

Simulation, Dynamik und Schwingungsüberwachung von WKA



- Überblick über die Strukturdynamik der WKA
- wodurch werden Schwingungen angeregt?
- aeroelastische Simulation
- Schwingungsüberwachung
- Schwingungsdämpfung

Dr. U. Ritschel, 23.05.2003

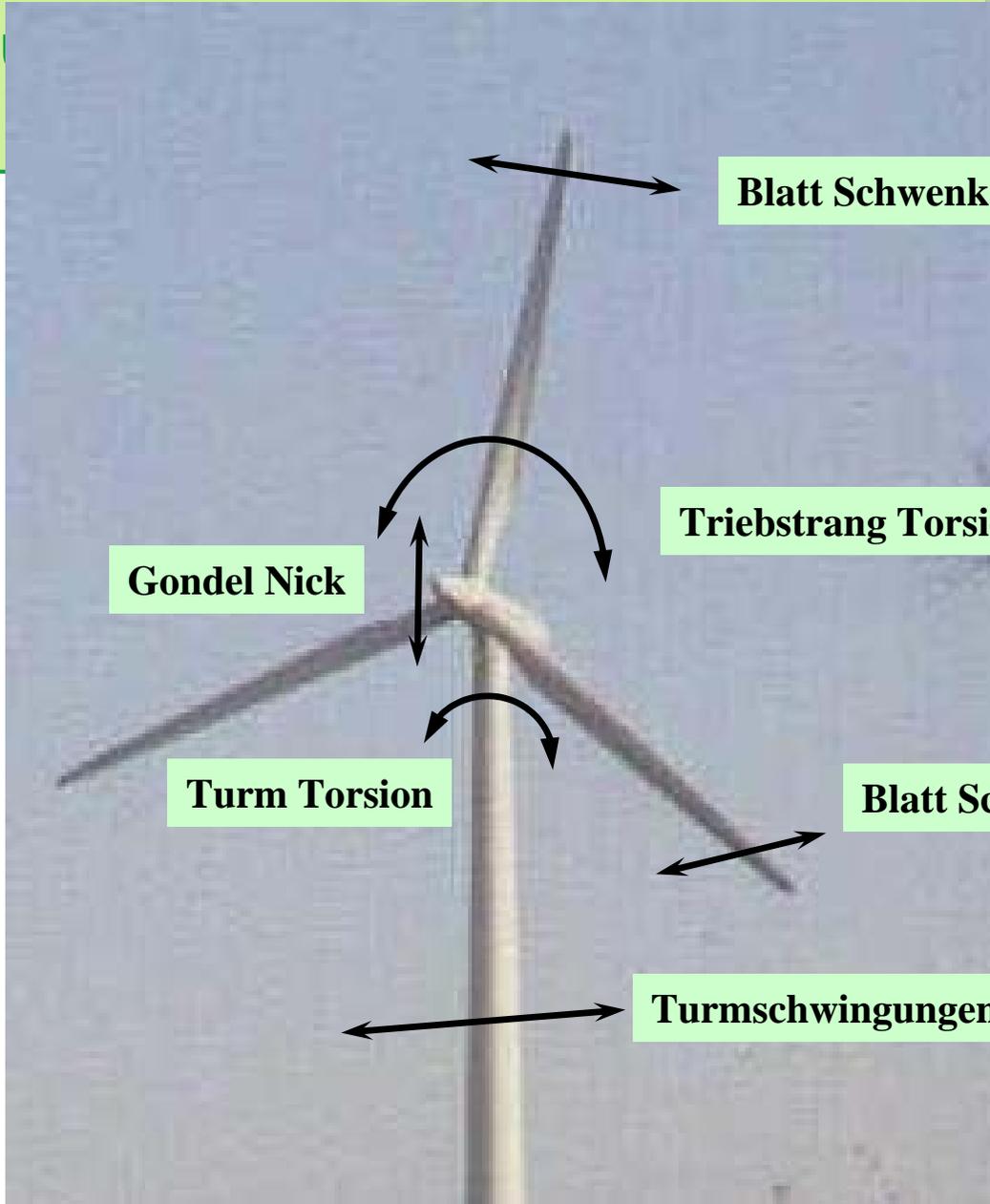
Arbeitsgebiete



- Simulation / Lastberechnungen onshore und offshore
- FE-Analysen, Nachweise, Design
- Maschinendynamische Analysen, Schwingungsanalysen, Dämpfung
- Betreuung von Zertifizierungsverfahren
- Vermessung und Datenanalyse
- Standfestigkeitsanalysen
- Software-Engineering

