

## Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ...

### Inhalt

|  | Seite |
|--|-------|
| Nationales Vorwort.....  | 8     |
| Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Dokumenten ..... | 9     |
| Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....   | 12    |
| Einleitung .....   | 15    |
| 1 Anwendungsbereich .....  | 16    |
| 2 Normative Verweisungen .....   | 16    |
| 3 Begriffe .....   | 17    |
| 4 Formelzeichen und Abkürzungen.....   | 25    |
| 4.1 Formelzeichen und Einheiten .....  | 25    |
| 4.2 Abkürzungen .....  | 28    |
| 5 Grundsätze .....   | 28    |
| 5.1 Allgemeines .....  | 28    |
| 5.2 Auslegungsmethoden.....  | 29    |
| 5.3 Sicherheitsklassen.....  | 29    |
| 5.4 Qualitätssicherung .....   | 29    |
| 5.5 Aufschriften auf der WEA .....   | 29    |
| 6 Umgebungsbedingungen .....   | 30    |
| 6.1 Allgemeines .....  | 30    |
| 6.2 WEA-Klassen .....  | 30    |
| 6.3 Windbedingungen.....   | 31    |
| 6.3.1 Normale Windbedingungen .....  | 33    |
| 6.3.2 Extreme Windbedingungen .....  | 34    |
| 6.4 Sonstige Umweltbedingungen.....  | 39    |
| 6.4.1 Sonstige normale Umweltbedingungen .....   | 40    |
| 6.4.2 Sonstige extreme Umweltbedingungen .....   | 40    |
| 6.5 Elektrische Netzbedingungen.....   | 40    |
| 7 Strukturelle Auslegung .....   | 41    |
| 7.1 Allgemeines .....  | 41    |
| 7.2 Methodologie der Auslegung.....  | 41    |
| 7.3 Lasten.....  | 41    |
| 7.3.1 Gravitations- und Trägheitslasten .....  | 42    |
| 7.3.2 Aerodynamische Lasten .....  | 42    |
| 7.3.3 Funktionslasten .....  | 42    |
| 7.3.4 Sonstige Lasten.....   | 42    |
| 7.4 Auslegungszustände und Lastfälle.....  | 42    |
| 7.4.1 Produktionsbetrieb (DLC 1.1 bis DLC 1.5).....  | 45    |

|       | Seite  |    |
|-------|--|----|
| 7.4.2 | Produktionsbetrieb und Auftreten eines Fehlers oder Netzausfall (DLC 2.1 bis DLC 2.5)..... | 45 |
| 7.4.3 | Anlauf (DLC 3.1 bis DLC 3.3).....  | 48 |
| 7.4.4 | Normale Abschaltung (DLC 4.1 bis DLC 4.2).....   | 48 |
| 7.4.5 | Notabschaltung (DLC 5.1).....  | 48 |
| 7.4.6 | Parken (Stillstand oder Leerlauf) (DLC 6.1 bis DLC 6.4).....                               | 49 |
| 7.4.7 | Parken und Fehlzustand (DLC 7.1).....  | 49 |
| 7.4.8 | Transport, Montage, Instandhaltung und Reparatur (DLC 8.1 und DLC 8.2).....                | 50 |
| 7.5   | Lastberechnungen.....  | 50 |
| 7.6   | Untersuchung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit.....                                     | 51 |
| 7.6.1 | Methode.....   | 51 |
| 7.6.2 | Tragfähigkeitsnachweis.....  | 54 |
| 7.6.3 | Betriebsfestigkeitsversagen.....   | 57 |
| 7.6.4 | Stabilität.....  | 58 |
| 7.6.5 | Nachweis kritischer Verformungen.....  | 58 |
| 7.6.6 | Spezielle Teilsicherheitsbeiwerte.....   | 59 |
| 8     | Betriebsführungssystem.....  | 59 |
| 8.1   | Allgemeines.....   | 59 |
| 8.2   | Betriebsführungsfunktionen.....  | 60 |
| 8.2.1 | Ausfall von Betriebsführungsfunktionen.....  | 60 |
| 8.3   | Funktion des Not-Halt-Schalters.....   | 61 |
| 8.4   | Manueller, automatischer und fernausgelöster Wiederanlauf.....                             | 62 |
| 8.5   | Bremsystem.....  | 63 |
| 9     | Mechanische Systeme.....   | 63 |
| 9.1   | Allgemeines.....   | 63 |
| 9.2   | Montagefehler.....   | 63 |
| 9.3   | Hydraulische oder pneumatische Systeme.....  | 64 |
| 9.4   | Hauptgetriebe.....   | 64 |
| 9.5   | Giersystem.....  | 64 |
| 9.6   | Blattverstellungssystem.....   | 65 |
| 9.7   | Mechanische Bremsen im Schutzsystem.....   | 65 |
| 9.8   | Wälzlager.....   | 65 |
| 10    | Elektrische Anlage.....  | 65 |
| 10.1  | Allgemeines.....   | 65 |
| 10.2  | Allgemeine Anforderungen an die elektrische Anlage.....                                    | 66 |
| 10.3  | Interne Umgebungsbedingungen.....  | 66 |
| 10.4  | Schutzeinrichtungen.....   | 67 |
| 10.5  | Trennung von Stromversorgungsquellen.....  | 67 |
| 10.6  | Erdungssystem.....   | 68 |
| 10.7  | Blitzschutz.....   | 68 |
| 10.8  | Elektrische Leitungen.....   | 68 |
| 10.9  | Selbsterregung.....  | 69 |

