 Pfahl | 10 Tragstruktur |
| 3 Fundament | 7 Gründungselemente/Fundament | |
| 4 Externe Plattform | 8 Meeresboden | |

Bild 1 — Komponenten des mechanischen Gesamtsystems Windenergieanlage



Legende

- 1 Betriebsstruktur
- 2 Unterstruktur
- 3 Gründungselemente
- 4 Air Gap
- 5 Wasserstand
- 6 Tragstruktur

Bild 2 — Komponenten des mechanischen Gesamtsystems Plattform

Das mechanische Gesamtsystem der Plattform besteht aus den Komponenten Betriebsstruktur (Topside) und Tragstruktur mit Gründungselementen (Bild 2).

4 Symbole und Abkürzungen

- A Fläche
- a horizontaler Abstand zwischen den Turmachsen zweier benachbarter Windenergieanlage
- a_{boot} zusätzlicher Massenkoeffizient zur Bestimmung des Bootsanpralls

c_b	Steifigkeitskoeffizient der Gesamtstruktur am Punkt und in Richtung eines Bootsanpralls
$c_1 \dots c_n$	Einzelsteifigkeiten
c_{dir}	Richtungsbeiwert nach DIN EN 1991-1-4
$c_E(R)$	Beiwert für Eislastenermittlung
c_{season}	Jahreszeitenbeiwert nach DIN EN 1991-1-4
D	Rotordurchmesser
E_d	Bemessungswert der Einwirkung
E_{kin}	kinetische Energie
F	Kraft, Last
f_0	Eigenfrequenz
$f_{0,1}$	erste Eigenfrequenz des Turmes
$f_{R,m}$	Durchgangsfrequenz der m Rotorblätter
$f_{0,n}$	n -te Eigenfrequenz des Turms
f_R	max. Erregerfrequenz des laufenden Rotors
h	Höhe des Rotormittelpunktes (Nabenhöhe) über Gelände, Turmhöhe
H_s	signifikante Wellenhöhe
I_v	Turbulenzintensität
M	Moment
m	Anzahl der Rotorblätter, Exponent der Wöhlerkurve
m_{boot}	Bootsmasse
m_E	Eismasse
N	Lastspielzahl
q	Geschwindigkeitsdruck (Staudruck)
q_k	charakteristischer Wert einer gleichförmig verteilten Belastung oder Linienlast
Q_k	charakteristischer Wert einer veränderlichen Einzellast
R	Rotorradius
R_d	Bemessungswert der Tragfähigkeit
T_{ed}	Bezugstemperatur
T_0	Einwirkungsdauer
$T_{N,1}$	über den Umfang und die Querschnittsdicke konstant wirkender Temperaturanteil
$T_{N,2}$	über den Umfang veränderlicher und über die Querschnittsdicke konstant wirkender Temperaturanteil
T_M	über die Wanddicke in Längs- und Ringrichtung veränderlicher Temperaturunterschied
t_s	Tiefe des Rotorblattes an der Spitze bei linearer Extrapolation der Vorder- und Hinterkante
t_w	größte Tiefe des Rotorblattes in der Nähe der Wurzel
v_b	Basiswindgeschwindigkeit

v_{m50}	mittlere 50-Jahreswindgeschwindigkeit
v_{m1}	mittlere 1-Jahreswindgeschwindigkeit
v_{hub}	Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe
v_{ave}	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe
v_{out}	Abschaltwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe
v_{in}	Einschaltwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe
v_r	Nennwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe
x,y,z	Koordinaten (siehe Bild D.1)
α	Geländerauhigkeitsexponent
β	Anströmwinkel
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand
δ	logarithmisches Dämpfungsdekrement
δ_S	logarithmisches Dekrement der Strukturdämpfung
δ_a	logarithmisches Dekrement der aerodynamischen Dämpfung
ϑ	Verhältniswert bezüglich der Tiefe des Rotorblattes, $\vartheta = ts/tw$
ξ	dimensionslose Längsordinate auf dem Rotorblatt
ρ	Luftdichte
ρ_E	Dichte des Eises
σ	Spannung
ϕ_0, ϕ_1, ϕ_2	Kombinationsbeiwerte nach DIN EN 1990
ϕ_{Temp}	Kombinationsbeiwert nach DIN EN 1990
$\Delta\sigma$	Spannungsschwingbreite
EWM	Extremes Wind-Modell
ESS	Extreme See
LAT	niedrigster möglicher Gezeitenwasserstand (en: Lowest Astronomical Tide)
COD	Co- directional
UNI	Unidirektional

