

# Simulation, Dynamik und Schwingungsüberwachung von WKA



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

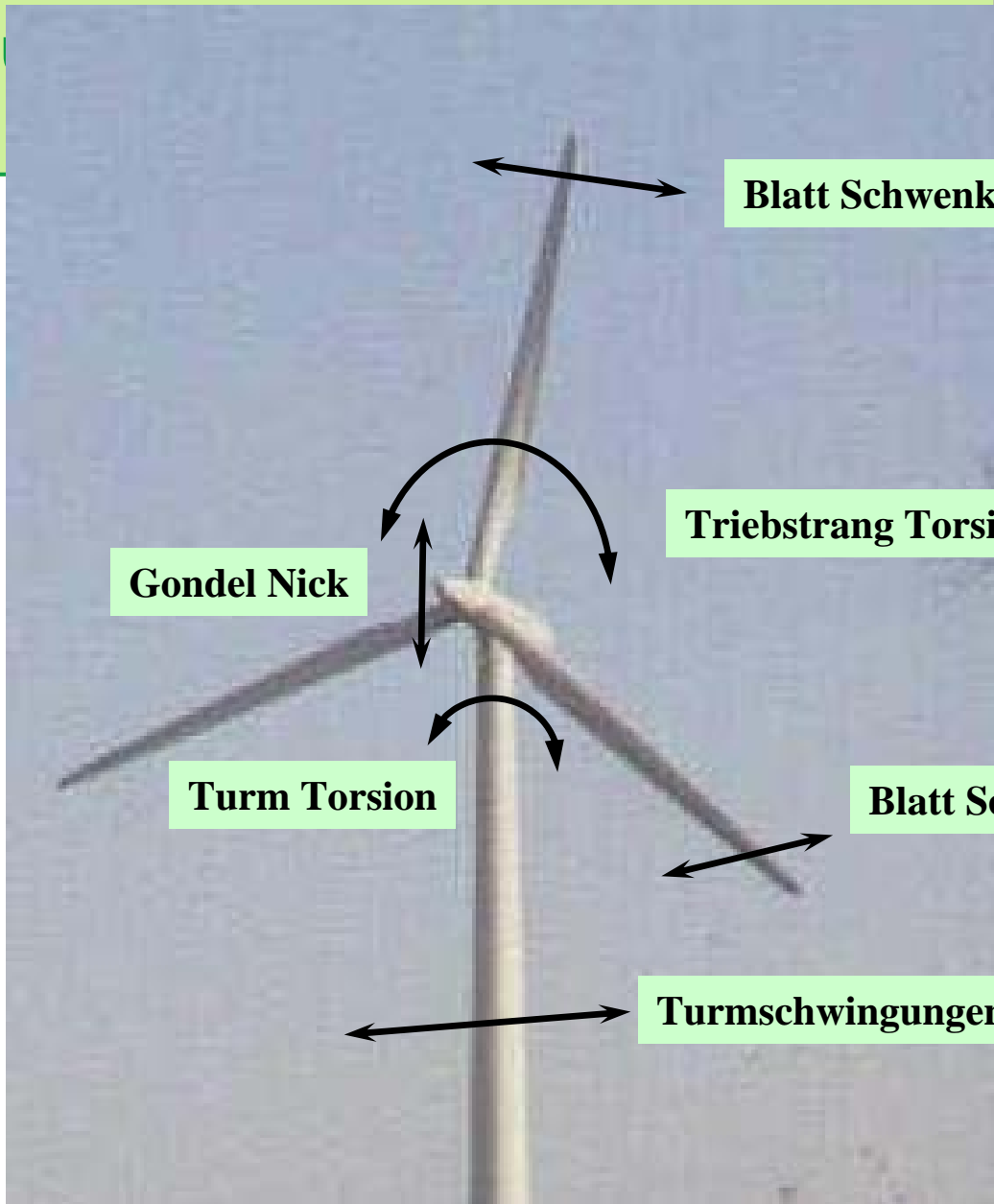
Dr. U. Ritschel, 23.05.2003

## 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

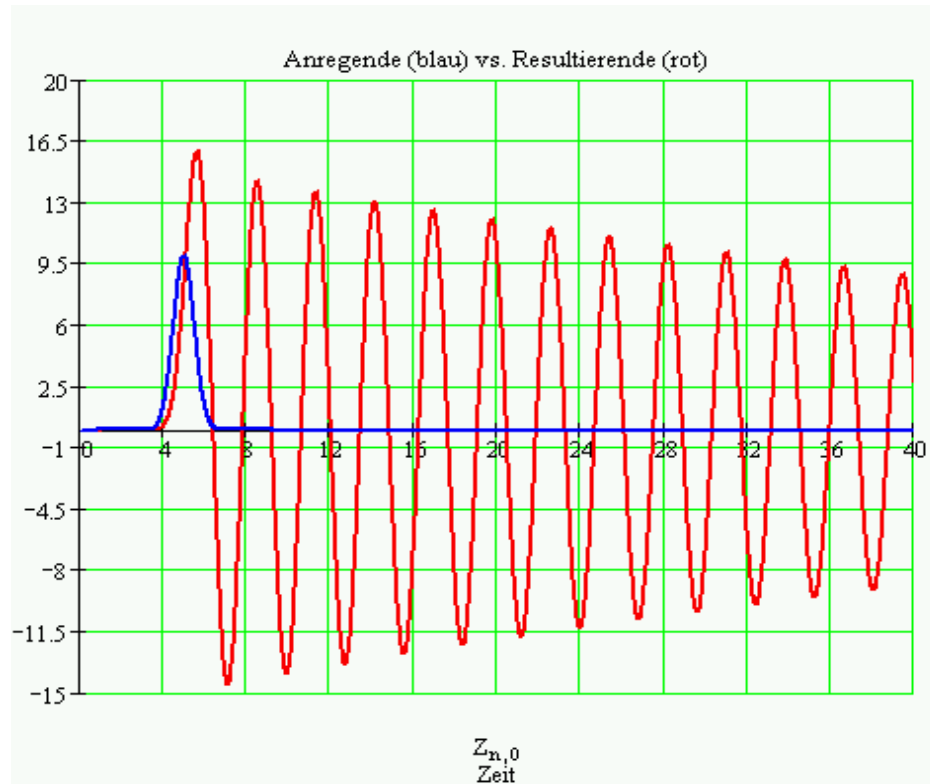
Turmschwingungen



# 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
<b>Nennleistung</b>	kW	<b>1000</b>	<b>2500</b>	<b>5000</b>