|        | Seite  |
|--------|--|
| 10.10  | Schutz gegen elektromagnetische Impulse durch Blitzschlag ..... 69   |
| 10.11  | Netzverträglichkeit ..... 69   |
| 10.12  | Elektromagnetische Verträglichkeit ..... 69  |
| 10.13  | Leistungshalbleiter-Umrichtersysteme und –betriebsmittel ..... 69  |
| 10.14  | Verdrillung/Tropfschleifen ..... 70  |
| 10.15  | Schleifringe ..... 70  |
| 10.16  | Senkrecht verlegte Energieübertragungsleitungen und Komponenten ..... 70   |
| 10.17  | Motorantriebe/Umrichter ..... 71   |
| 10.18  | Elektrische Maschinen ..... 71   |
| 10.19  | Leistungstransformatoren ..... 71  |
| 10.20  | Niederspannungsschaltanlagen und –schaltgeräte ..... 72  |
| 10.21  | Hochspannungsschaltanlagen ..... 72  |
| 10.22  | Naben ..... 72   |
| 11     | Bewertung einer WEA für standortspezifische Bedingungen ..... 73   |
| 11.1   | Allgemeines ..... 73   |
| 11.2   | Bewertung der topographischen Komplexität des Standortes und deren Auswirkung auf die<br>Turbulenz ..... 73      |
| 11.2.1 | Bewertung der topographischen Komplexität ..... 73   |
| 11.2.2 | Bewertung der Turbulenzstruktur am Standort ..... 76   |
| 11.3   | Für die Bewertung benötigte Windbedingungen ..... 77   |
| 11.3.1 | Für die Bewertung benötigte Windbedingungen ..... 77   |
| 11.3.2 | Messaufbau ..... 78  |
| 11.3.3 | Auswertung der Daten ..... 79  |
| 11.4   | Bewertung der Einflüsse vom Nachlauf benachbarter WEA ..... 79   |
| 11.5   | Bewertung sonstiger Umweltbedingungen ..... 79   |
| 11.6   | Bewertung der Erdbebenbedingungen ..... 80   |
| 11.7   | Bewertung der elektrischen Netzbedingungen ..... 81  |
| 11.8   | Bewertung der Bodenverhältnisse ..... 81   |
| 11.9   | Nachweis der strukturellen Integrität anhand von Winddaten ..... 81  |
| 11.9.1 | Nachweis der Betriebsfestigkeitseignung anhand von Winddaten ..... 81  |
| 11.9.2 | Nachweis der Tragfähigkeitseignung anhand von Winddaten ..... 82   |
| 11.10  | Nachweis der strukturellen Integrität durch Lastberechnungen anhand standortspezifischer<br>Bedingungen ..... 83 |
| 12     | Montage, Installation und Errichtung ..... 84  |
| 12.1   | Allgemeines ..... 84   |
| 12.2   | Planung ..... 84   |
| 12.3   | Installationsbedingungen ..... 85  |
| 12.4   | Zugang zum Standort ..... 85   |
| 12.5   | Umweltbedingungen ..... 85   |
| 12.6   | Dokumentation ..... 85   |
| 12.7   | Übernahme, Handhabung und Lagerung ..... 85  |
| 12.8   | Fundament/Verankerungssysteme ..... 86   |