ULS	Grenzzustand der Tragfähigkeit (en: Ultimate Limit State)
SLS	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (en: Servicability Limit State)
FLS	Grenzzustand der Ermüdung (en: Fatigue Limit State)
EQU	Grenzzustand der Tragfähigkeit mit Verlust der Lagesicherheit des Tragwerks
STR	Grenzzustand der Tragfähigkeit mit Versagen oder übermäßigen Verformungen des Tragwerks
GEO	Grenzzustand der Tragfähigkeit mit Versagen oder übermäßigen Verformungen des Baugrundes
DLC	Auslegungslastfall (en: Design Load Case)

E_d	Bemessungswert einer Einwirkung
Σ	„gemeinsame Auswirkungen von“ (Summenbildung)
$\oplus$	„ist zu kombinieren“
$G_{k,j}$	Charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung j
$\gamma_{G,j}$	Teilsicherheitsbeiwert für die ständige Einwirkung j
$Q_{k,1}$	Charakteristischer Wert der dominierenden veränderlichen Einwirkung
$\gamma_{Q,1}$	Teilsicherheitsbeiwert für die dominierende veränderliche Einwirkung
$\phi_{0,i}$	Kombinationsbeiwert einer veränderlichen Einwirkung
P	Vorspannung
A	Bemessungswert einer außergewöhnlichen Einwirkung (z. B. Erdbeben)

Indizes

d	Bemessungswerte
k	charakteristische Werte
1	1-Jahreswert
50	50-Jahreswert

5 Grundlagen

5.1 Allgemeines

Es gelten die Prinzipien und Anforderungen für die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Tragwerken nach DIN EN 1990.

Die Nachweise sind für die verschiedenen Grenzzustände in einem semi-probabilistischen Sicherheitskonzept zu führen (Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten). Es sind die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen.

Die geplante Lebensdauer der Windenergieanlagen und Plattformen ist festzulegen.

Die Bemessung muss die Tragwerksgeometrie, die Tragwerkeigenschaften und das Tragwerksverhalten während aller Bau- und Betriebsphasen berücksichtigen. Für die Ermüdung sind Beanspruchungszyklen

infolge Bau-, Betriebs- und Montagezuständen, Rückbau und ggf. mögliche anderweitige Einflüsse zu berücksichtigen.

Generell gelten sowohl für Windenergieanlagen als auch für Offshore-Plattformen hohe bzw. höchste Anforderungen für die Ausführung und deren Überwachung. Die Zuordnung konkreter Ausführungs- und Überwachungsklassen erfolgt nach DIN 18088-2 bis DIN 18088-4.

5.2 Sicherheitstechnische Festlegungen

Um eine sichere Durchführung der Arbeiten in allen Phasen (Montage, Wartung und Instandhaltung, Demontage) zu ermöglichen, sind entsprechende Maßnahmen und Einrichtungen zu planen und in das Design zu integrieren.

Insbesondere sind hierbei folgende Aspekte zu beachten:

- a) Sicherheit und Ergonomie bei Verkehrswegen und Arbeitsplätzen für das Personal (z.B. Tür- und Zugangsöffnungen, Böden, Podeste, Geländer, Umwehungen, Leitern mit Fallschutzeinrichtungen, Verankerungs- und Anschlagpunkte für Personen oder geplante Befahranlagen, usw.);
- b) Erstellung eines Notfallkonzeptes und den daraus resultierenden Einrichtungen für Notfälle, wie z. B. Schutzräume bei schlechtem Wetter für Offshore-Windenergieanlagen, Einrichtungen zum Retten und Bergen von Verletzten;
- c) Erstellung eines Brand- und Explosionsschutzkonzeptes und daraus resultierende Einrichtungen;
- d) Erstellung eines Lastenhandhabungskonzeptes und daraus resultierende Lasten aus Transport- und Hebevorgängen in die Tragstruktur;
- e) Auslegung einer korrosionsschutzsystemgerechten Konstruktion.

