

Deutsche Fassung

**Windturbinen –
Teil 3: Auslegungsanforderungen für Offshore-Windturbinen**

Inhalt

	Seite
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	13
4.1 Symbole und Einheiten.....	14
4.2 Abkürzungen	15
5 Grundsätze	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Auslegungsmethoden.....	16
5.3 Sicherheitsklassen.....	17
5.4 Qualitätssicherung.....	17
5.5 Aufschriften auf der Rotor-Gondel-Baugruppe.....	18
6 Externe Bedingungen	18
6.1 Allgemeines	18
6.2 Windenergieanlagenklassen	19
6.3 Windverhältnisse	19
6.4 Meeresbedingungen.....	20
6.5 Sonstige Umweltbedingungen.....	29
6.6 Elektrische Netzzustände	30
7 Strukturauslegung	31
7.1 Allgemeines	31
7.2 Methodologie der Strukturauslegung	31
7.3 Lasten	31
7.4 Betriebsbedingungen und Auslegungslastfälle	33
7.5 Last- und Lastwirkungsberechnungen	48
7.6 Grenzzustandsanalyse der Tragfähigkeit.....	51
8 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem.....	55
9 Mechanische Systeme	55
10 Elektrische Anlage.....	55

	Seite
11 Auslegung des Fundamentes	56
12 Bewertung der externen Bedingungen am Standort einer Offshore-Windenergieanlage	57
12.1 Allgemeines	57
12.2 Die Metocean-Datenbank	57
12.3 Bewertung der Windbedingungen	58
12.4 Bewertung von Wellen	59
12.5 Bewertung von Strömungen	60
12.6 Bewertung von Wasserstand, Gezeiten und Sturmfluten.....	61
12.7 Bewertung von Meereis	61
12.8 Bewertung von Bewuchs im Meerwasser.....	61
12.9 Bewertung der Bewegung des Meeresgrundes und von Unterspülungen.....	61
12.10 Bewertung der Einflüsse durch den Nachlauf benachbarter Windenergieanlagen.....	62
12.11 Bewertung sonstiger Umweltbedingungen	62
12.12 Bewertung von Erdbebenaktivität.....	62
12.13 Bewertung von Witterungsfenstern und Ausfallzeiten durch die Witterung.....	62
12.14 Bewertung der elektrischen Netzzustände	63
12.15 Bewertung der Bodenverhältnisse.....	63
13 Montage, Installation und Errichtung	64
13.1 Allgemeines	64
13.2 Planung.....	65
13.3 Installationsbedingungen	65
13.4 Zugang zum Standort	65
13.5 Umweltbedingungen	66
13.6 Dokumentation.....	66
13.7 Annahme, Handhabung und Lagerung.....	66
13.8 Fundament/Verankerungssysteme.....	66
13.9 Montage von Offshore-Windenergieanlagen.....	66
13.10 Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen	66
13.11 Befestigungselemente und Halterungen	67
13.12 Krane, Hebezeuge und Hebevorrichtungen	67
14 Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung.....	67
14.1 Allgemeines	67
14.2 Auslegungsanforderungen für sicheren Betrieb, Inspektionen und Wartung.....	67
14.3 Anweisungen für die Inbetriebnahme	68
14.4 Handbuch für den Betreiber.....	69
14.5 Wartungshandbuch.....	71
Anhang A (informativ) Die wichtigsten Auslegungsparameter für eine Offshore-Windenergieanlage	72
A.1 Kennzeichnung der Offshore-Windenergieanlage:.....	72
A.2 Sonstige Umweltbedingungen:	74