|  | Seite |
|--|-------|
| 12.9 Montage der WEA.....  | 86    |
| 12.10 Errichtung der WEA.....  | 86    |
| 12.11 Befestigungselemente und Halterungen.....  | 86    |
| 12.12 Krane, Hebezeuge und Hebevorrichtungen.....  | 86    |
| 13 Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung.....   | 86    |
| 13.1 Allgemeines.....  | 86    |
| 13.2 Anforderungen an die Konstruktion für sicheren Betrieb, Inspektionen und Instandhaltung.....  | 87    |
| 13.3 Anweisungen für die Inbetriebnahme.....   | 87    |
| 13.3.1 Inbetriebnahme der elektrischen Anlage.....   | 88    |
| 13.3.2 Inbetriebnahmeprüfungen.....  | 88    |
| 13.3.3 Protokolle.....   | 88    |
| 13.3.4 Tätigkeiten nach der Inbetriebnahme.....  | 88    |
| 13.4 Handbuch für den Betreiber.....   | 88    |
| 13.4.1 Allgemeines.....  | 88    |
| 13.4.2 Anweisungen für das Betriebs- und Instandhaltungsprotokoll.....   | 89    |
| 13.4.3 Anweisungen für außerplanmäßige automatische Abschaltungen.....   | 89    |
| 13.4.4 Anweisungen für eine verminderte Zuverlässigkeit.....   | 89    |
| 13.4.5 Plan für Arbeitsanweisungen.....  | 89    |
| 13.4.6 Maßnahmenplan für den Notfall.....  | 89    |
| 13.5 Instandhaltungshandbuch.....  | 90    |
| 14 Kaltes Klima.....   | 90    |
| 14.1 Auswirkungen von Klima mit niedrigen Temperaturen und Vereisungsklima.....  | 91    |
| 14.2 Umgebungsbedingungen für kaltes Klima.....  | 91    |
| 14.2.1 WEA-Klasse für kaltes Klima.....  | 91    |
| 14.3 Strukturelle Auslegung.....   | 92    |
| 14.4 Auslegungszustände und Lastfälle.....   | 92    |
| 14.4.1 Lastberechnungen.....   | 92    |
| 14.4.2 Auswahl der Materialeigenschaften.....  | 92    |
| 14.5 Betriebsführungssysteme.....  | 93    |
| 14.6 Mechanische Systeme.....  | 93    |
| 14.7 Elektrische Anlagen.....  | 93    |
| 14.8 Bewertung der Bedingungen eines kalten Klimas.....  | 94    |
| Anhang A (normativ) Auslegungsparameter für Umgebungsbedingungen.....  | 95    |
| Anhang B (informativ) Auslegungslastfälle für die standortspezifische Klasse oder die<br>Sonderklasse S für die WEA-Auslegung oder die Bewertung der Eignung für einen Standort..... | 98    |
| Anhang C (informativ) Turbulenzmodelle.....  | 101   |
| Anhang D (informativ) Nachweis der Erdbebenbelastung.....  | 106   |
| Anhang E (informativ) Nachlauf und Windparkturbulenz.....  | 110   |
| Anhang F (informativ) Vorhersage der Windverteilung für WEA-Standorte mittels einer<br>Langzeitkorrektur (Measure-Correlate-Predict, MCP).....                                       | 116   |
| Anhang G (informativ) Statistische Extrapolation von Lasten für den Tragfähigkeitsnachweis.....  | 118   |
| Anhang H (informativ) Betriebsfestigkeitsberechnung mit der Miner-Regel mit Lastenextrapolation.....   | 127   |

|   | Seite |
|---|-------|
| Anhang I (informativ) Gleichzeitig auftretende Lasten.....  | 131   |
| Anhang J (informativ) Vorhersage der extremen Windgeschwindigkeit tropischer Zyklone mit der Monte-Carlo-Simulationsmethode.....                    | 133   |
| Anhang K (informativ) Kalibrierung von Sicherheitsbeiwerten für Konstruktionsmaterialien und durch Prüfung unterstützte strukturelle Auslegung..... | 138   |
| Anhang L (informativ) Kaltes Klima: Feststellung und Auswirkungen von Vereisungsklima.....  | 152   |
| Anhang M (informativ) Mittlere Windenergieanlagen.....  | 158   |
| Literaturhinweise.....  | 161   |