- Dienstleistungen für Hersteller, Planungsbüros,...
- Eigenentwicklungen

Str



Blatt Schwenk

Triebstrang Torsion

Gondel Nick

Turm Torsion

Blatt Schlag

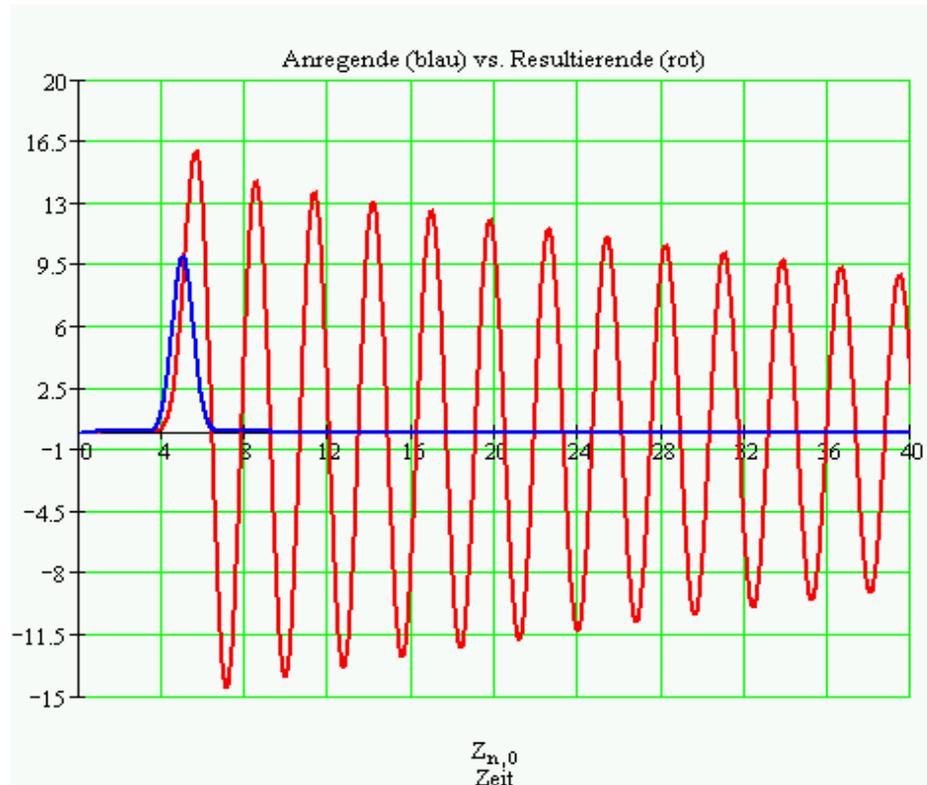
Turmschwingungen



Strukturdynamik der WKA



- elastische Strukturen aus Stahl und GFK
- geringe strukturelle Dämpfung



Strukturdynamik der WKA



- typische Frequenzen (in Hz)

	1.5 MW	2.5 MW	5 MW (off)
Turm	0.36	0.30	0.27
Blatt Schlag	1.1	0.9	0.6
Blatt Schwenk	1.8	1.5	1.1

- höhere Eigenfrequenzen/Schwingungsmoden, z.B. Turm
- viele andere Schwingungen relevant, z.B.
 - Generatorträger
 - An- und Einbauten, Schaltschränke
 - fließender Übergang zum Körperschall

Wodurch werden Schwingungen angeregt ?



WKA		1 MW	2.5 MW	5 MW
Nennleistung	kW	1000	2500	5000
Leistung/Fläche	W/m ²	420.0	420.0	420.0
Rotorfläche	m ²	2381.0	5952.4	11904.8
Rotordurchmesser	m	55.1	87.1	123.1
Blattspitzengeschwindigkeit	m/s	70.00	70.00	70.00
Rotorfrequenz 1p	1/s	0.33	0.26	0.18
3p	1/s	0.99	0.78	0.54

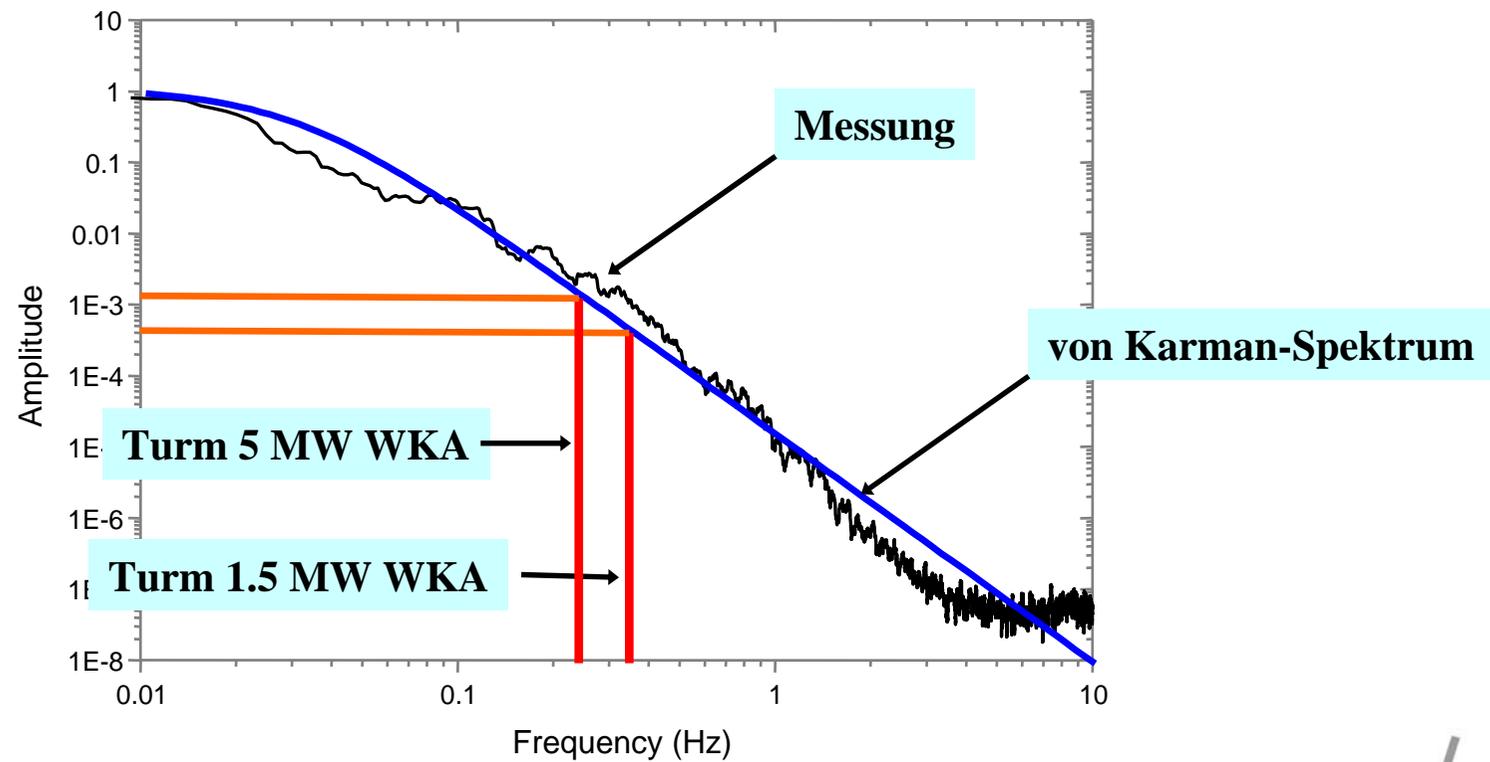
Anregende Frequenzen (Teil der Rotationsenergie wird in Schwingungen umgesetzt)

