VDI Wissensforum

Fraunhofer IWES

Simulation von Windenergieanlagen als schwingende Systeme

Dr. Holger Schwarze
Dipl.-Ing. Fabian Vorpahl
MSc Wojciech Popko

Fraunhofer IWES

Bremerhaven

YDFXDFG

ÜBERSICHT

- Abteilung ASA am Fraunhofer IWES
- Mehrkörpersimulation
- Einfluss der Windmodellierung
- Einfluss der Aerodynamikmodellierung
- Ergebnisse aus Toolvergleich
- Schwingungen in einer Jacketstruktur

ABTEILUNG ASA: AUFBAU

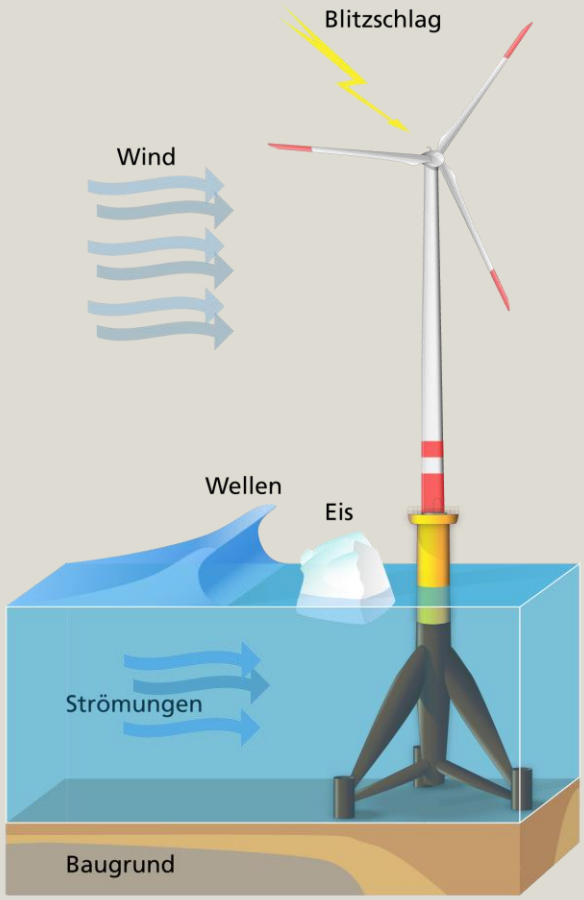
ABTEILUNG ASA: KOMPETENZEN

Kompetenzen

Software und Methoden	Entwicklung von Softwarekomponenten für die Anlagensimulation Konsistente Modellierung von Windkraftanlagen und ihrer Komponenten (OneWind)
Lasten und Konzepte	Lasten für (Offshore)-Windenergieanlagen mit beliebig verzweigten Tragstrukturen Lasten für Kleinwindanlagen Lasten für Meeresströmungsturbinen Eislasten für Blätter und Tragstrukturen Lasten für schwimmende Windenergieanlagen Fliegende Windenergieanlagen
Aerodynamik und CFD	zeitabhängige Strömungsmodellierung OpenFoam Beratung Windphysik, Turbulenz Stochastische Analyse Windparkeffekte

UMWELTEINFLÜSSE

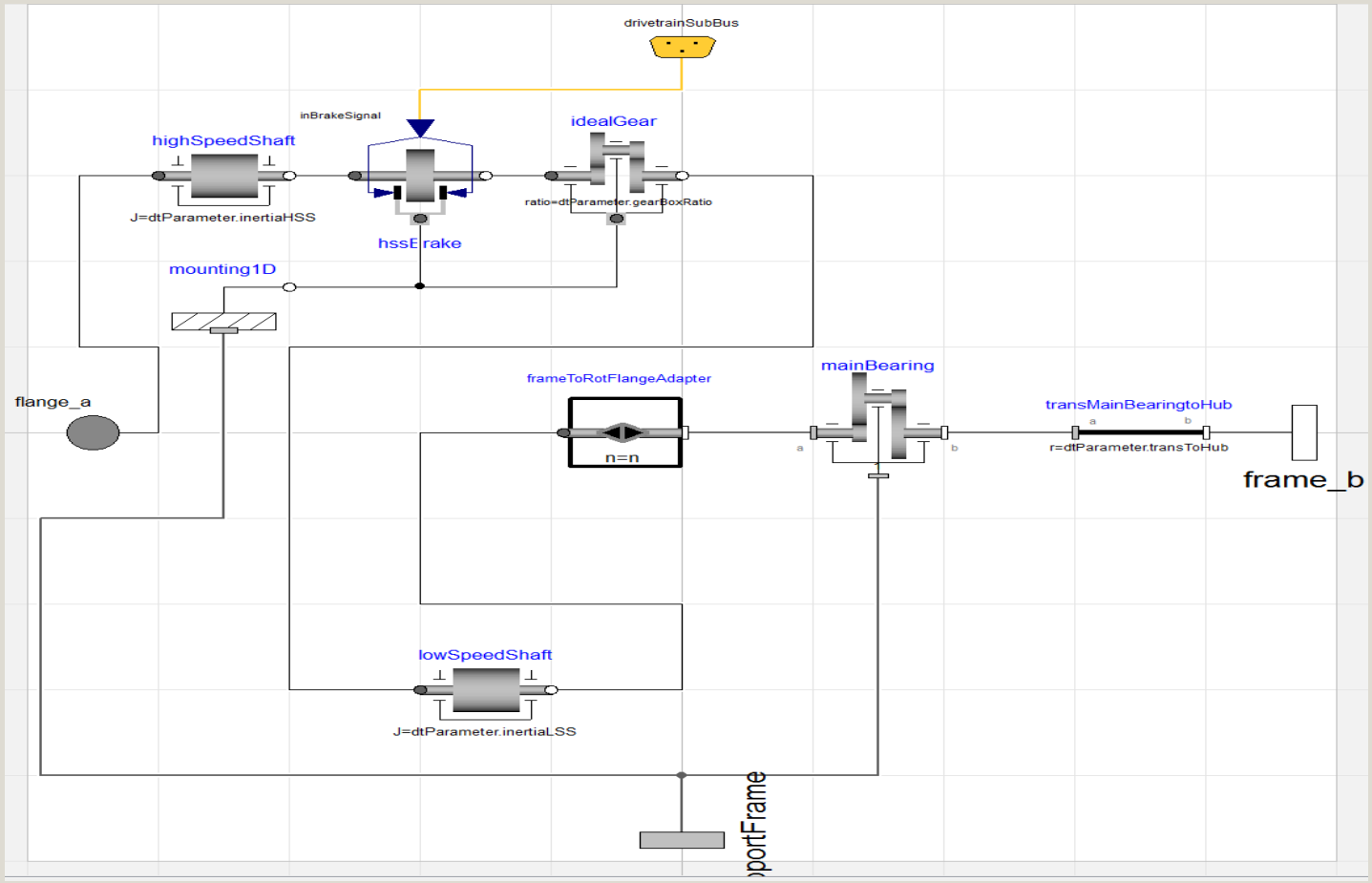
- Turbulenter Wind
- Wellen
- Strömungen
- Eis
- Erdbeben
- Netzeinflüsse