Grundlage hierfür ist eine Gefährdungsbeurteilung nach § 5 ArbSchG (Arbeitsschutzgesetz) in Verbindung mit den im Folgenden nicht abschließend aufgeführten Normen und Regelwerken (einschließlich der relevanten Inhalte):

- DIN EN 50308 (Allgemeine Anforderungen; Offshore- Installation);
- DIN EN 1808 (Sicherheitsanforderungen bzw. -maßnahmen; Konstruktions-, Festigkeits- und Stand-sicherheitsberechnungen; Werkstoffauswahl; Aufhängekonstruktionen; Personenaufnahmemittel);
- DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1) (Installation, Endmontage und Errichtung; Hebezeuge; Anforderungen an die Konstruktion für sicheren Betrieb, Inspektion und Wartung);
- DIN EN 61400-3 (VDE 0127-3) (Montage, Installation und Errichtung; konstruktive Sicherheit für Hubschrauberbetrieb; Evakuierungsverfahren; Auslegungsanforderungen für sicheren Betrieb, Inspektion und Wartung);
- DIN EN 13155 (Liste der signifikanten Gefährdungen, Sicherheitsanforderungen und Maßnahmen);
- DIN 4426 (Sicherheitstechnische Anforderung an Arbeitsplätze und Verkehrswege);
- DGUV-Informationen 203-007 Windenergieanlagen (Maßnahmen zur Verhütung von Gefahren — Errichten und Montage — Betrieb, Wartung und Instandhaltung — Katalog der Gefährdungen und Belastungen).

5.3 Wiederkehrende Prüfungen

Grundsätzlich sind hinsichtlich der Tragfähigkeit und Sicherung der Dauerhaftigkeit an den Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen wiederkehrende Prüfungen während der Nutzungsdauer durchzuführen.

Für nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Tragstrukturen sind bereits bei dem Entwurf und der Bemessung wiederkehrende Prüfungen zu planen, da diese Einfluss auf die festzulegenden Teilsicherheitsbeiwerte der Beanspruchbarkeiten für die Ermüdungsfestigkeit haben.

Bestandteil der Planung ist ein Konzept für die Durchführung der wiederkehrenden Prüfungen an Bauteilen bzw. Verbindungen, die für die Integrität der Tragstruktur wesentlich sind. Der Prüfungsplan muss eine Liste der zu prüfenden Bauteile und Prüfungsziele enthalten.

Sofern nicht anders vereinbart oder durch Ansatz entsprechender Teilsicherheitsbeiwerte überflüssig, wird eine Prüfperiode von 4 Jahren empfohlen.

6 Bemessungssituationen

6.1 Allgemeines

Die Nachweisführung erfolgt nach DIN EN 1990.

Der Bemessungswert der Einwirkungen E_d muss kleiner oder gleich dem Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d sein ($E_d \leq R_d$).

6.2 Nachweise für Grenzzustände der Tragfähigkeit

Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit gilt DIN EN 1990.

Es sind folgende Grenzzustände der Tragfähigkeit (en: Ultimate Limit State — ULS) zu berücksichtigen:

- a) Nachweis gegen Verlust der Lagesicherheit EQU nach DIN EN 1990 des Tragwerks oder eines seiner Teile, betrachtet als starrer Körper, bei dem:
 - kleine Abweichungen der Größe oder der räumlichen Verteilung der Einwirkungen den gleichen Ursprung haben; und
 - die Festigkeit von Baustoffen und Bauprodukten oder des Baugrunds im Allgemeinen keinen Einfluss hat;
- b) Versagen oder übermäßige Verformungen des Tragwerks oder seiner Teile einschließlich der Fundamente, Fundamentkörper, Pfähle, wobei die Tragfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen (STR nach DIN EN 1990) entscheidend ist;
- c) Versagen oder übermäßige Verformungen des Baugrundes, bei denen die Festigkeit von Boden oder Fels wesentlich an der Tragsicherheit (GEO nach DIN EN 1990) beteiligt ist;
- d) Grenzzustand der Ermüdung (en: Fatigue Limit State — FLS) für Windenergieanlagen und Offshore-Strukturen;
- e) außergewöhnliche Einwirkungen (en: Accidental Limit State — ALS) sind nach DIN EN 1990 Bestandteil der Grenzzustände STR und GEO.

Zur Sicherstellung der Standsicherheit der Bauwerke und seiner Komponenten sind die o. g. Grenzzustände zu untersuchen. Die hierfür erforderlichen bauwerks- und materialspezifischen Detailnachweise sind den entsprechenden Eurocodes zu entnehmen, sofern nicht Angaben in den zugehörigen Teilen dieser Normenreihe gemacht werden.