- Rotorfrequenz z.B. durch mechanische Unwucht, Blattfehlstellung, etc.
- 3-fache Rotorfrequenz z.B. durch Turmvorstau, „gust slizing“, etc.

Wodurch werden Schwingungen angeregt ?



Fourier Energiespektrum des Windes





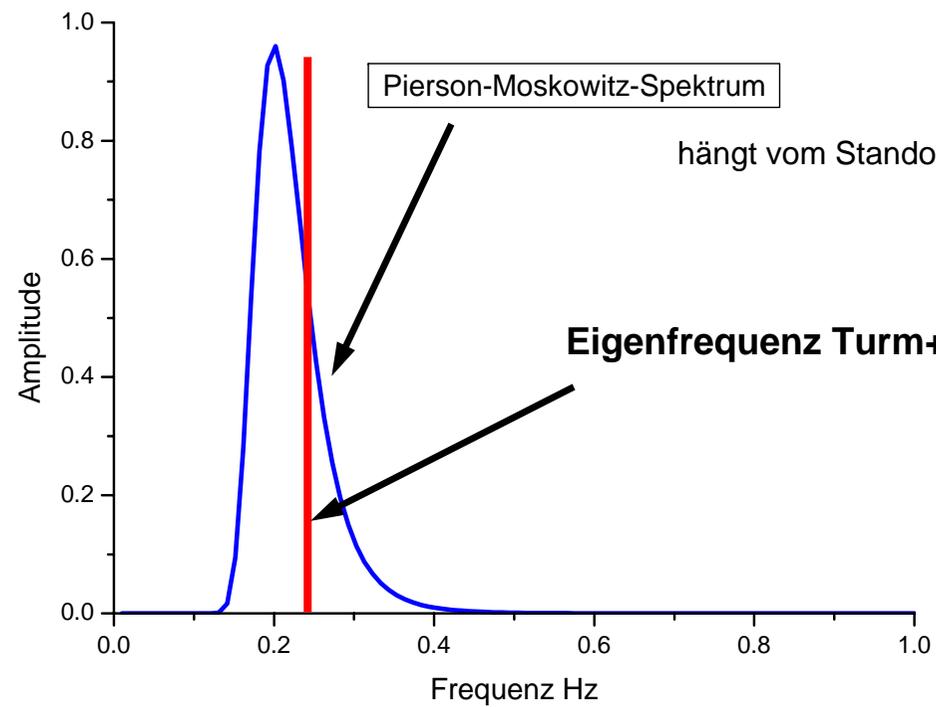
©AMEC Border Wind

Wind farm Blyth Harbour





Energiespektrum der Wellen



Aeroelastische Simulation



Preprocessing

- Erfassung und Aufbereitung der Anlagendaten
- Erzeugung von Wind und Wellen
- Festlegung der Lastfälle (Richtlinien GL, DIBt, IEC)



Simulation

- Bestimmung der Luftkräfte (Blattelementtheorie)
- Mechanisches Modell (MKS + modale Elemente)
- Flex5, Bladed,..., Neuentwicklungen für Offshore im Gange



Postprocessing

- Bestimmung von Extremwerten (Schnittkräfte, Biegemomente)
- Bestimmung der Ermüdungslasten durch Hochrechnung
- Dokumentation