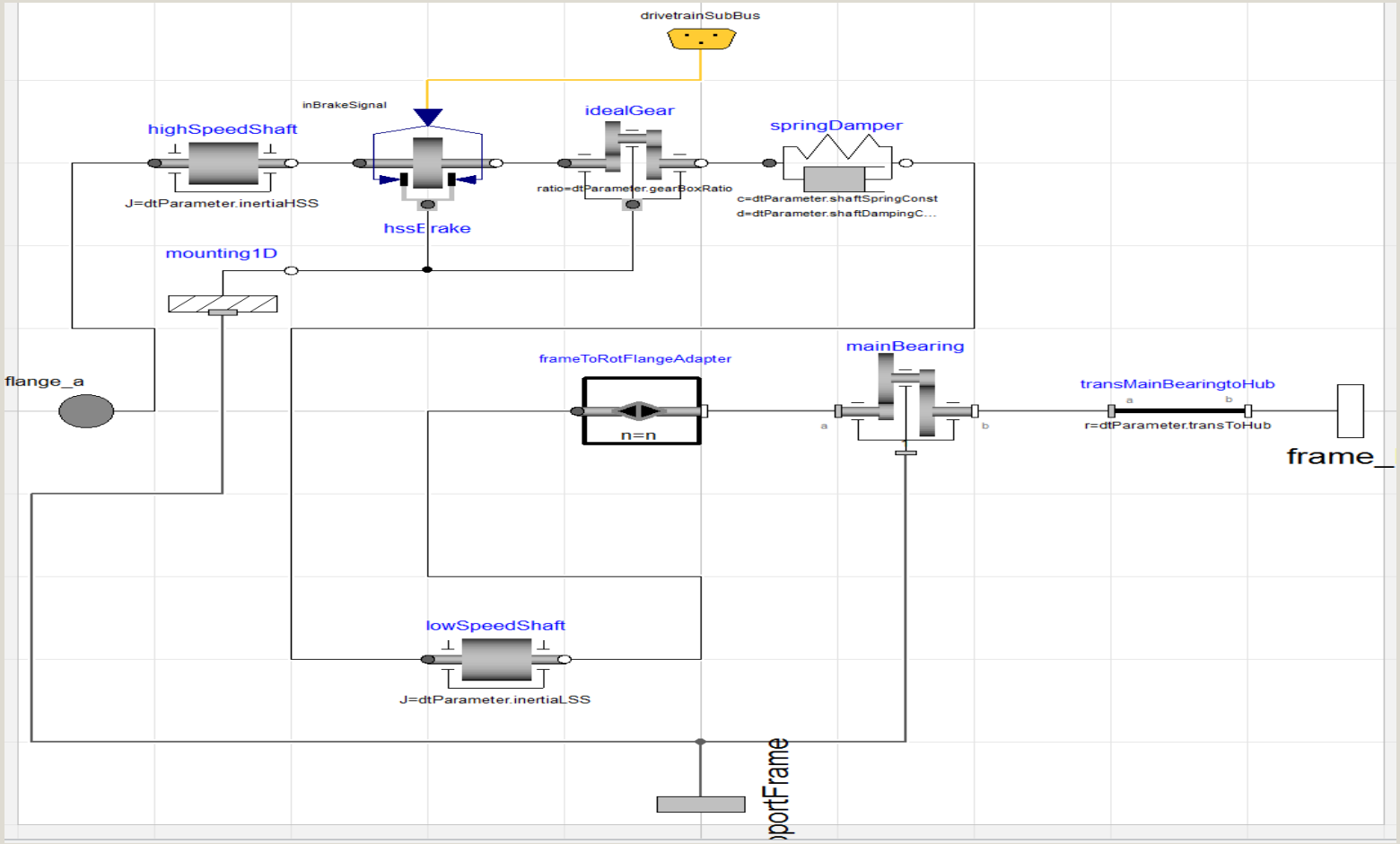
MEHRKÖRPERSIMULATION ALLGEMEIN

- Zeitbereichssimulation
- Unverformbare massebehaftete Körper untereinander verbunden
- Einschränkung der Freiheitsgrade durch „Gelenke“
- Nachgiebigkeiten durch Feder-Dämpfer-Verbindungen
- Lösung mit Lagrange-Formalismus