6.3 Nachweise für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (en: Serviceability Limit State — SLS) gilt DIN EN 1990.

Die Bemessungswerte der Einwirkungen sind für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit mit den charakteristischen Werten ($\gamma_F = 1,0$) zu ermitteln.

7 Einwirkungen

7.1 Allgemeines

Es werden zunächst die Einwirkungen für Windenergieanlagen an Land dargestellt und anschließend die ergänzenden Festlegungen für Windenergieanlagen auf offener See. Im Anschluss folgen die Festlegungen für Plattformen auf offener See.

Einwirkungen auf an Land befindlichen Windenergieanlagen sind entsprechend DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1) anzunehmen. Für Windenergieanlagen auf offener See ist DIN EN 61400-3 (VDE 0127-3) anzuwenden. Ergänzungen und Abweichungen für Windenergieanlagen an Land wie auch auf offener See sind in 7.2 und 7.3 festgelegt.

Für vorrangig bei Plattformen relevante Anbauteile wie Treppen, Bühnen und Geländer sind die Festlegungen für Plattformen aus 7.4 analog auf Windenergieanlagen auf offener See anzuwenden, sofern sie die Festlegungen aus 7.2 und 7.3 ergänzen.

Einwirkungen auf Plattformen wirkend sind DIN EN 1991 zu entnehmen. Ergänzungen sind in 7.4 festgelegt.

7.2 Einwirkungen für Windenergieanlagen an Land

7.2.1 Trägheits- und Gravitationslasten

7.2.1.1 Ständige Gravitationslasten (Eigenlasten)

Die charakteristischen Werte der Eigenlasten sind mit den Rechenwerten nach DIN EN 1991-1-1 zu ermitteln.

Werden Werkstoffe verwendet, die nicht in diesen Normen enthalten sind, so sind deren tatsächliche Wichten der Lastermittlung zugrunde zu legen.

7.2.1.2 Trägheitskräfte aus Massenexzentrizitäten

Es sind die in DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1) beschriebenen Rotorunwuchten anzusetzen. Außerdem sind die zusätzlichen Trägheitskräfte aus Massenexzentrizitäten infolge Eislasten für den Fall zu ermitteln, dass ein Rotorblatt nicht vereist ist (siehe 7.2.1.4), sofern der Betrieb unter Eislasten nicht sicher ausgeschlossen werden kann.

7.2.1.3 Erdbeben

Einwirkungen aus Erdbeben sind nach DIN EN 1998-1 und DIN EN 1998-1/NA zu berücksichtigen, wobei Bedeutungskategorie I angenommen werden darf, wenn bei Versagen (z. B. Umsturz) der betreffenden WEA im Erdbebenfall kein Bauwerk mit höherer Bedeutungskategorie in Mitleidenschaft gezogen werden kann.

7.2.1.4 Eislasten

Bei stillstehenden Anlagen sind die Eislasten für alle der Witterung ausgesetzten Konstruktionsteile nach DIN 1055-5:2005-07, Anhang A zu ermitteln.

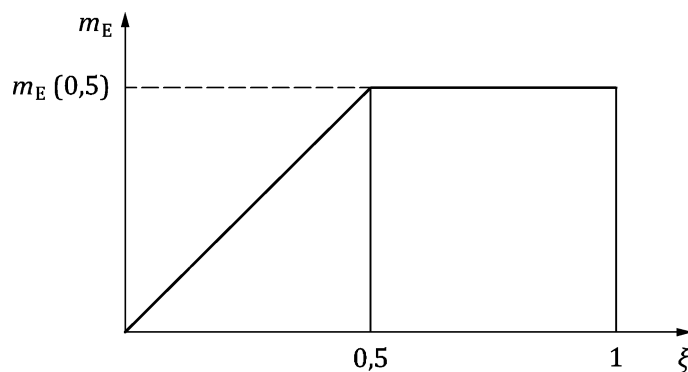
Veränderte dynamische Verhältnisse der vereisten Tragstruktur sind zu berücksichtigen.