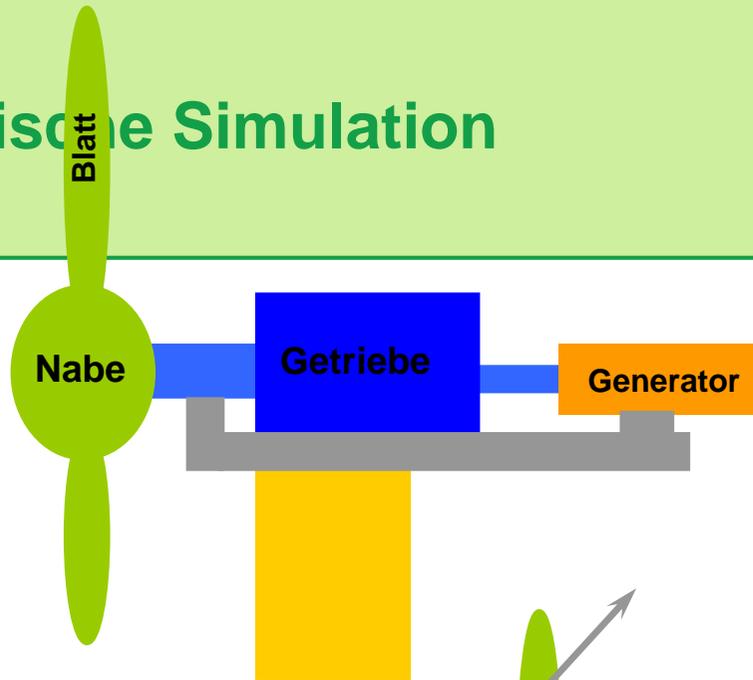
Aeroelastische Simulation



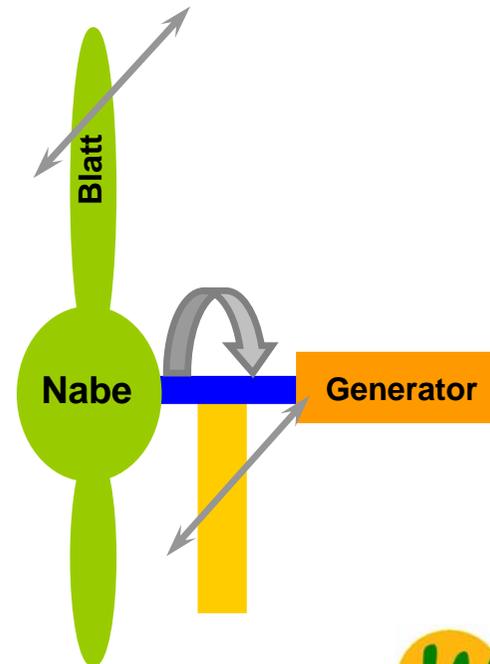
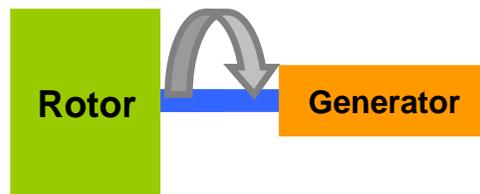
**Zur Untersuchung der Schwingungen
muss Anlage als Gesamtsystem
betrachtet werden !**