Leistung/Fläche	W/m <sup>2</sup>	420.0	420.0	420.0
Rotorfläche	m <sup>2</sup>	2381.0	5952.4	11904.8
Rotordurchmesser	m	55.1	87.1	123.1
Blattspitzengeschwindigkeit	m/s	70.00	70.00	70.00
<b>Rotorfrequenz 1p</b>	1/s	<b>0.33</b>	<b>0.26</b>	<b>0.18</b>
<b>3p</b>	1/s	<b>0.99</b>	<b>0.78</b>	<b>0.54</b>

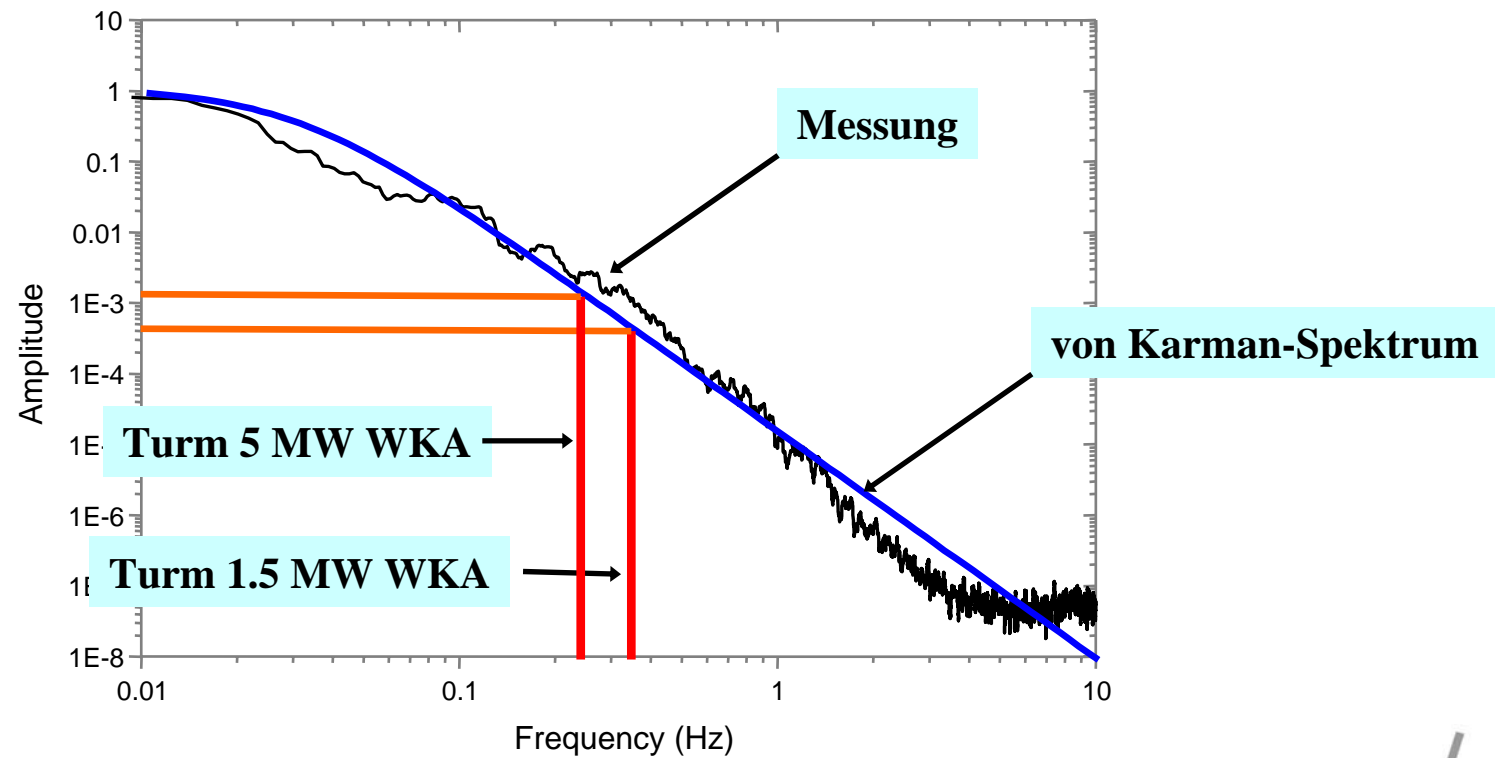
Anregende Frequenzen (Teil der Rotationsenergie wird in Schwingungen umgesetzt)