BEISPIEL: EINFACHER STARRER TRIEBSTRANG



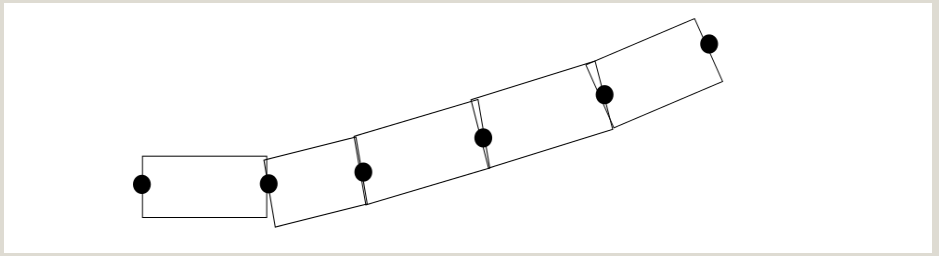
BEISPIEL: TRIEBSTRANG ALS ZWEI-MASSEN-SCHWINGER



MEHRKÖRPERSIMULATION LANGER SCHLANKER KÖRPER

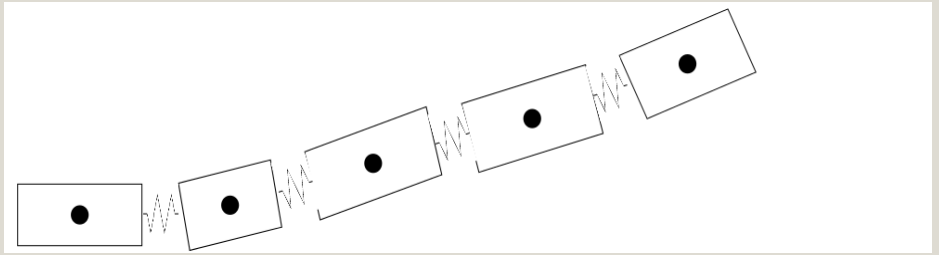
- FEM: Schalen- oder Balkenmodelle

  viele Freiheitsgrade

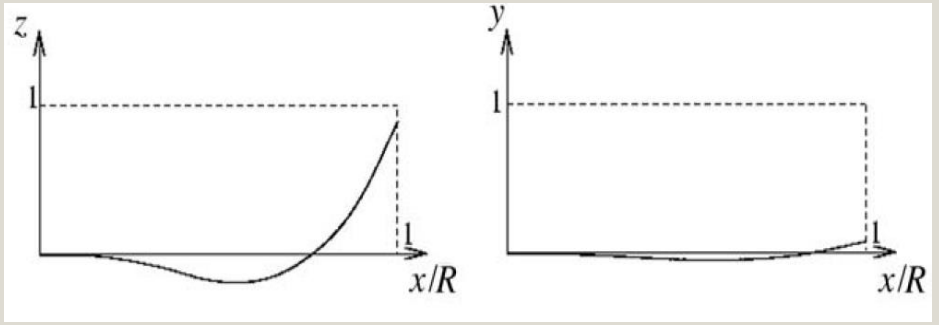


- Lumped mass

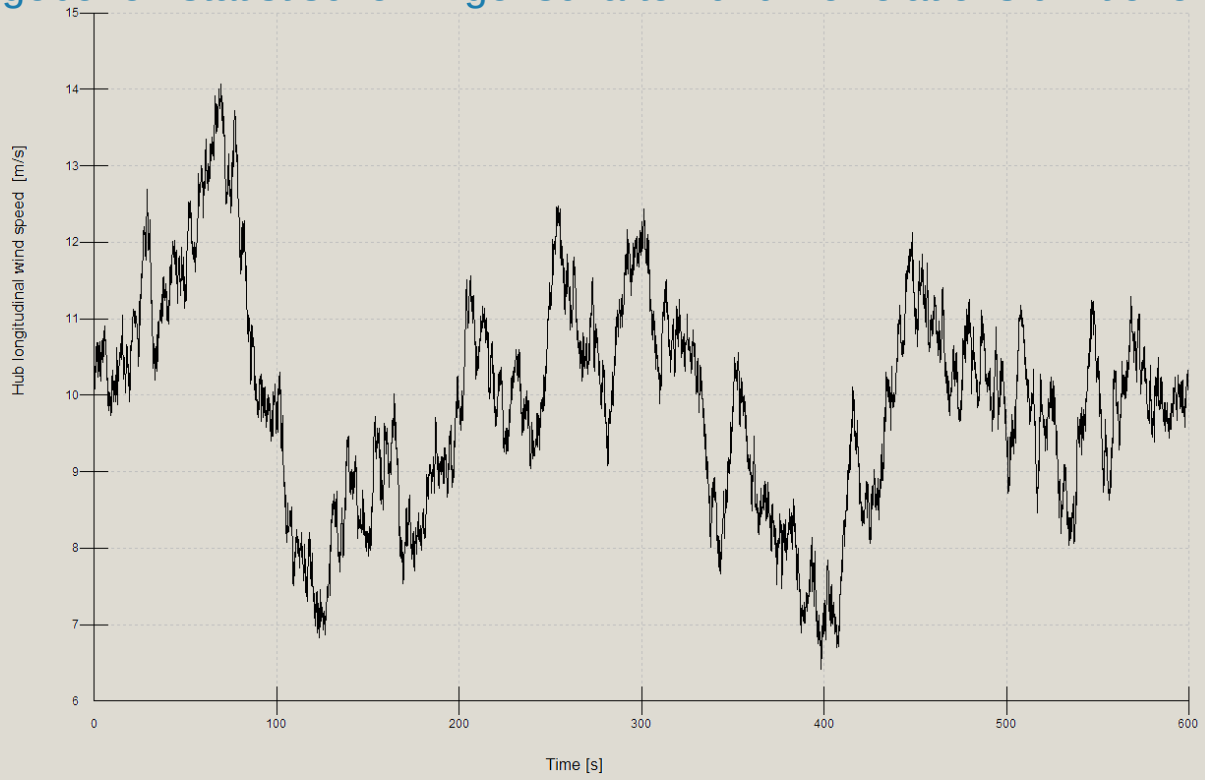
  viele Freiheitsgrade



- Modalentwicklung

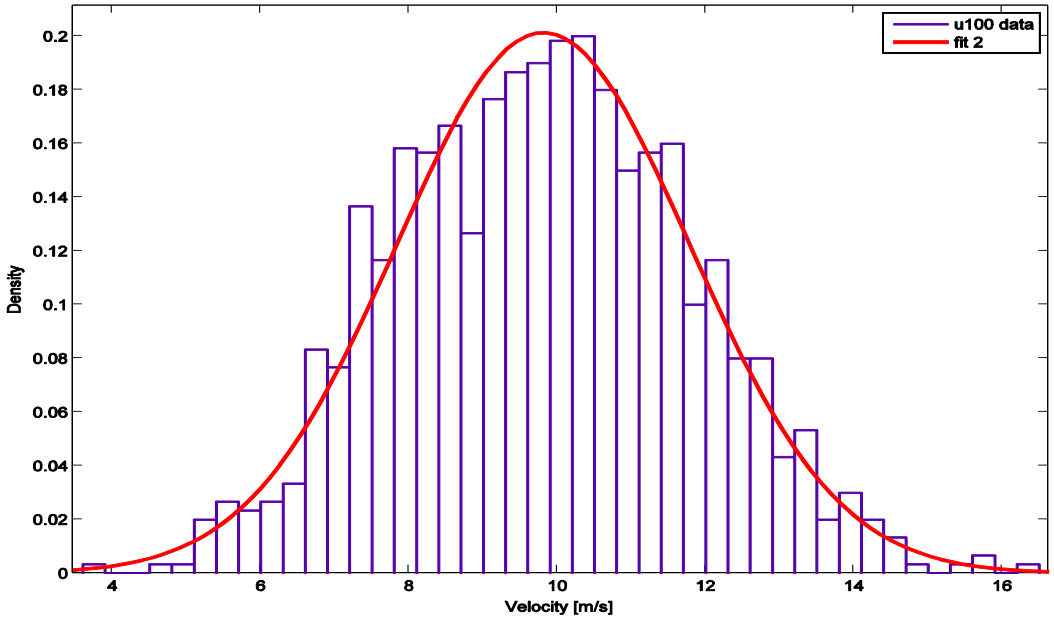