Beispiel Triebstrangschwingung

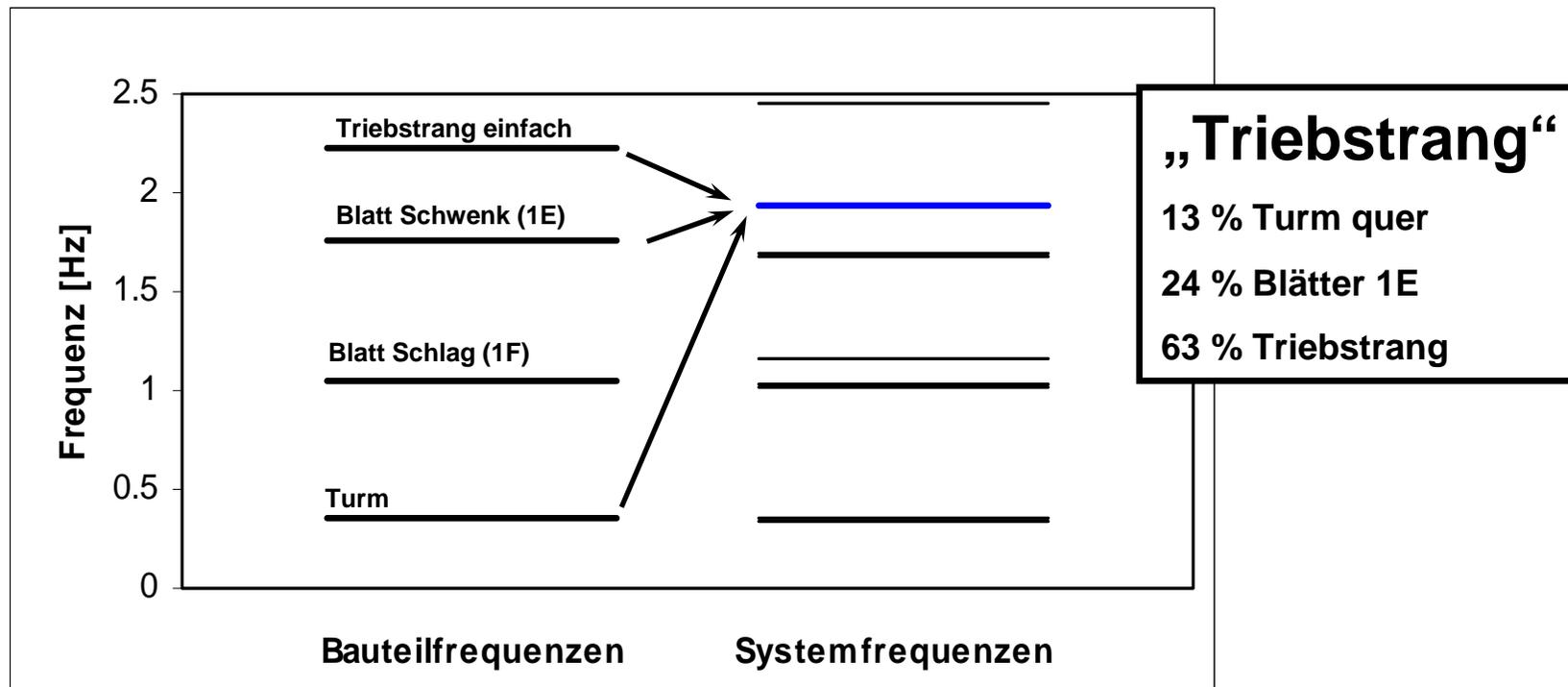
Aeroelastische Simulation



zu einfaches Modell



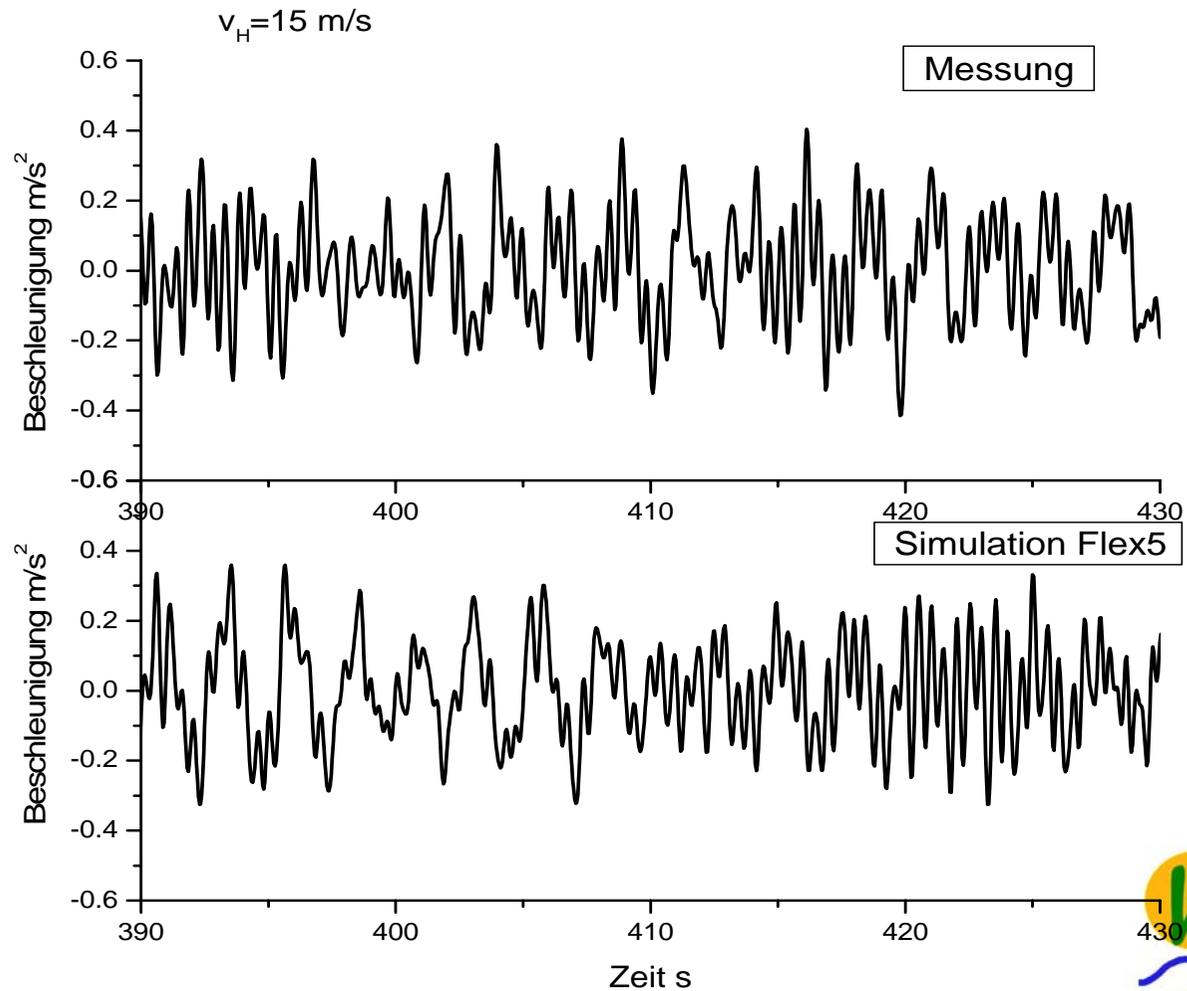
Aeroelastische Simulation



Aeroelastische Simulation



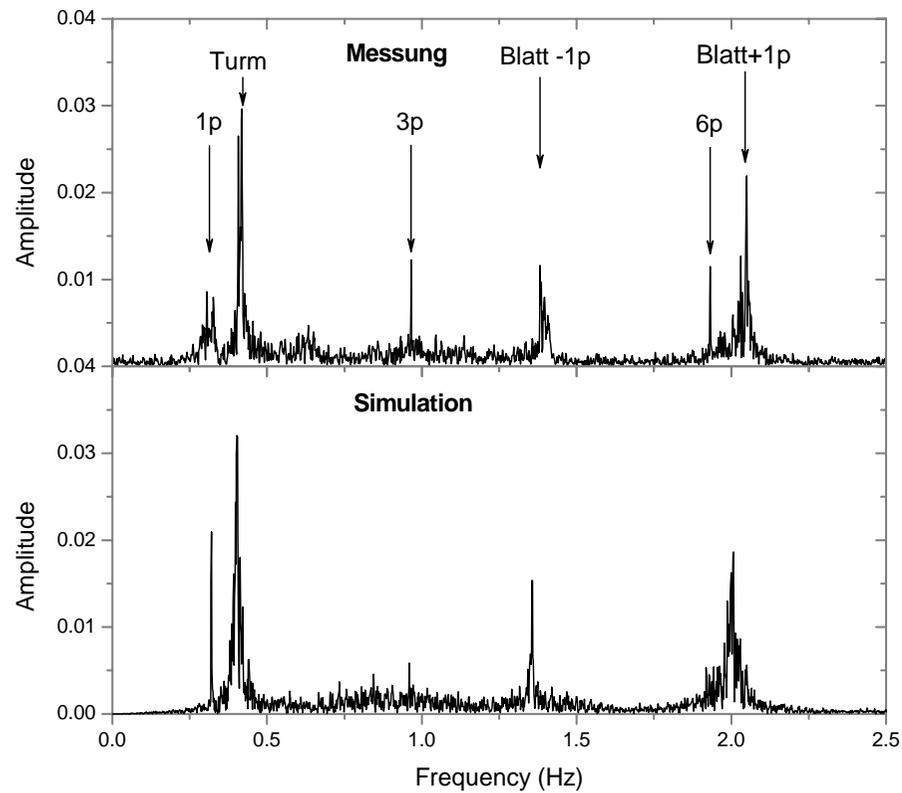
Querbesehleunigung in der Gondel für WKA mit 1.3 MW und 70 m NH