- 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

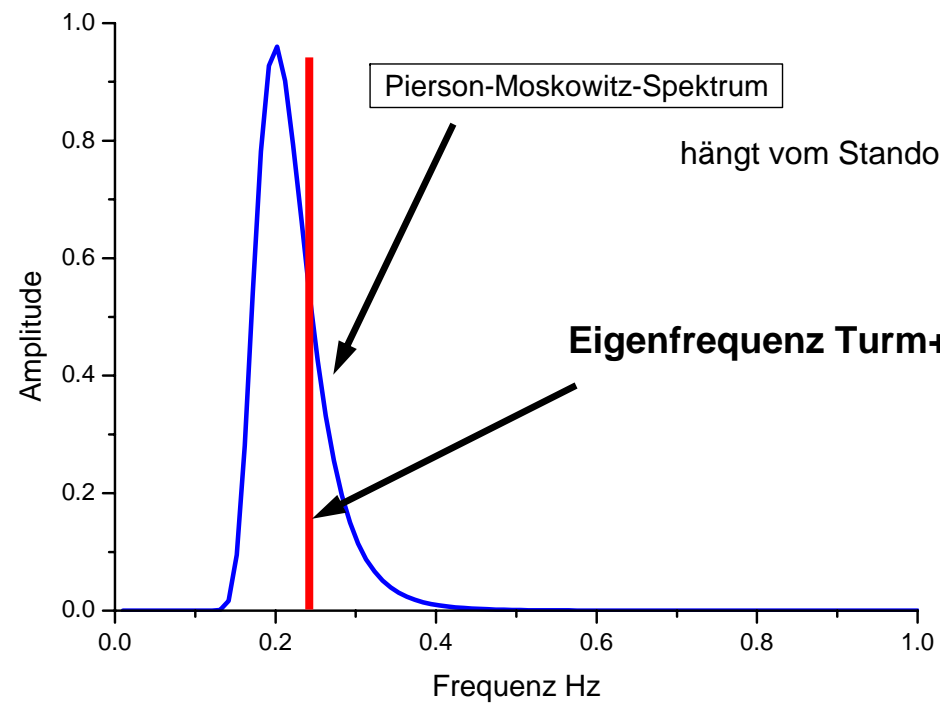
**Wind farm Blyth Harbour**







## 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

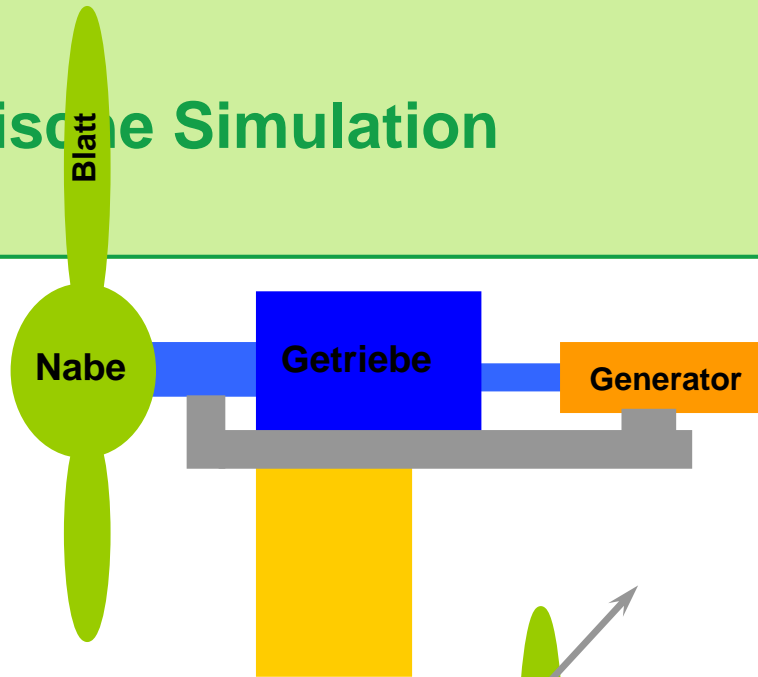
# Aeroelastische Simulation



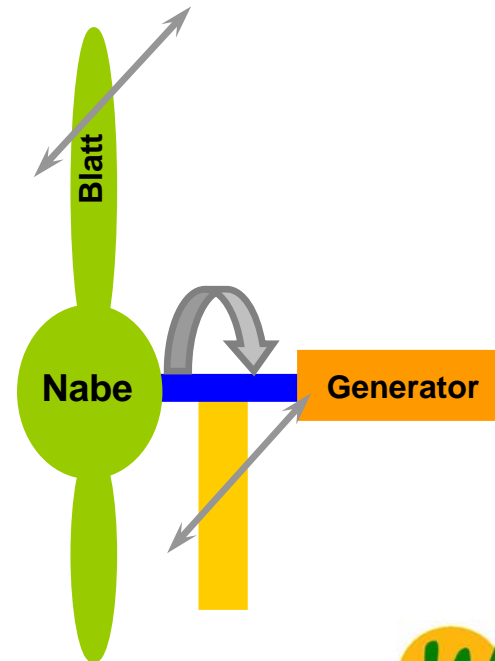
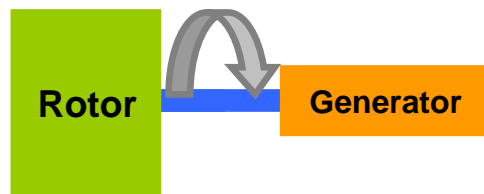
**Zur Untersuchung der Schwingungen  
muss Anlage als Gesamtsystem  
betrachtet werden !**