- Turbulenter Wind als stochastisches Geschwindigkeitsfeld mit vorgegebenen statistischen Eigenschaften und Korrelationsfunktionen



WIND

Verteilung der Geschwindigkeiten gaußförmig:



WIND

Intermittente Windfelder:

$u_\tau = u(t-\tau) - u(t)$

Große Geschwindigkeitsschwankungen
Wesentlich häufiger als in bisherigen Modellen.

Auswirkungen auf Schwingungen und Ermüdung?

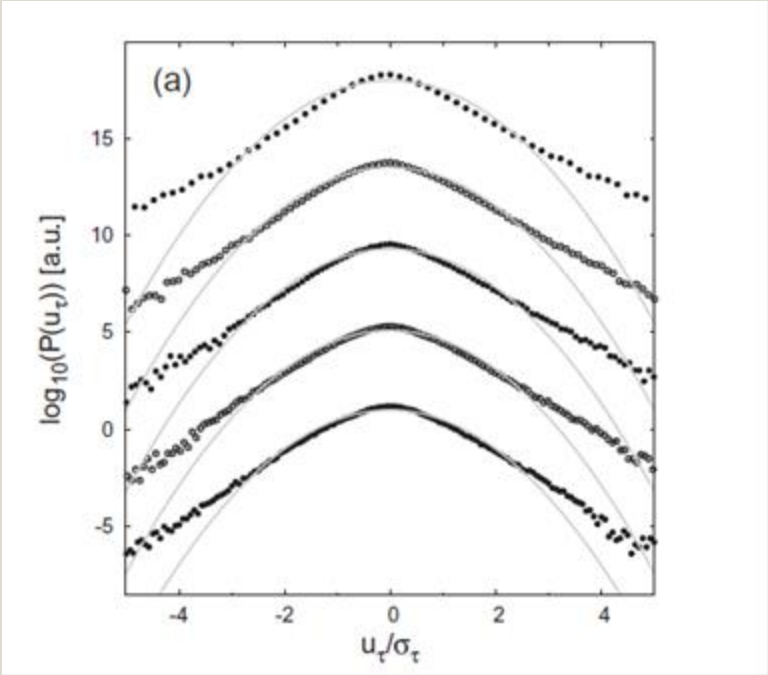
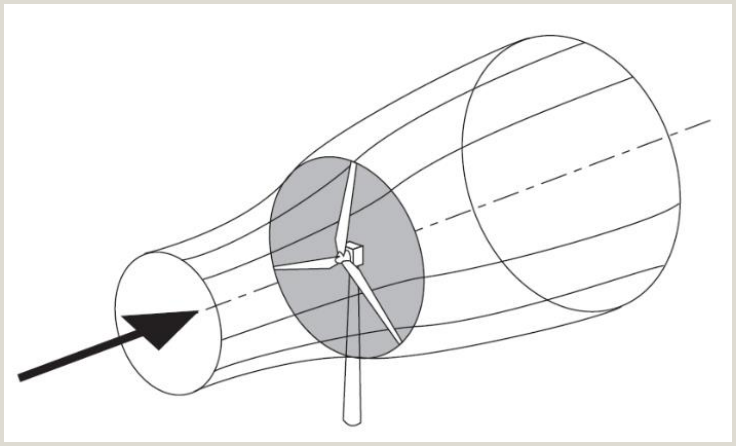
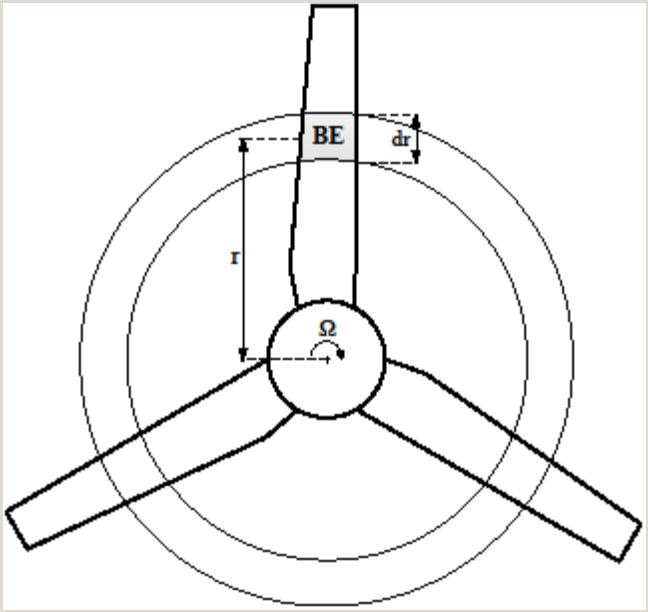