Aeroelastische Simulation



FFT der Querbeschleunigung



Schwingungsüberwachung



Schwingungsüberwachung



Schwingungsüberwachung



Welche Schwingungen werden überwacht

- Turmschwingungen, z.B. durch Unwucht, starke Böen
- Blattschwingungen, z.B. durch Stalleffekt
- Triebstrangschwingungen

Welche Größen werden gemessen

- Beschleunigung (Sensor, mechanische Schalter)
- Biegemomente (DMS)
- geeignete Filterung der Signale

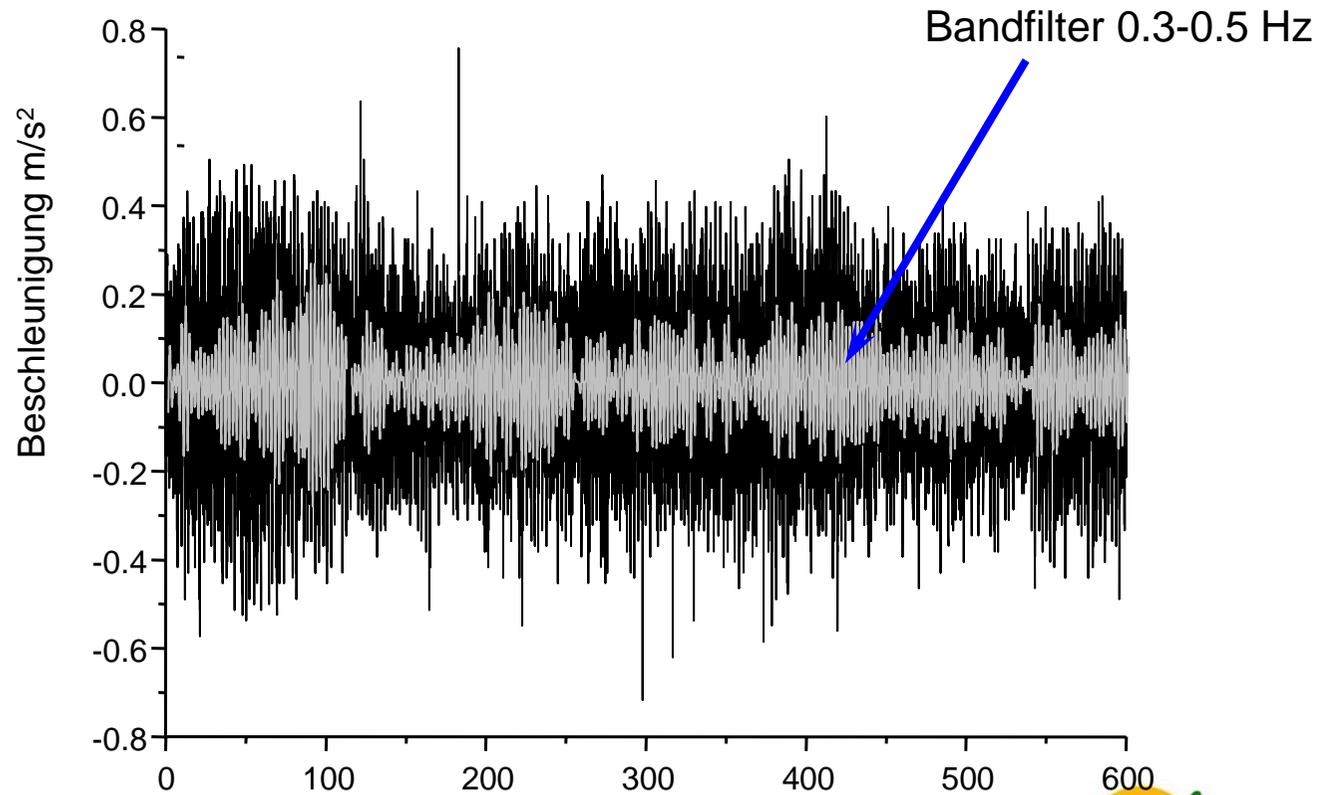
Maßnahmen bei zu hohen Schwingungspegeln

- Abschaltung der Anlage
- Auswuchten des Rotors
- Veränderung Pitchwinkel/Umrichtermoment, lastoptimierte Regelung