**Beispiel Triebstrangschwingung**

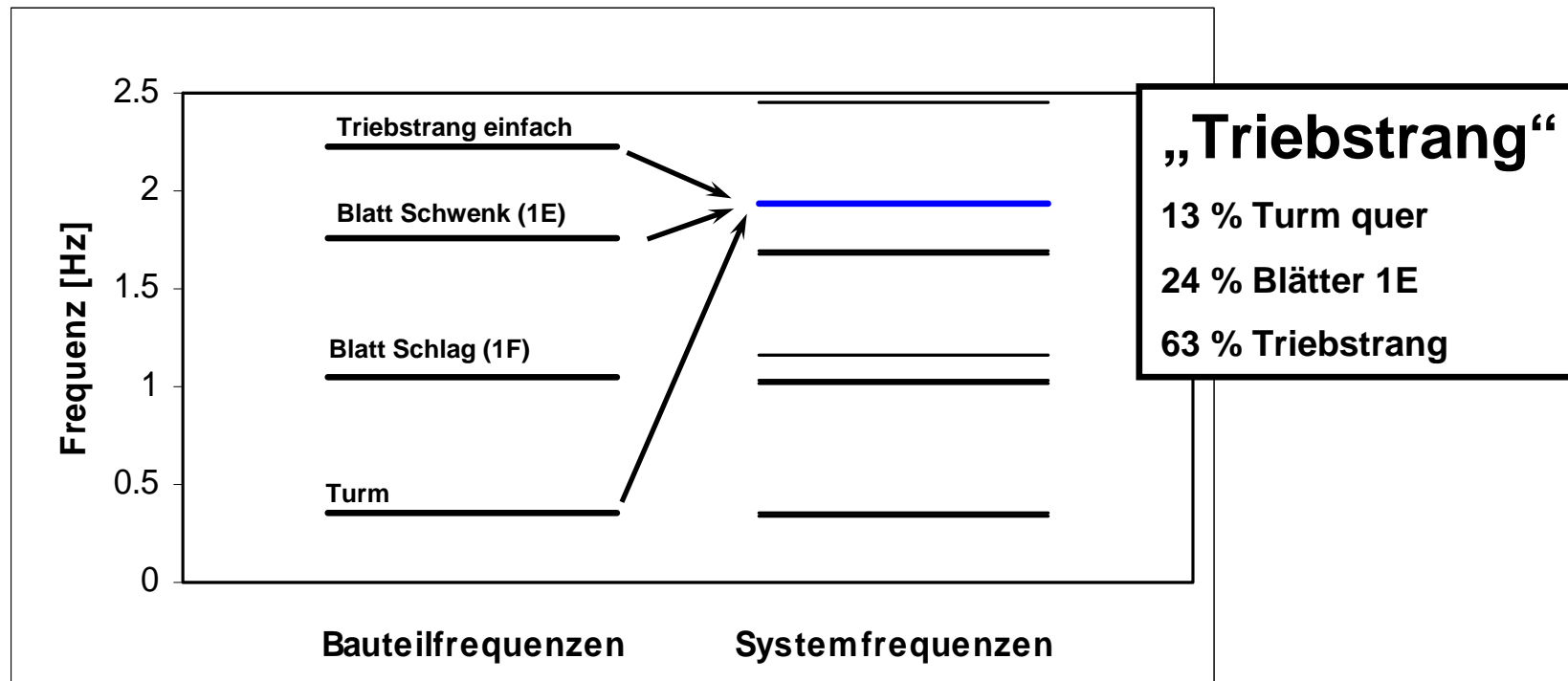
# Aeroelastische Simulation



zu einfaches Modell



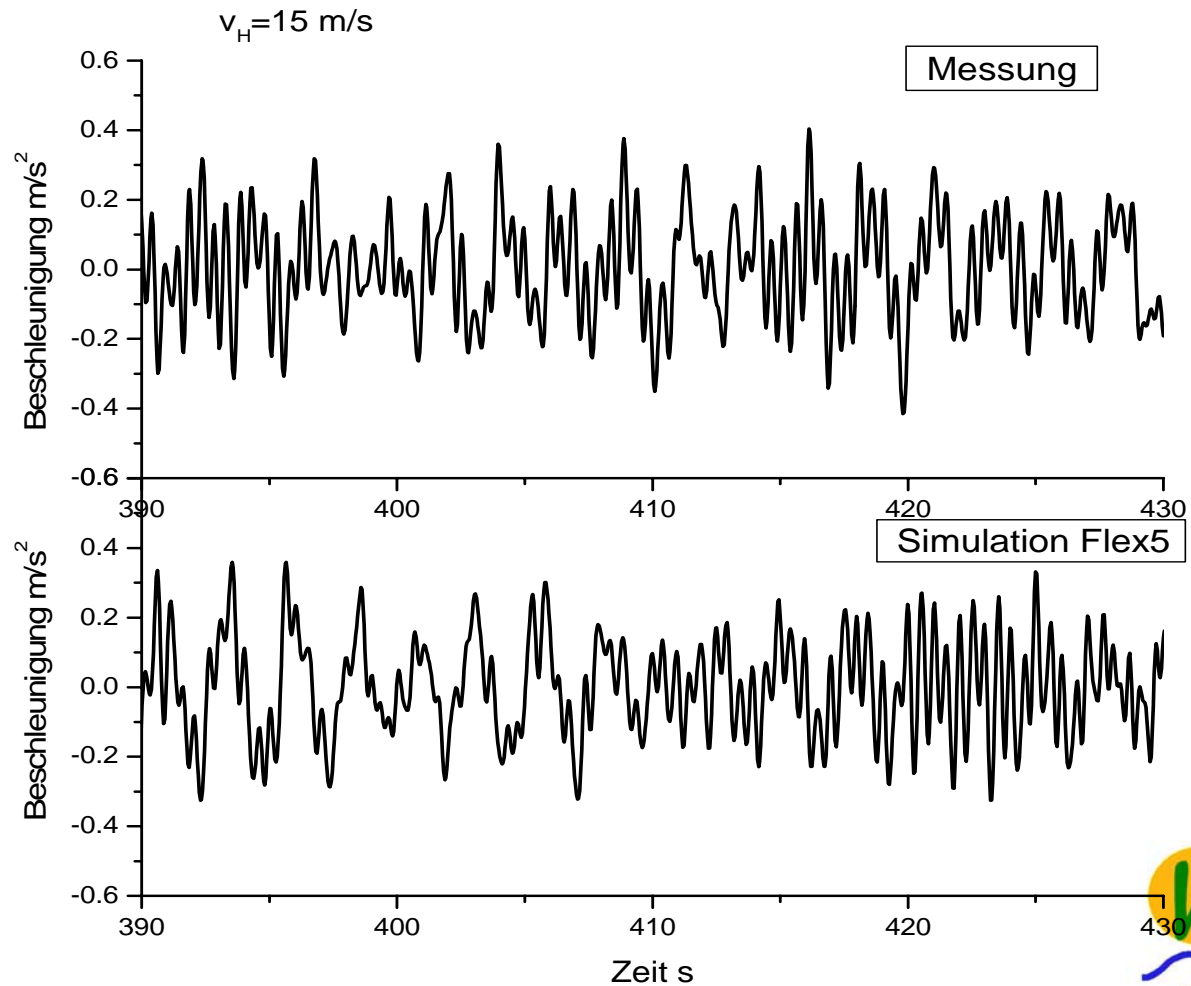