Bild aus: Mücke, T; Kleinhans, D; Peinke, J: Atmospheric turbulence and its influence on the alternating loads of wind turbines , Wind Energy, DOI: 10.1002/we.422, 2010

AERODYNAMIK: BEM

- Navier-Stokes-Gleichung für ingenieurtechnische Anwendungen viel zu aufwändig.
- Gängiges Verfahren: Blattelement-Impuls-Theorie (BEM):
  - Blatt wird in aerodynamische Teilelemente zerlegt
  - Rotor als Ganzes wird als Scheibe betrachtet
  - Sehr viele empirische Korrekturen notwendig



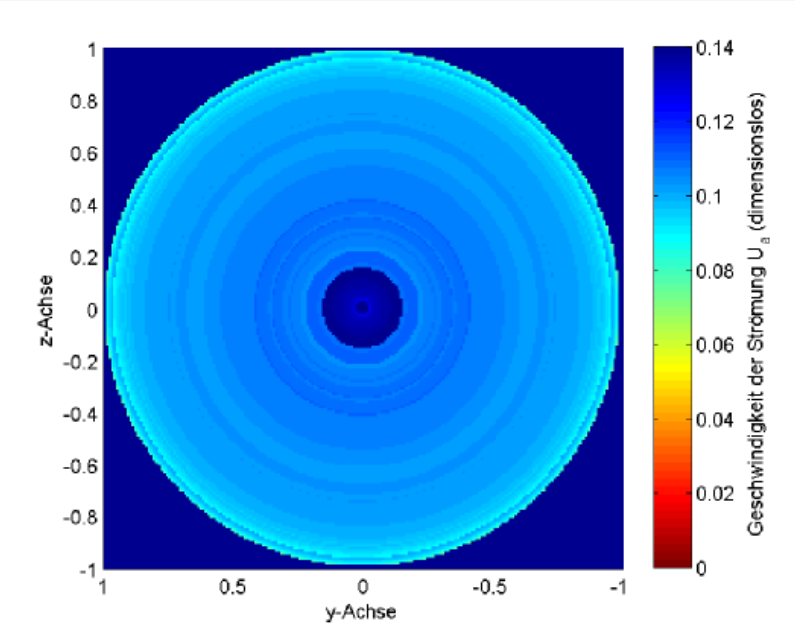


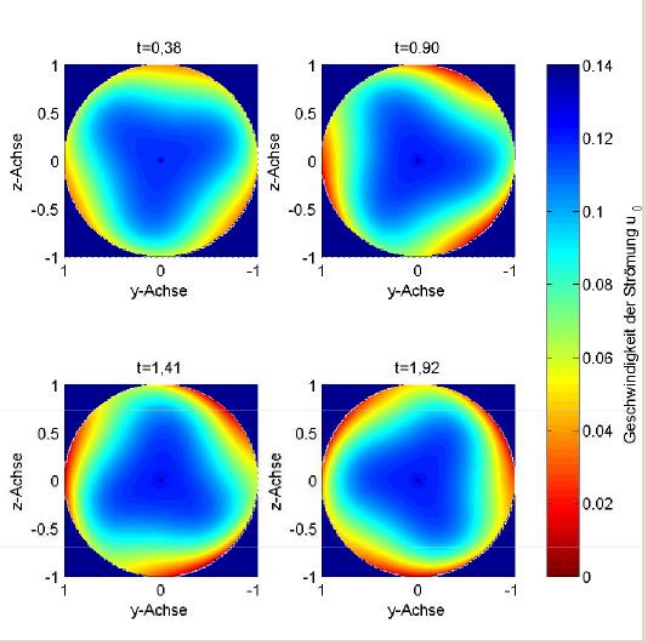
AERODYNAMIK: GDW

Alternative: General Dynamic Wake Model (GDW):