Sofern der Betrieb unter Eislasten nicht sicher ausgeschlossen werden kann, ist der Eisansatz an den Rotorblättern durch eine über die Länge des Rotorblattes verteilt anzunehmende Masse $m_E(\xi)$ nach Bild 3 und Gleichung (1) zu berücksichtigen. Die Eismasse ist als an der Profilvorderkante des Rotorblattes wirkend anzunehmen.

$$m_E(0,5) = c_E(R) \cdot \vartheta (1 + \nu) \cdot \rho_E \cdot t_W^2 \quad (1)$$

Dabei ist

$$c_E(R) = 0,3 \cdot e^{-0,32R} + 0,006\,75 \quad (2)$$



Legende

- m_E anzunehmende Eismasse
- R Rotorradius, in m
- ξ dimensionslose Längenordinate auf dem Rotorblatt

Bild 3 — Eisansatz an Rotorblättern bei Anlagen in Betrieb

7.2.1.5 Schneelasten

Die Einwirkungen infolge Schnee sind DIN EN 1991-1-3 zu entnehmen.

7.2.2 Aerodynamische Lasten

7.2.2.1 Allgemeines

Die aerodynamischen Lasten sind nach DIN EN 1991-1-4 unter Berücksichtigung der besonderen Festlegungen von DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1) und dieser Norm zu ermitteln.

Im Allgemeinen gelten die Windbedingungen nach DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1). Abweichungen von DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1) werden nachfolgend angegeben.

Als Rechenwert für die Luftdichte darf abweichend von DIN EN 1991-1-4, $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ angenommen werden.

7.2.2.2 Windbedingungen

7.2.2.2.1 Allgemeines

Die Windbedingungen sind nach DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1) zu ermitteln.

7.2.2.2.2 Extremwindbedingungen

Die entsprechend der Windzone der Windenergieanlage anzunehmende Windgeschwindigkeit des mittleren 50-Jahreswindes, $v_{m50}(z)$ ist nach DIN EN 1991-1-4 in Verbindung mit DIN EN 1991-1-4/NA zu ermitteln.

Die Berechnung des Höhenprofils der mittleren 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{m50}(z)$ und der Turbulenz $I_v(z)$ für Geländerauheiten bis maximal Geländekategorie III erfolgt grundsätzlich mit den Gleichungen nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12, Tabelle NA.B.2 bzw. NA.B.4.

Rauheiten größer als in Geländekategorie III dürfen nicht angesetzt werden.

Bei Standorten in Geländekategorie I und Geländekategorie II dürfen vereinfacht die Gleichungen (3) und (4) gemeinsam verwendet werden.

Die Turbulenzintensität darf vereinfacht wie folgt angenommen werden:

$$I_v(z) = 0,128 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{-0,05} \quad (3)$$

Das zugehörige Höhenprofil für die mittlere Windgeschwindigkeit (einschließlich des mittleren Windprofils für das turbulente Windfeld) darf wie folgt angenommen werden:

$$v(z) = 1,15 \cdot v_{b,0} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,121} \quad (4)$$

Diese Festlegungen betreffen das Windmodell EWM, d. h. dass für die entsprechenden Lastfälle aus DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1) die Windbedingungen entsprechend anzupassen sind.

7.2.2.2.3 Betriebswindbedingungen

Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe v_{ave} ist nach Gleichung (5) bzw. Gleichung (6) anzunehmen, sofern standortspezifisch keine geringeren Werte nachgewiesen werden.

$$v_{ave} = 0,18 \cdot v_{m50}(z) \quad (5)$$

$$v_{ave} = 0,20 \cdot v_{m50}(z) \quad (6)$$

Die Gleichung (6) gilt für Inseln der Nordsee.

Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit v_{ave} in Windzone WZ 1 und WZ 2 nach DIN EN 1991-1-4/NA ist mit dem Wert von WZ 3 anzusetzen.

Die Standorteignung von Windenergieanlagen hinsichtlich der Windbedingungen ist nach DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1) nachzuweisen. Für Standorte, die als nicht topografisch komplex zu bezeichnen sind, kann die Standorteignung nach Anhang C nachgewiesen werden. Die topografische Komplexität kann hierbei durch das Verfahren nach DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1) bestimmt werden.

Es ist zulässig, für Windenergieanlagen Betriebs- und Extremwindbedingungen einschließlich der Turbulenzkategorie unabhängig von Windzonen nach DIN EN 1991-1-4 zu spezifizieren und dafür im Rahmen einer Typprüfung nachzuweisen.