# Aeroelastische Simulation



# Aeroelastische Simulation



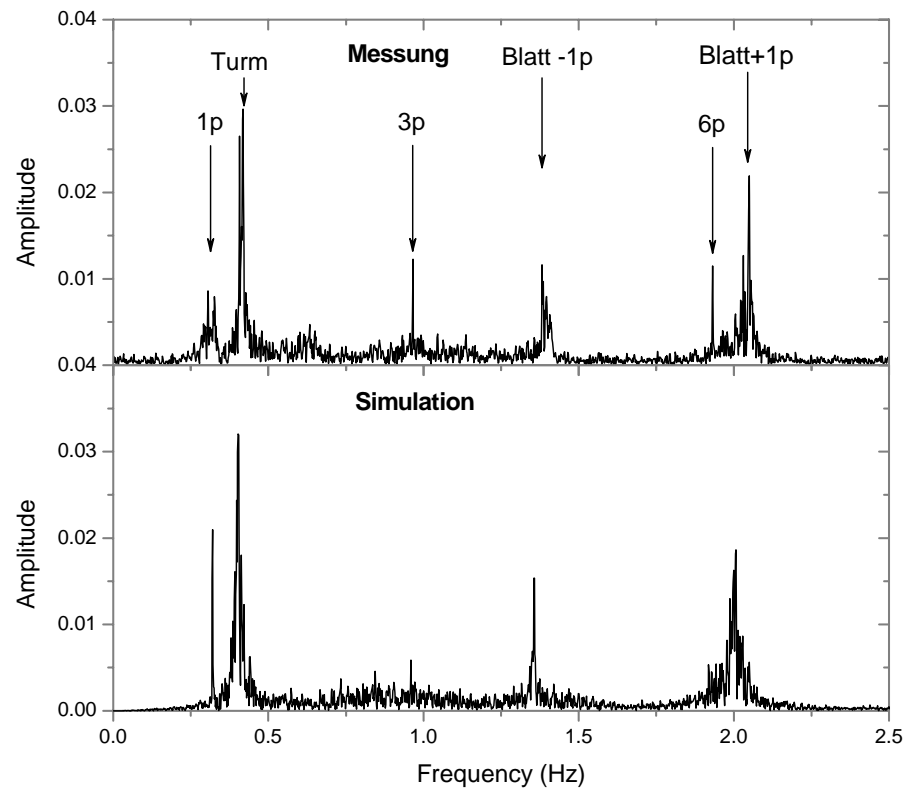
## Querbesehleunigung in der Gondel für WKA mit 1.3 MW und 70 m NH