**Bilder**

|   |     |
|---|-----|
| Bild 1 – Normales Turbulenzmodell (NTM).....  | 34  |
| Bild 2 – Beispiel einer extremen Betriebsbö.....  | 36  |
| Bild 3 – Beispiel für den Betrag der extremen Windrichtungsänderung.....  | 37  |
| Bild 4 – Beispiel für die extreme Windrichtungsänderung.....  | 37  |
| Bild 5 – Beispiel für die Überhöhung einer extremen kohärenten Bö für ECD.....  | 37  |
| Bild 6 – Richtungsänderung für ECD.....   | 38  |
| Bild 7 – Beispiel für den Zeitverlauf der Richtungsänderung.....  | 38  |
| Bild 8 – Beispiele für einen extremen positiven und negativen vertikalen Windgradienten, Windprofil vor Beginn ( $t = 0$ , gestrichelt) und bei maximalem Gradienten ( $t = 6$ s, durchgezogen).....  | 39  |
| Bild 9 – Beispiel für die Windgeschwindigkeiten am oberen bzw. unteren Punkt des Rotors zur Darstellung des transienten positiven Windgradienten.....   | 39  |
| Bild 10 – Beispiele für 30°-Sektoren für die Annäherung der Geländedaten (A: Radius $20 z_{hub}$ , B: Radius $10 z_{hub}$ , C: Radius $5 z_{hub}$ und $C_2$ : Radius $5 z_{hub}$ erweitert um $2 z_{hub}$ hinter der Position der WEA)..... | 74  |
| Bild 11 – Geländeabweichung ( $\Delta z$ ) und Geländeneigung ( $\varphi$ ).....  | 74  |
| Bild 12 – Mögliche Kombinationen der normierten mittleren Windgeschwindigkeit mit dem Formparameter $k$ der Weibull-Verteilung (schraffierte Fläche).....   | 82  |
| Bild 13 – Definition von kaltem Klima: Klima mit niedrigen Temperaturen und Vereisungsklima.....  | 91  |
| Bild D.1 – Strukturmodell für das Antwortspektrumverfahren.....   | 107 |
| Bild E.1 – Anordnung innerhalb eines Windparks mit mehr als zwei Reihen.....  | 112 |
| Bild E.2 – Die drei grundlegenden Teile des DWM-Modells.....  | 112 |
| Bild K.1 – $r_e-r_t$ -Diagramm.....   | 148 |
| Bild L.1 – Definition der meteorologischen Vereisung und der Rotorvereisung.....  | 153 |
| Bild L.2 – Repräsentative, vom Eis beeinflusste Rotorfläche nach Festlegung der Vereisungshöhe des Rotors.....  | 153 |
| Bild L.3 – Abzugsfaktoren für Auftrieb und Widerstand für vereiste Profile.....   | 155 |
| Bild L.4 – Beispiel für Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte eines sauberen und eines vereisten NACA-Profiles.....  | 155 |

**Tabellen**

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1 – Grundlegende Parameter für WEA-Klassen.....             | 31 |
| Tabelle 2 – Auslegungslastfälle.....                                | 43 |
| Tabelle 3 – Teilsicherheitsbeiwerte für die Lasten $\gamma_f$ ..... | 55 |

|  | Seite |
|--|-------|
| Tabelle 4 – Sicherheitsbeiwerte $S_H$ und $S_F$ für das Giersystem .....   | 64    |
| Tabelle 5 – Schwellenwerte für die Komplexitätskategorien des Geländes L, M und H.....   | 76    |
| Tabelle 6 – Werte der Standardabweichungen der transversalen und der vertikalen Turbulenz<br>bezogen auf die longitudinale Komponente in Abhängigkeit von der Komplexitätskategorie<br>des Geländes L, M und H ..... | 76    |
| Tabelle 7 – Werte der Korrekturparameter der Turbulenzstruktur in Abhängigkeit von der<br>Komplexitätskategorie des Geländes L, M und H.....   | 77    |
| Tabelle A.1 – Auslegungsparameter für die Beschreibung der WEA-Klasse S für kaltes Klima<br>(CC-S) .....   | 97    |
| Tabelle B.1 – Auslegungslastfälle .....  | 99    |
| Tabelle C.1 – Spektralparameter der Turbulenz für das Kaimal-Modell .....  | 105   |
| Tabelle E.1 – Anzahl benachbarter WEA.....   | 111   |
| Tabelle G.1 – Parameter, die zur Ermittlung von Vertrauensbereichen auf der Basis der<br>Binominalverteilung notwendig sind.....   | 124   |
| Tabelle G.2 – Überschreitenswahrscheinlichkeiten der Kurzzeitbelastung als Funktion der<br>Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe für verschiedene WEA-Klassen zur Anwendung mit<br>dem IFORM-Verfahren.....               | 126   |
| Tabelle I.1 – Matrix der extremen Belastung.....   | 131   |
| Tabelle K.1 – Teilsicherheitsbeiwert für die Modellunsicherheit .....  | 141   |
| Tabelle K.2 – Empfohlene Werte für den Teilsicherheitsbeiwert für die Betriebsfestigkeit $\gamma_{Mf}$ .....   | 143   |
| Tabelle K.3 – Empfohlene Werte für den Teilsicherheitsbeiwert für die die Dauerbeanspruchung $\gamma_{Ff}$ .....   | 143   |
| Tabelle K.4 – Werte für $k_n$ für charakteristische Werte (5%-Quantil).....  | 147   |
| Table L.1 – Produktionsbetrieb (DLC 1.1 bis DLC 1.6) .....   | 156   |