- Basiert auf Laplace-Gleichung
- Druck- und Geschwindigkeitsfeld als Linearkombination von Legendre-Polynomen, Koeffizienten aus System gewöhnlicher Differentialgleichungen
- Viele Korrekturen inhärent enthalten, insbesondere dynamisches Verhalten
- Keine Scheibentheorie, Blätter lokalisierbar
- Nachteil: Nicht für kleine Windgeschwindigkeiten geeignet

AERODYNAMIK: GDW





AERODYNAMIK: VORTEX-METHODEN

Geschwindigkeitsfelder als Summe aus Quellen-, Senken- und Wirbeltermen

Vorteil: Höhere Rechengenauigkeit

Nachteil: Deutlich zeitintensiver

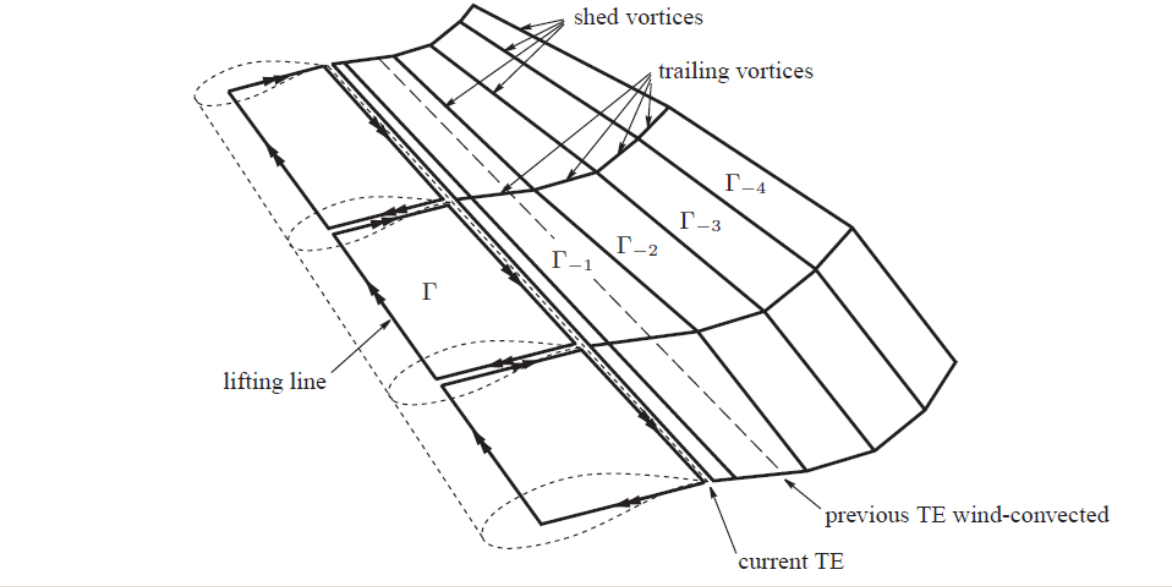
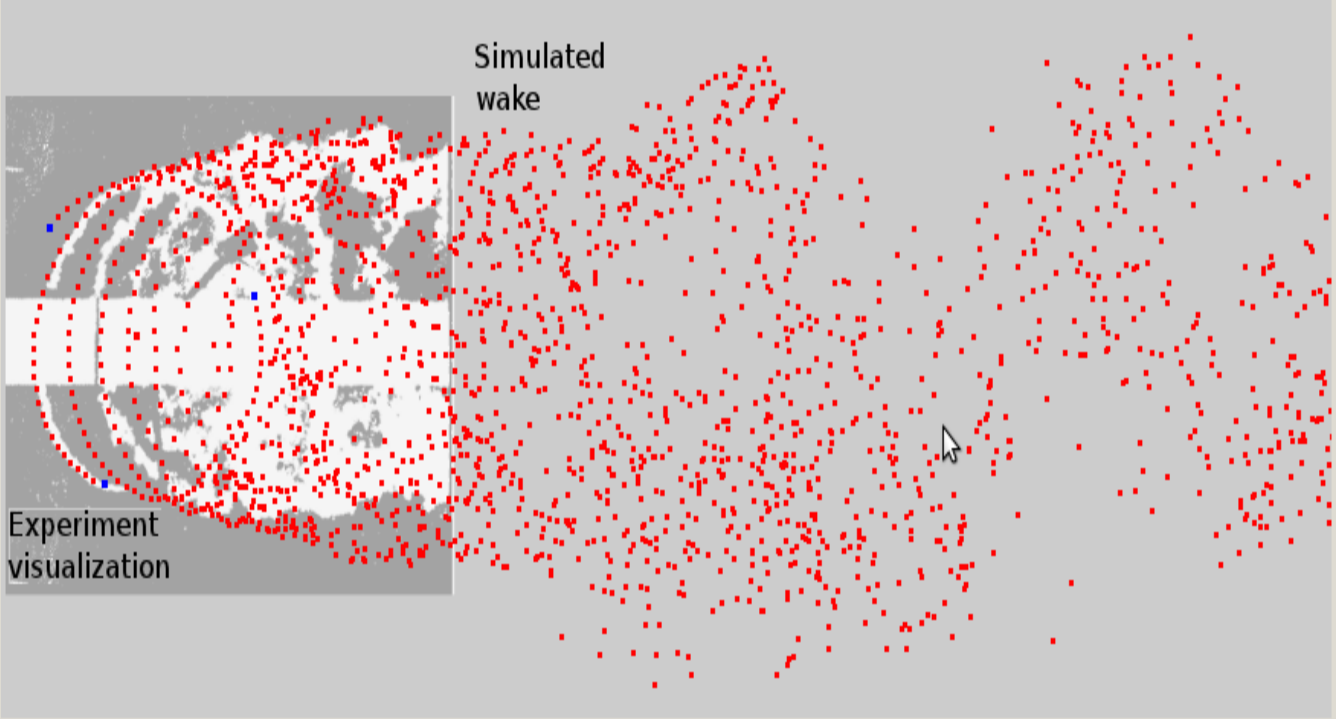