Schwingungsüberwachung



Querbeschleunigung der Gondel bei 15 m/s

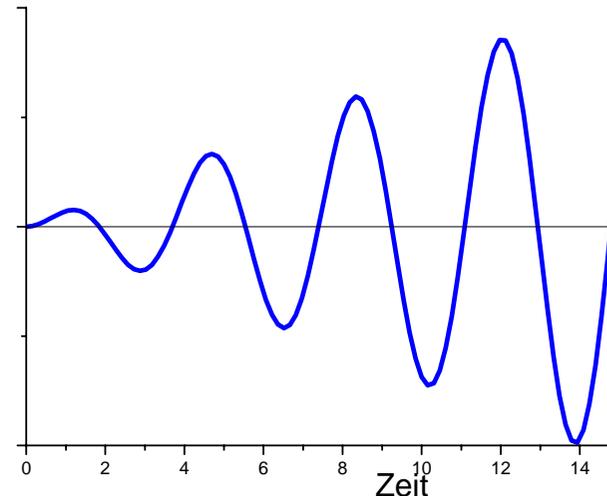


Schwingungsüberwachung



Signalverarbeitung

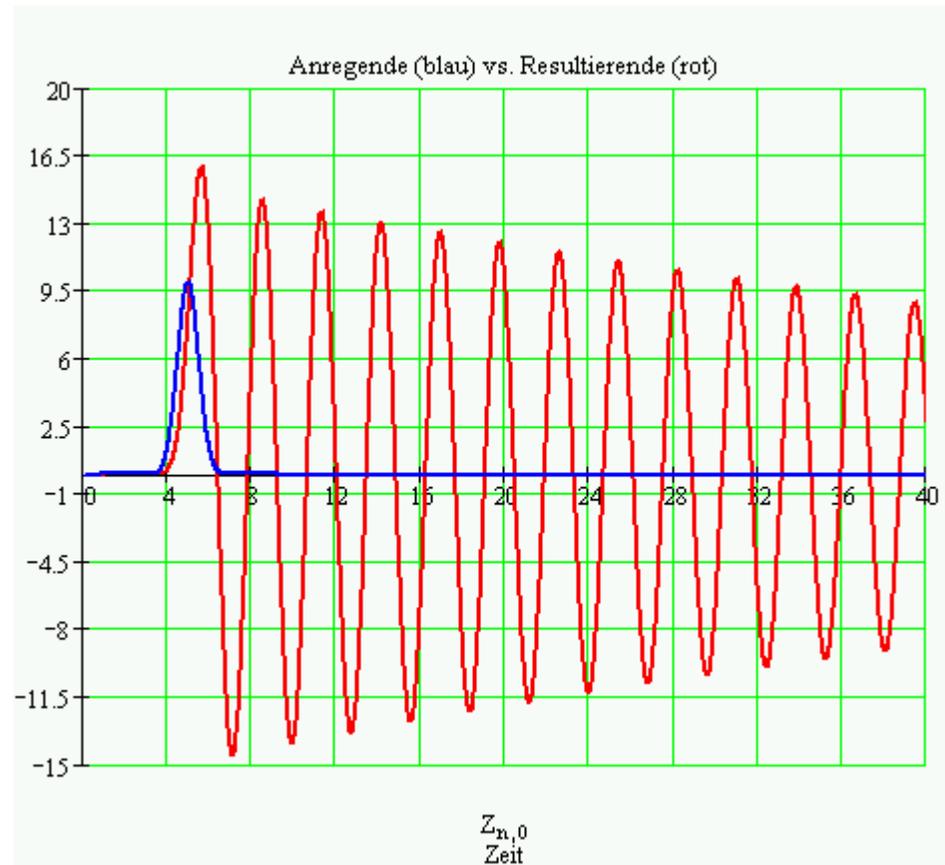
- schnelle und sichere Erkennung bestimmter Schwingungen im Betrieb
- Ansprechzeiten, Mittelungszeiten
- geeignete Filter



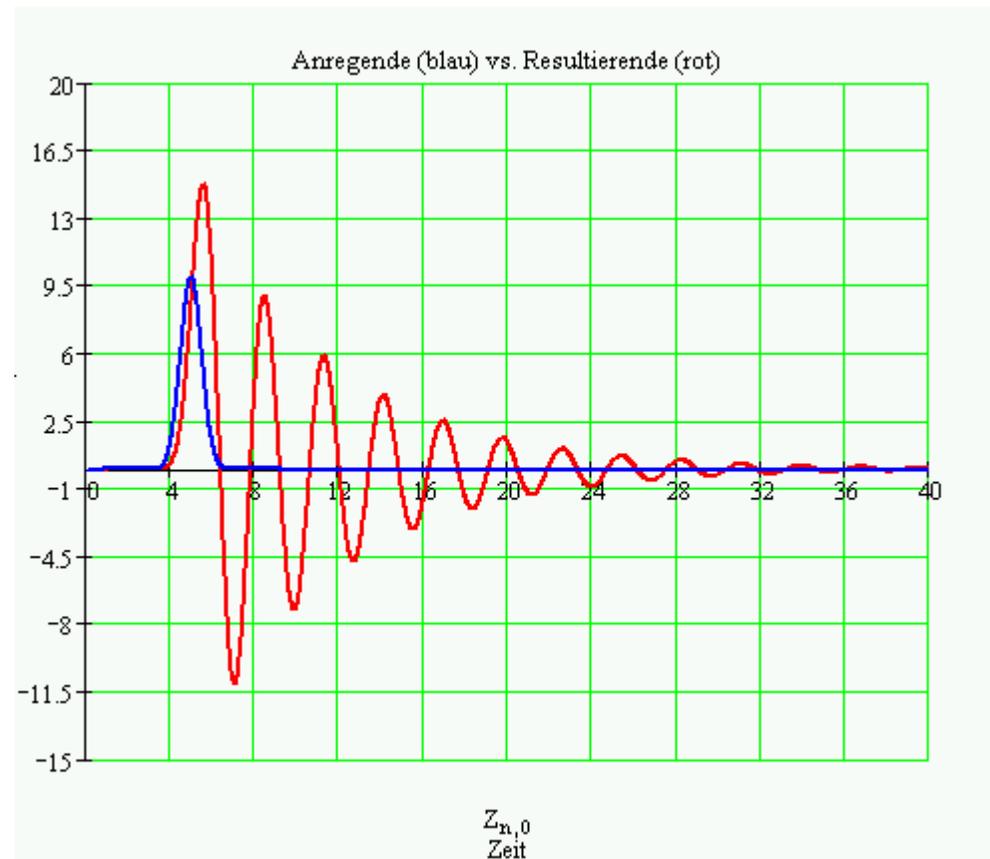
Betriebsführung

- Schwingungspegel als Zustandsparameter
- besonders für schwer zugängliche Offshore-Parks

