



Zielstellung

Die Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien ist ein zentrales Element der klimapolitischen Ziele in Deutschland. Nachdem die Produktentwicklung für Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) die Errichtung von Offshore-Windparks ermöglichte, gilt es mittlerweile diese Anlagen sicher, zuverlässig und effizient zu betreiben. Die derzeit betriebenen Offshore-Windparks befinden sich größtenteils noch in der Angangsphase ihrer planmäßigen Betriebsdauer. Erste Offshore-Parks erreichen jedoch bald ihre zweite Lebenshälfte, in der zunehmend mit Strukturschäden (z.B. durch Korrosionsangriff) zu rechnen ist, die hinsichtlich ihres Einflusses auf die verbleibende Lebensdauer zu bewerten sind.

Bearbeitungsschwerpunkte:

- Zielgerichtete Strukturierung einer zur Verfügung gestellten Schadensbefundsammlung und deren systematische Klassifizierung hinsichtlich ihrer Initialwirkung (Kerbwirkung) für Ermüdungsvorgänge
- Modellierung, Berechnung und Ermüdungsnachweisführung der Tragkonstruktion
- Darstellung der derzeit gültigen / angewendeten Normen und Vorschriften für die Bemessung von Offshore-Gründungsstrukturen

Lösungsweg

Normenanwendung für die Bemessung von OWEA:

- DIN EN 1990 – Grundlagen der Tragwerksplanung
- DIN EN 1991 – Einwirkungen auf Tragwerke
- DIN EN 1993 – Stahlbau
- DIN 18088 – Tragstrukturen für WEA
- DIN 61400-3 – Auslegungsanforderungen für OWEA
- GL Rules and Guidelines – Einwirkungen Offshore
- DNV GL rules for classification: Offshore units

Modellierung der Tragkonstruktion und Ermittlung der Ermüdungs-Hot-Spots:

Zur Ermittlung der Ermüdungs-Hot-Spots wurde ein FEM-Modell der Gründungsstruktur mit der Statiksoftware RFEM erstellt. Die Hot-Spots ergeben sich aus dem Verlauf der Spannungen an der Tragstruktur:

Kerbfalleinordnung:

Regelwerk	Kerbfall	Kerbdetail	Ermüdungsfestigkeit bei $N = 1 \times 10^7$
DIN EN 1993-1-9	112		In Abhängigkeit der Blechstärke t: $t = 60 \text{ mm: } \Delta\sigma = 60,273 \frac{N}{\text{mm}^2}$ $t = 70 \text{ mm: } \Delta\sigma = 58,837 \frac{N}{\text{mm}^2}$ $t = 80 \text{ mm: } \Delta\sigma = 56,897 \frac{N}{\text{mm}^2}$
DNV GL RP-C203	C1		$\Delta\sigma = 65,50 \frac{N}{\text{mm}^2}$

Theorie Korrosionsermüdung:

Korrosion beeinflusst Ermüdungsverhalten hinsichtlich:

- Beschleunigung der Rissentstehung: durch Korrosionsabtrag an Stahloberfläche entstehen Mikrokerben und somit potenzielle Anrisstellen
- Beschleunigung des Risswachstums: Eintritt des Korrosionsmediums in den Riss fördert das Risswachstum

Ergebnisse

Die Ermüdungsnachweise wurden für jeden Hot-Spot auf Grundlage der DIN EN 1993-1-9 sowie DNV GL RP-C203 mit den ermittelten Spannungsschwingbreiten aus dem FEM-Modell geführt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Hot-Spot	DIN EN 1993-1-9	DNV GL RP-C203
1	0,40 < 1,00 Nachweis erfüllt	0,37 < 1,00 Nachweis erfüllt
2	1,08 > 1,00 Nachweis nicht erfüllt	0,99 < 1,00 Nachweis erfüllt
3	1,12 > 1,00 Nachweis nicht erfüllt	0,98 < 1,00 Nachweis erfüllt

Der Ermüdungsnachweis ist nach den Kerbfalleinordnungen aus DNV GL RP-C203 für alle Hot-Spots erfüllt. Die Ermüdungsfestigkeitsgrenzen nach DIN EN 1993-1-9 wurden an den Hot-Spots 2 und 3 überschritten.