Bild aus: van Garrel, A.: Development of a wind turbine aerodynamics simulation module; ECN-C—03-079; ECN Wind Energy; 2003

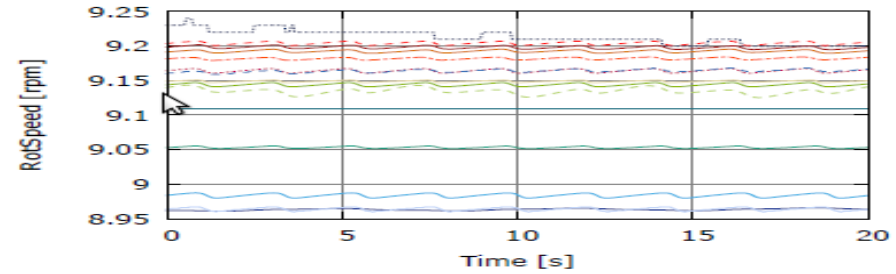
AERODYNAMIK: VORTEX-METHODEN

Beispiel Vertikalachser:

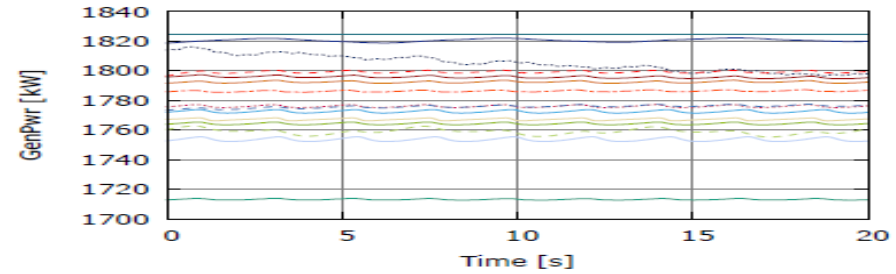


TOOLVERGLEICH OC3,OC4

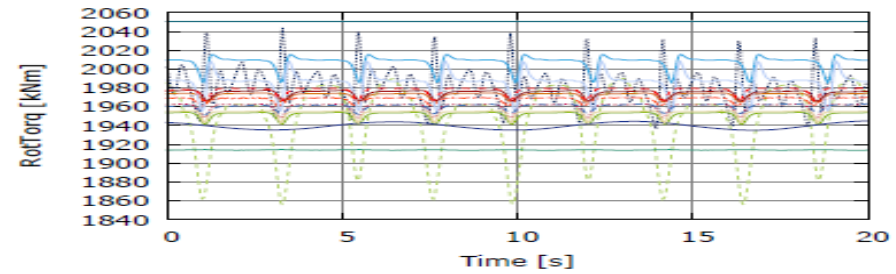
Zeitreihen aus verschiedenen Simulationstools für eine Offshore-Anlage für konstanten Wind mit 8m/s



