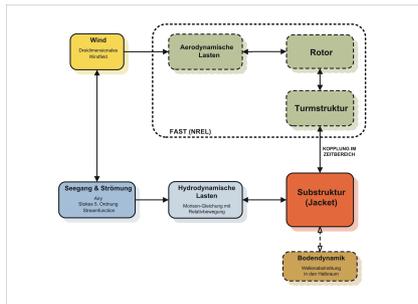
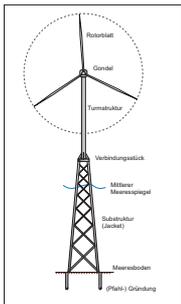




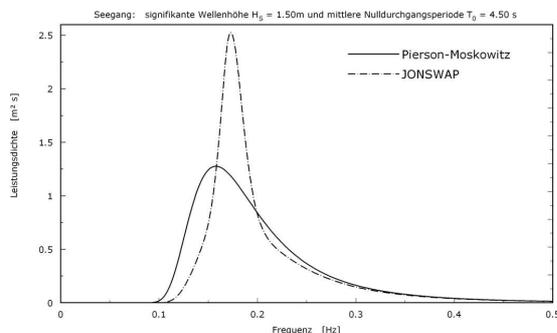
Motivation

Im Bereich der deutschen Küstengewässer ist die Errichtung zahlreicher Windkraftanlagen geplant. Die vergleichsweise großen Wassertiefen (20m bis 50m) und die hohen Kopfmassen (5MW-Turbinen) haben eine ausgeprägte hydrodynamische Sensitivität zur Folge. Deshalb ist die bisher übliche getrennte Ermittlung und anschließende Superposition der Belastungen aus Wind und Welle nicht immer konservativ, da sowohl Abschwächungs- als auch Verstärkungseffekte zu erwarten sind. Insbesondere für Windkraftanlagen mit aufgelöster Substruktur (Jacket, Tripod) existieren bisher nur unzureichende Berechnungsmöglichkeiten, die eine integrierte Modellierung der Anlage unter kombinierter Wind- und Wellenbelastung gestatten. Ziel des Forschungsvorhabens ist daher die Entwicklung eines solchen integrierten Gesamtmodells, in dem im Zeitbereich die dynamischen Belastungen aus Wind und Welle dargestellt und die nichtlineare Strukturantwort ermittelt werden kann.



Seegangsbeschreibung

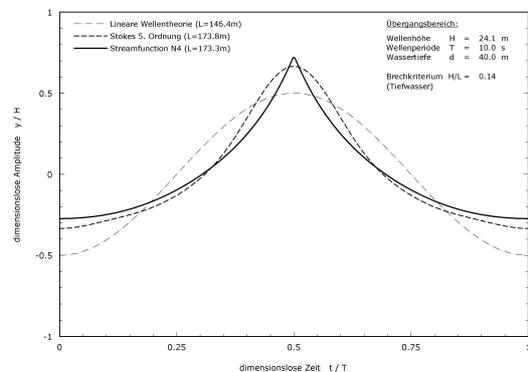
- spektrale Beschreibung des unregelmäßigen, natürlichen Seegangs mit den stochastischen Parametern:
 - signifikante Wellenhöhe H_S
 - mittlere Nulldurchgangsperiode T_0
- Kurzzeitstatistik: Seegangsspektren (Pierson-Moskowitz und JONSWAP) zur Generierung synthetischer Zeitverläufe



- Langzeitstatistik: Scatter-Diagramm zur Ermittlung von Extremwerten (z.B. 50-Jahres-Welle)

Wellentheorien

- Beschreibung der Bewegung der Wasserpartikel und der freien Oberfläche in Raum und Zeit
- Fluid reibungsfrei und wirbelfrei (Laplace-DGL)
- Wellenparameter:
 - Wellenhöhe H
 - Wellenperiode T
 - lokale Wassertiefe d
- implementierte Wellentheorien: Airy, Stokes 5. Ordnung und Streamfunction



Morison-Gleichung

- Struktur ist hydrodynamisch transparent $5D < \lambda$ (d.h. Diffraction und Reflexion sind vernachlässigbar)
- Morison-Gleichung für elastische Strukturen:

$$\mathbf{f}_m = C_{M\rho} \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} - C_{A\rho} \frac{\pi D^2}{4} \dot{\mathbf{x}}_S + C_{D\rho} \frac{D}{2} |\mathbf{u} - \dot{\mathbf{x}}_S| (\mathbf{u} - \dot{\mathbf{x}}_S)$$
- Berücksichtigung der Relativbewegung zwischen Welle und Struktur

Strukturmodellierung und Kopplung

- Modellierung der Substruktur mit dreidimensional orientierten Balkenelementen (FEM)
- Simulation der Windkraftanlage mit FAST (NREL):
 - modale Modellierung (Turm, Rotor und Turbine)
 - Blattelement-Theorie
 - transientes, dreidimensionales Windfeld
- iterative Angleichung von Last- und Verformungswerten beider Teilsysteme (Turbine und Substruktur) in jedem Zeitschritt (starke Kopplung)