# 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

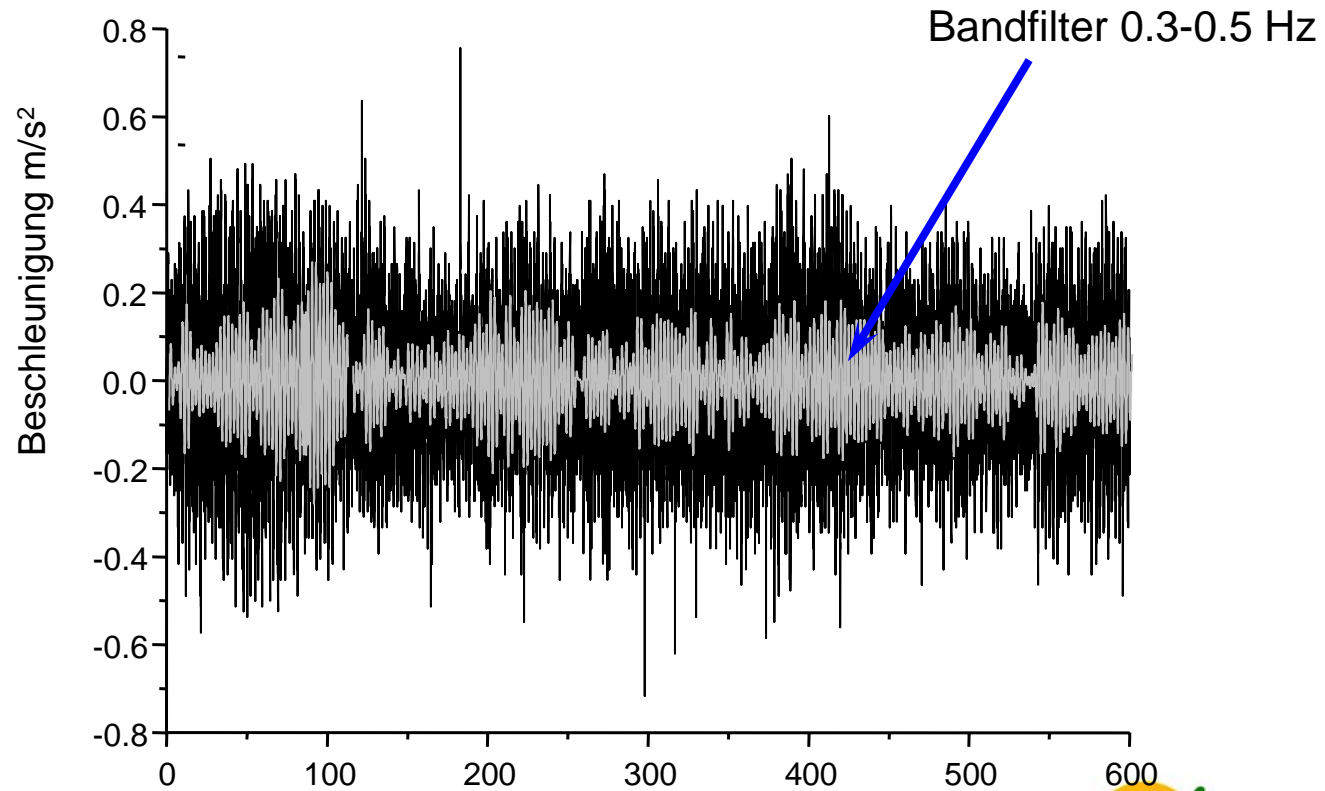
## Maßnahmen bei zu hohen Schwingungspegeln