	Seite
A.3	74
Grenzbedingungen für Transport, Errichtung und Wartung	
Anhang B (informativ)	75
Ansatz für das Wellenspektrum	
B.1	75
Das Pierson-Moskowitz-Spektrum	
B.2	76
Das Jonswap-Spektrum	
B.3	79
Beziehung zwischen Spitzenperiode und Nulldurchgangsperiode	
B.4	79
Streuung der Wellenrichtung	
B.5	79
Auswirkung alternativer Frequenzeinheiten	
B.6	80
Referenzdokumente	
Anhang C (informativ)	81
Hydrodynamik von Flachwasser und brechenden Wellen	
C.1	81
Auswahl von geeigneten Wellentheorien	
C.2	82
Modellierung unregelmäßiger Wellenzüge	
C.3	85
Brechende Wellen	
C.4	87
Referenzdokumente	
Anhang D (informativ)	88
Hinweise für die Berechnung hydrodynamischer Lasten	
D.1	89
Morison-Gleichung	
D.2	90
Beugung	
D.3	91
Schlag- und Aufschlagbelastung	
D.4	93
Durch Wirbel herbeigeführte Schwingungen	
D.5	95
Ausrüstungsteile	
D.6	97
Berechnungsverfahren	
Anhang E (informativ)	100
Empfehlungen für die Auslegung der tragenden Strukturen von Offshore- Windenergieanlagen unter Berücksichtigung von Eislasten	
E.1	100
Einleitung	
E.2	100
Allgemeines	
E.3	101
Wahl der Eisdicke	
E.4	101
Lastfälle	
E.5	108
Anforderungen an die stochastische Simulation	
E.6	108
Anforderungen an die Modellprüfung	
E.7	109
Referenzdokumente	
E.8	109
Datenbanken für Eisverhältnisse	
Anhang F (informativ)	110
Auslegung des Fundamentes für Windenergieanlagen	
Anhang G (informativ)	111
Statistische Extrapolation von Metocean-Betriebsparametern für die Bruchfestigkeitsanalyse	
G.1	111
Anwendung von IFORM zur Bestimmung der signifikanten Wellenhöhe in 50 Jahren, die durch die mittlere Windgeschwindigkeit bedingt ist	
G.2	113
Beispiele für gemeinsame Verteilungen von V und H_S und Näherungen des Umweltprofils	
G.3	114
Auswahl der Dauer des Seegangs	
G.4	115
Bestimmung der starken Wellenhöhe (SWH)	
G.5	115
Referenzdokumente	
Anhang H (informativ)	116
Korrosionsschutz	

	Seite
H.1 Allgemeines	116
H.2 Meeresumgebung	116
H.3 Merkmale des Korrosionsschutzes	117
H.4 Korrosionsschutzsysteme	117
H.5 Korrosionsschutz in der Rotor-Gondel-Baugruppe	118
H.6 Referenzdokumente	119
Anhang I (informativ) Literaturhinweise	120
Bilder	
Bild 1 – Teile einer Offshore-Windenergieanlage	8
Bild 2 – Auslegungsprozess für eine Offshore-Windenergieanlage	17
Bild 3 – Definition der Wasserstände	27
Bild 4 – Die beiden Ansätze zur Berechnung der Lastannahmewirkung	53
Bild B.1 – PM-Spektrum	76
Bild B.2 – Jonswap- und PM-Spektrum für den Seegang bei einem typischen Nordseesturm	77
Bild C.1 – Auswahldiagramm für regelmäßige Wellentheorien	81
Bild D.1 – Parameter einer brechenden Welle und eines Zylinders	92
Bild D.2 – Parameter bei Schräganströmung	92
Bild D.3 – Verteilung der maximalen Stoßkraft über der Höhe ($\gamma = 0^\circ$)	93
Bild D.4 – Verhalten von Modell und einem Zylinder natürlicher Größe bei gleichgerichteter Bewegung und bei Querstrombewegung (aus [4])	95
Bild E.1 – Koeffizienten der Eiskraft für eine Analyse der Plastizitätsgrenze (aus [6])	105
Bild E.2 – Gezahntes Lastprofil ($T_{0,1} = 1/f_N$ oder $1/f_b$)	108
Bild G.1 – Beispiel für die Konstruktion des 50-Jahres-Umweltprofils für einen Seegang mit einer Dauer von 3 h	112
Tabellen	
Tabelle 1 – Auslegungslastfälle	34
Tabelle 2 – Lastannahmefälle für Meereis	48
Tabelle 3 – Teilsicherheitsbeiwerte für die Lasten γ	54
Tabelle 4 – Umrechnung zwischen extremen Windgeschwindigkeiten unterschiedlicher Mittelwertbildungszeiten	58
Tabelle C.1 – Die Konstanten h_1 und h_2 und die normierten Wellenhöhen $h_{x\%}$ als Funktion von H_{tr}	83
Tabelle C.2 – Arten brechender Wellen	87