

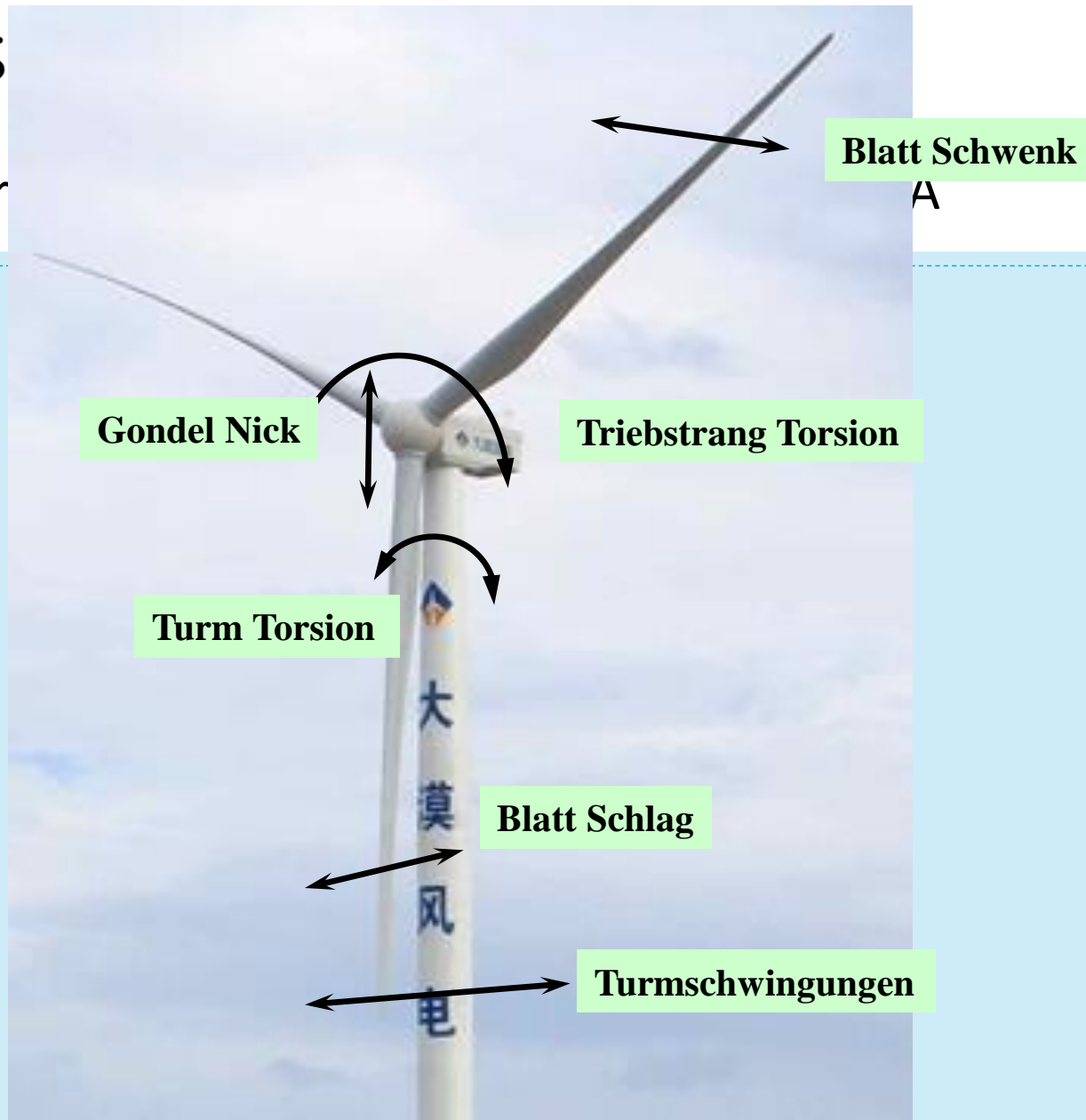
Schwingungsüberwachung von Gondel und Turm

Dr. Uwe Ritschel

Nordex Advanced Development GmbH

Inhalt:

1. Überblick über die Strukturmechanik von WEA
2. Wodurch werden Schwingungen angeregt
3. Einfluss der Schwingungen auf Ermüdung und Lebensdauer der Struktur
4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem




1. Überblick über die Strukturodynamik von WEA

Eckdaten der betrachteten WEA

Nennleistung	kW	2.000
Nabenhöhe	m	93
Rotordurchmesser	m	90
Turmkopfmasse	kg	122.000
Blattmasse	Kg	8.750
1. EF Turm	Hz	0,37
2. EF Turm	Hz	2,96
EF Blatt Schlag	Hz	0,73
EF Blatt Schwenk	Hz	1,32
Nenndrehzahl	Hz	0,253
	rpm	15,2
Drehzahlbereich	rpm	5,5-16

