



## Problemstellung

Offshore-Windenergieanlagen leisten einen wichtigen Beitrag zur Versorgung der Gesellschaft mit erneuerbarer Energie. Um auch in Zukunft eine sichere Stromversorgung zu gewährleisten, muss ein Ausfall der Anlagen durch regelmäßige Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen verhindert werden. Bei Inspektionen wurden bei den ersten Anlagen in den letzten Jahren erste Korrosionsschäden festgestellt. Diese müssen bezüglich ihres Einflusses auf das Ermüdungsverhalten der Struktur bewertet werden, um Reparaturmaßnahmen wirtschaftlich zu planen. Im Zuge eines Forschungsvorhabens der HTW Dresden soll dabei ein Verfahren für die Ermittlung der Restnutzungsdauer solcher Anlagen auf Basis bruchmechanischer Erkenntnisse entwickelt werden. Als Zuarbeit untersucht diese Diplomarbeit folgende Schwerpunkte:

- Ermittlung der Ermüdungslasten aus Umweltbedingungen und Anlagenbetrieb nach Norm
- Ermittlung der schädigungsäquivalenten Spannungskollektive in einer Finite-Elemente-Berechnung der Monopile-Gründungsstruktur
- Bewertung der Restnutzungsdauer an einem exemplarischen Beispiel auf Grundlage bruchmechanischer Berechnungen

## Lösungsweg

### Ermüdungslasten auf OWEA

- Eigenlasten
- Bewuchs und Eisansatz
- Aerodynamische Lasten
- Hydrodynamische Lasten
- Anlagenlasten

### Zusammenstellung nach

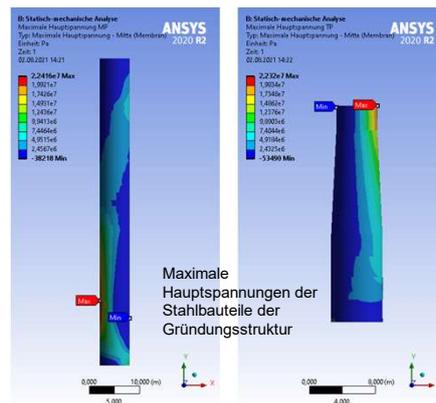
- DIN EN 1991-1-1:2010-12
- DIN EN 1991-1-4:2010-12
- DIN 18088-1:2019-01
- DIN 18088-3:2019-01
- DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1):2019-12
- DIN EN IEC 61400-3-1 (VDE 0127-3-1):2019
- DNV-RP-C205 (2010)

In der Arbeit wurden die Regelungen der vorgenannten Normen zusammengefasst. Anschließend wurden die Erkenntnisse auf eine Referenzanlage angewandt, wobei vorhandene Daten zur Belastung ausgewertet wurden.

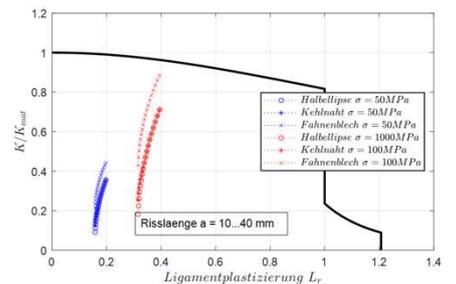
### Berechnungen an einer Referenzanlage

Die ausgeprägte Dynamik der Einwirkungen erfordert in der Auswertung gesamtdynamische Berechnungen im Zeitbereich für viele Einwirkungskombinationen. Diese wurden durch den Anlagenplaner durchgeführt und Ersatzlasten zur Bemessung der Gründungsstruktur abgeleitet. Diese wurden im Finite-Elemente-Programm ANSYS unter genauer Untersuchung des nichtlinearen Bodenverhaltens ausgewertet.

Die ermittelten Spannungsspiele wurden zuerst auf Basis der Wöhlerlinien nach Eurocode 3, sowie den Regelungen der DNV GL ausgewertet. Anschließend wurden in einem exemplarischen Beispiel Inspektionsintervalle für zwei verschiedenen Rissmodelle ermittelt. Dazu wurden Annahmen für einen Erstriss getroffen, eine kritische Risslänge ermittelt und in einer Rissfortschrittsberechnung die zulässigen Spannungsspiele ermittelt.



Failure-Assessment-Diagramm zur Ermittlung der kritischen Risstiefe für zwei untersuchte Rissmodelle



## Ergebnisse / Ausblick

Während der Zusammenfassung der normativen Regelung wurde ersichtlich, dass die dynamischen Einwirkungen gesamtdynamische Berechnungen der gesamten Anlage im Zeitbereich erfordern. Auch die aerodynamischen Lasten können nur über komplexe Simulationen ermittelt werden. Da zudem nicht alle Eingangsdaten für solche Untersuchungen vorlagen, wurde stattdessen auf Ersatzlasten zurückgegriffen.

Die ermittelten Spannungsverläufe an der Gründungsstruktur erscheinen plausibel und führen bei den Ermüdungsnachweisen zweier Details zu Ausnutzungen zwischen 60 und 94 Prozent. Solche Werte sind für eine wirtschaftlich ausgelegte Anlage auch zu erwarten.

Die Erstanwendung der bruchmechanischen Konzepte lieferte Inspektionsintervalle zwischen 14 und 30 Jahren. Diese Daten sind jedoch noch nicht belastbar, da im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes einige getroffene Angaben noch konkretisiert werden müssen (Erstriss, Kerbeinfluss der Geometrie, Extremlastniveau...). Zudem sollten dann realistische Spannungskollektive aus der gesamtdynamischen Berechnung Verwendung finden. Das Verfahren besitzt bei entsprechender Verbesserung jedoch ein großes Potential.

Maximal ausgelasteter Ermüdungsnachweis nach Eurocode 3

$$\frac{\gamma_{MF} \times \Delta\sigma_d}{\Delta\sigma_R} = \frac{1,15 \times 20,10 \frac{N}{mm^2}}{24,54 \frac{N}{mm^2}} = 0,94 < 1,0$$

Risswachstumsberechnung über Anzahl der Spannungsspiele