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

# Schwingungsüberwachung



Querbeschleunigung der Gondel bei 15 m/s

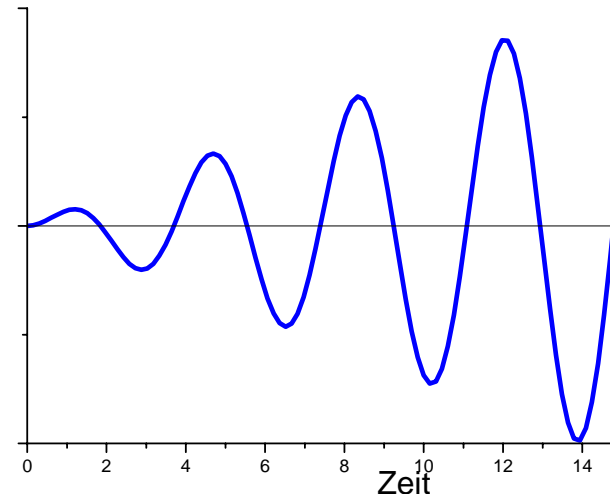


# Schwingungsüberwachung



## Signalverarbeitung

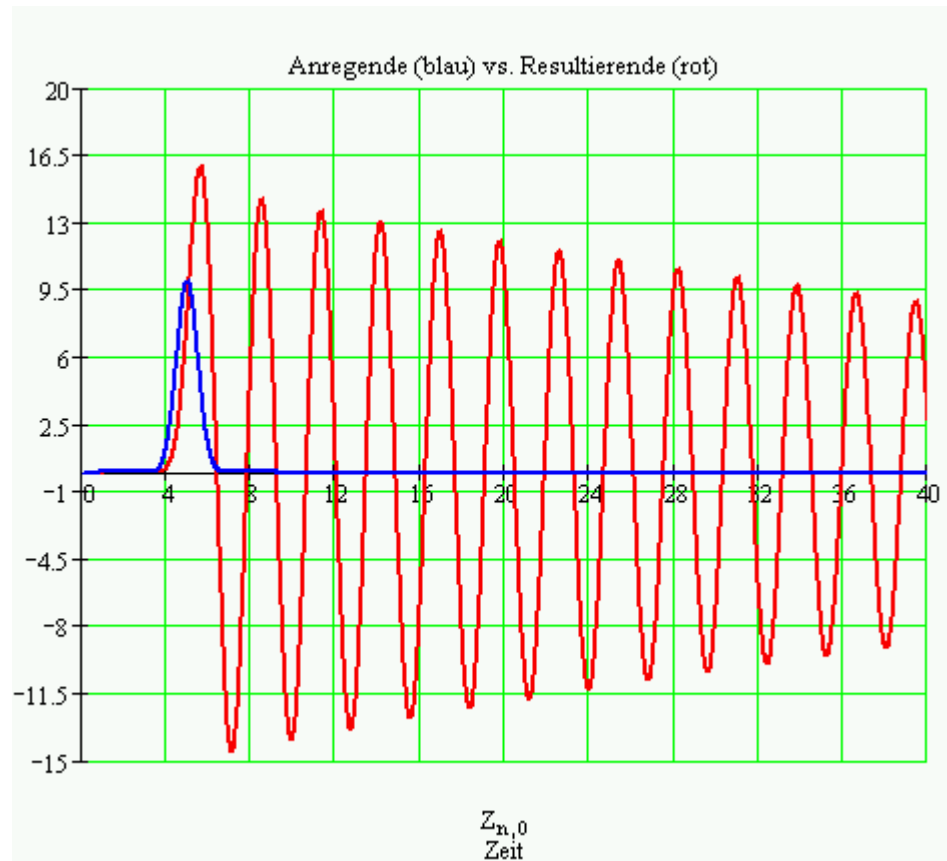
- schnelle und sichere Erkennung bestimmter Schwingungen im Betrieb
- Ansprechzeiten, Mittelungszeiten
- geeignete Filter



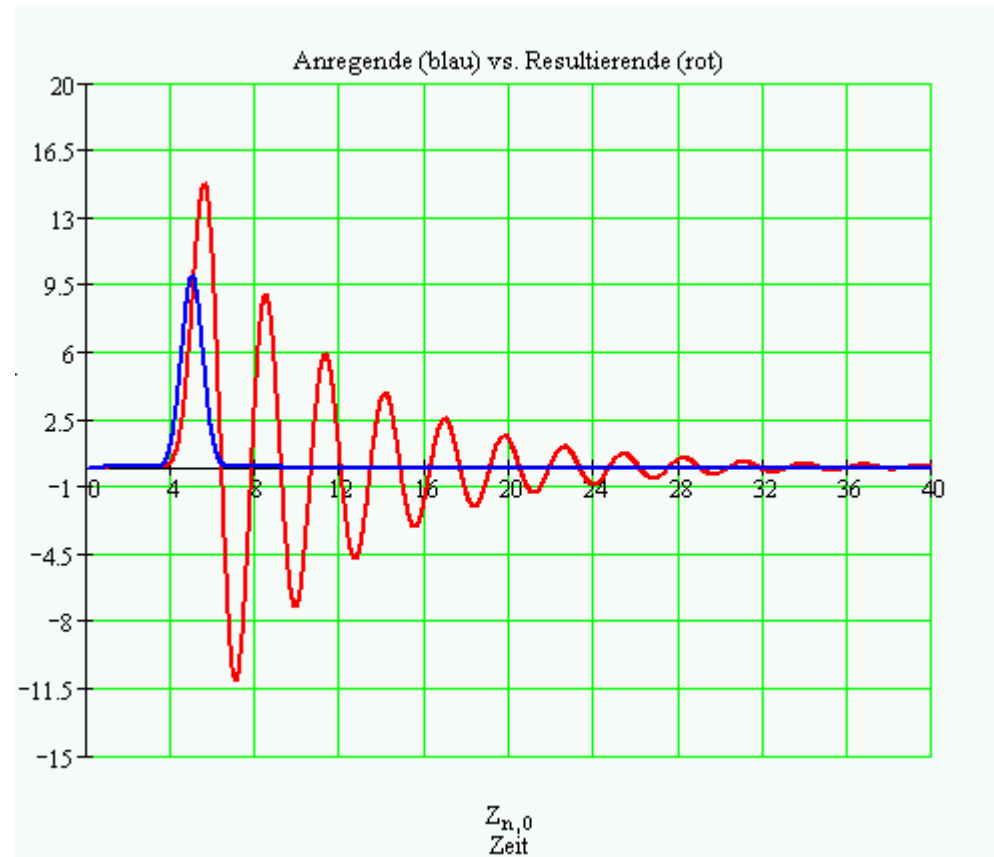
## Betriebsführung

- 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:

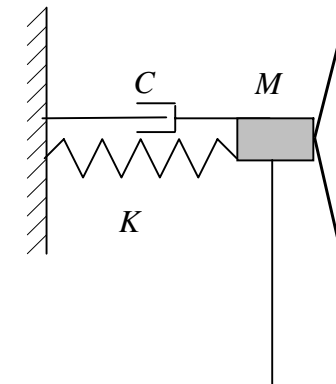
$$M \ddot{x} + B \dot{x} + K x = F(t)$$

passive Dämpfer

- federlose Dämpfer
- Federdämpfer

aktive Dämpfer

semi-aktive Dämpfer

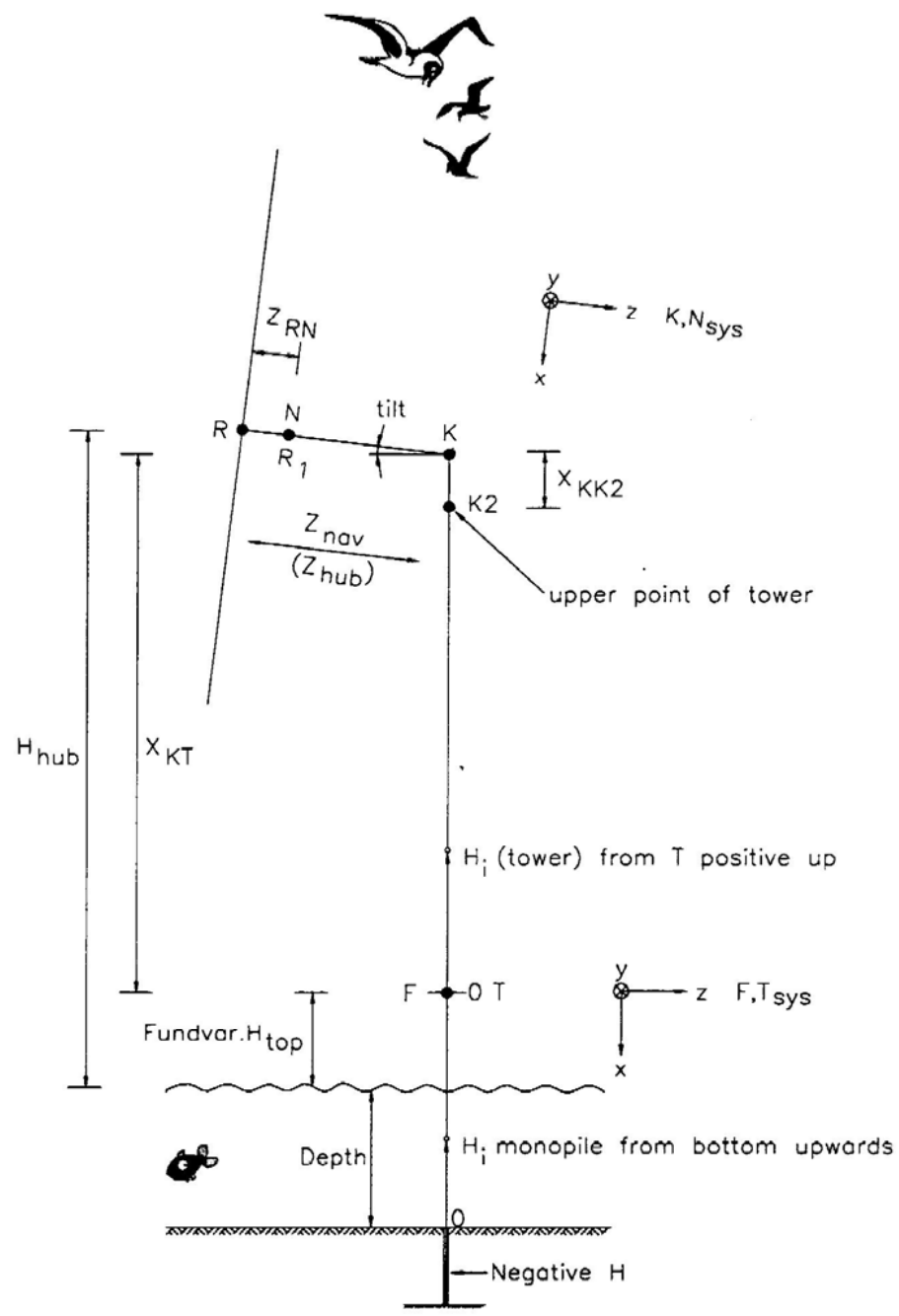


# Zusammenfassung



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







## Campbell-Diagramm