Schwingungsdämpfung



Schwingungsdämpfung



Schwingungsdämpfung



Dämpfung von Turm-, Blatt- und Triebstrangschwingungen
viele Aktivitäten, Patente aus jüngerer Zeit

Für viele Zwecke näherungsweise:

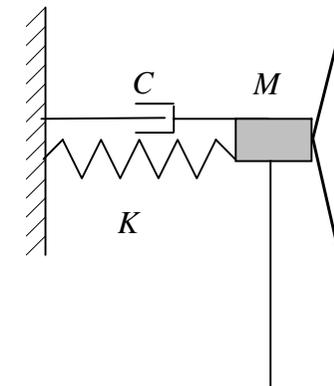
$$M \ddot{x} + B \dot{x} + K x = F(t)$$

passive Dämpfer

- federlose Dämpfer
- Federdämpfer

aktive Dämpfer

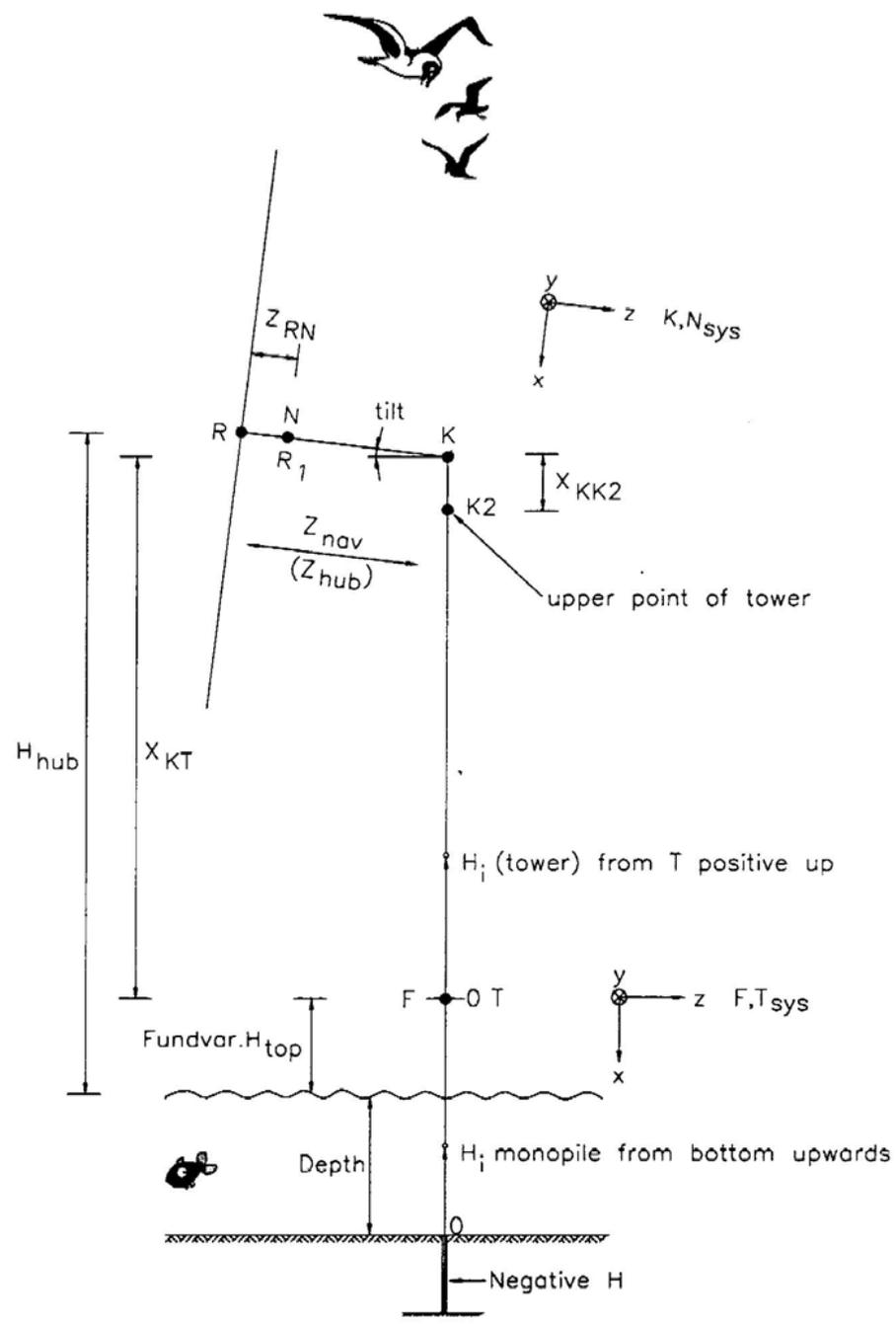
semi-aktive Dämpfer



Zusammenfassung



- Schwingungsformen und Anregungsmechanismen diskutiert
- Überblick über Simulation von WKA
- Methoden der Schwingungsüberwachung
- Schwingungsdämpfung





Campbell-Diagramm