(a) Rotordrehzahl

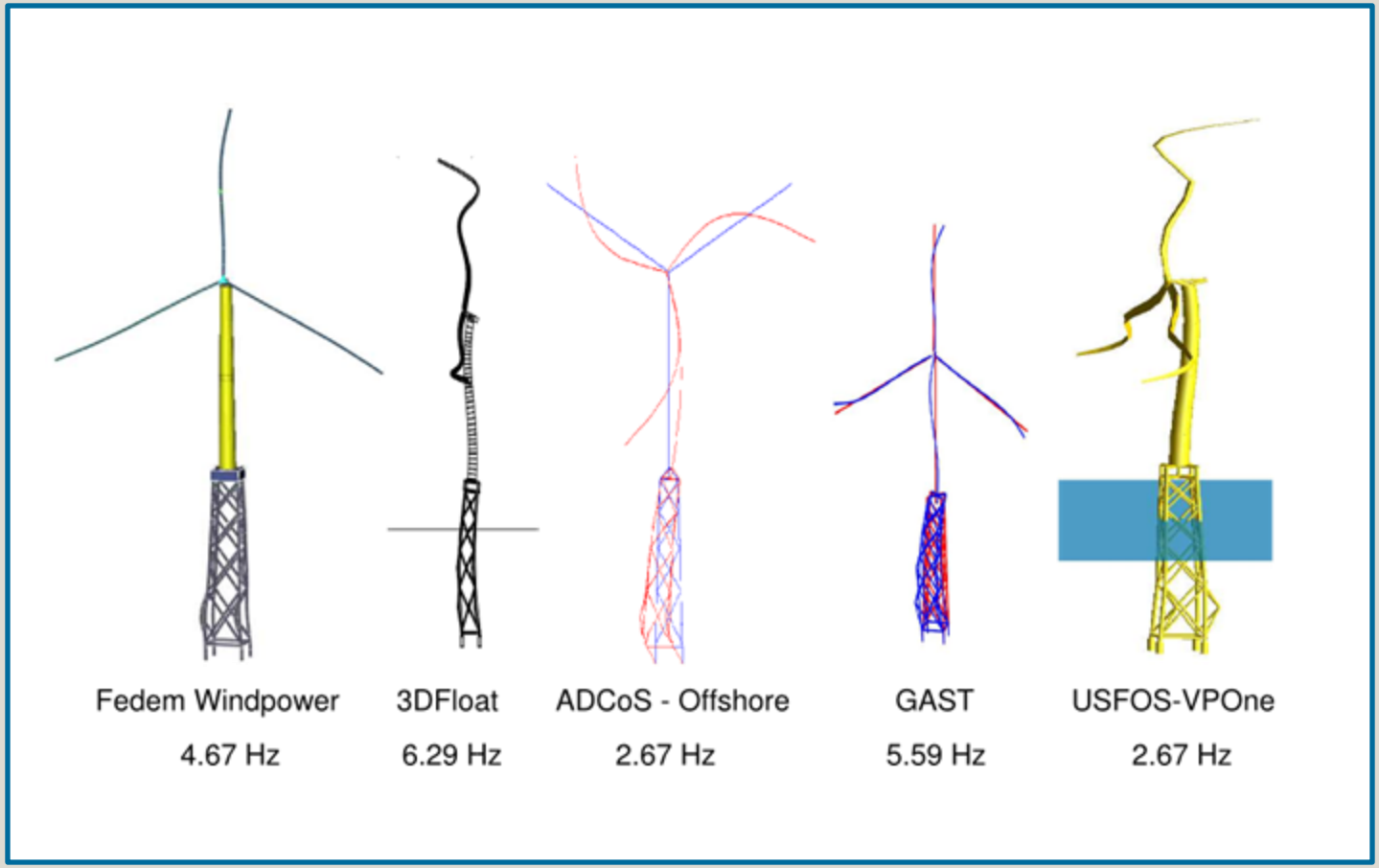


(b) Generatorleistung

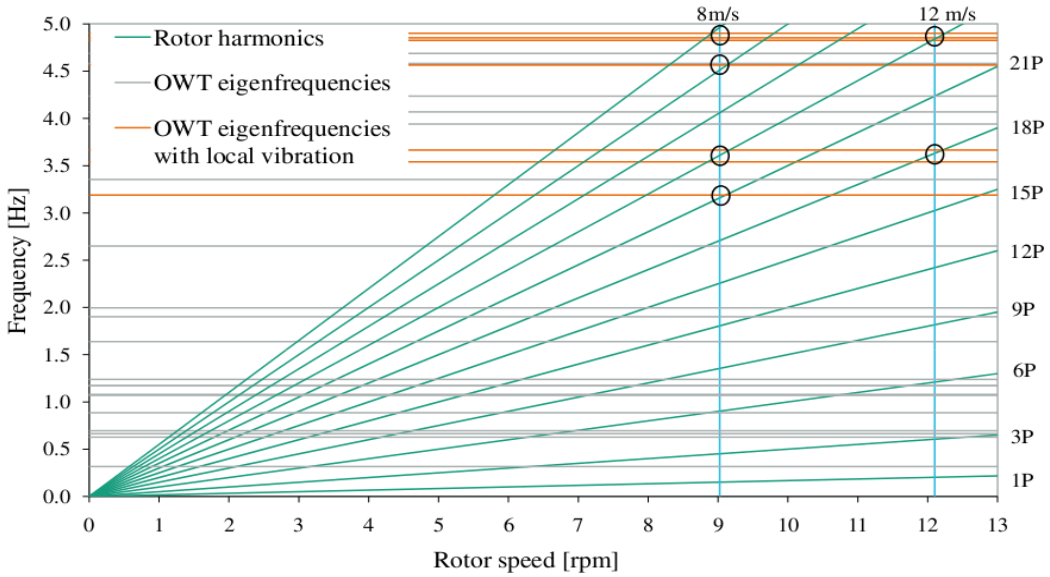


(c) Rotormoment

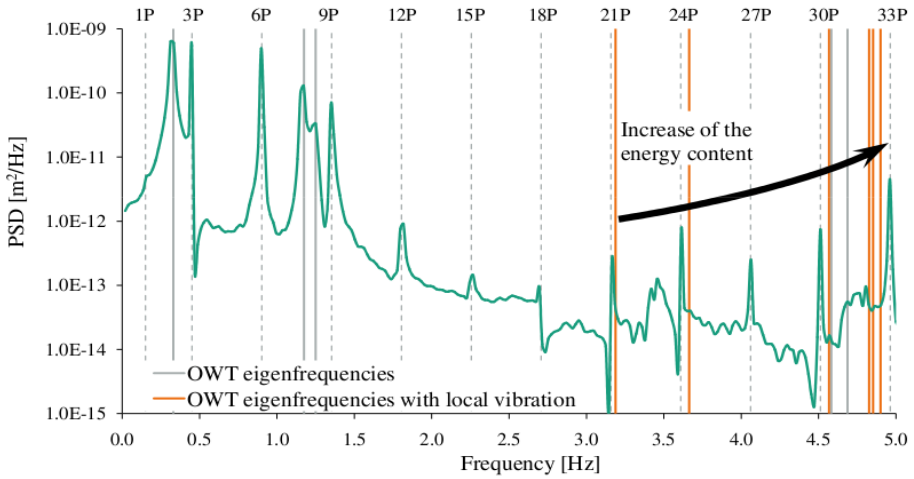
TOOLVERGLEICH OC3/OC4



CAMPBELL-DIAGRAMM FÜR JACKET-STRUKTUR



LEISTUNGSSPEKTRUM FÜR UNTERE X-STREBE IN JACKET-STRUKTUR



ZUSAMMENFASSUNG

- MKS-Modellierung der Gesamtanlage als schwingendes System
- Bedeutung der Wind- und Aerodynamikmodellierung
- Lokale Schwingungen an Offshore-Strukturen