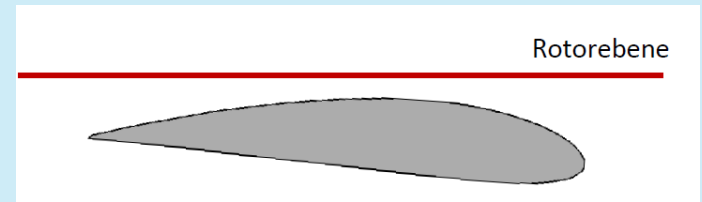
1. Überblick über die Strukturodynamik von WEA

- Seit Ende der 90 Jahre Simulationsprogramme für gesamte WEA (Bladed, Flex5), NAD/Windrad Eigenentwicklung SiWEC
- Berechnung der für die Auslegung der wesentlichen Strukturbauteile relevanten Lasten (Wesentliche Strukturbauteile: Blätter, Nabe, Hauptlager, Hauptwelle, Triebstrang/Getriebe, Maschinenträger, Azimutlager, Turm, Fundament)
- Strukturdynamik bis ca. 10 Hz Eigenfrequenz modelliert , im Rahmen einer verallgemeinerten Mehrkörpersimulation mit Modennäherung
- 2-3 Blattmoden, 2-3 Turmmoden, Triebstrangtorsion,
- Ca. 25 Freiheitsgrade
- Hinreichende Genauigkeit  Rechengeschwindigkeit

1. Überblick über die Strukturodynamik von WEA

Systemeigenfrequenzen des Systems mit 25 Freiheitsgraden Blätter in 0° (Betriebsstellung) und stehender Rotor:

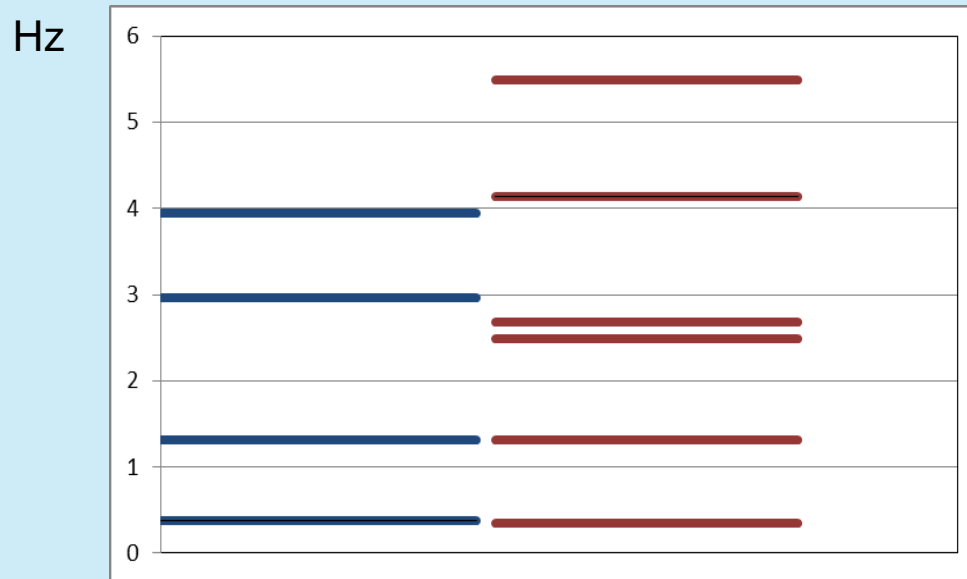
Querschwingungen



Frequenz / Hz	0,352	1,320	2,487	2,677	4,142	5,496
Freiheitsgrad	Beteiligte Freiheitsgrade					
Turm quer 1	x	x	x	x	x	x
Turm quer 2		x	x	x	x	x
Blatt Schwenk 1		x	x			
Blatt Schwenk 2			x	x	x	x
Turm Torsion		x		x	x	
Triebstrang Torsion			x		x	x
Fundament	x		x	x	x	x

1. Überblick über die Strukturodynamik von WEA

Frequenzen: Bauteile vs. System



1. Überblick über die Strukturodynamik von WEA

Was passiert im Betrieb?

Beim drehenden Rotor ergibt sich je nach Stellung des einzelnen Blattes ein unterschiedliches Zusammenspiel zwischen Gondelquerschwingung und Blattschwingung

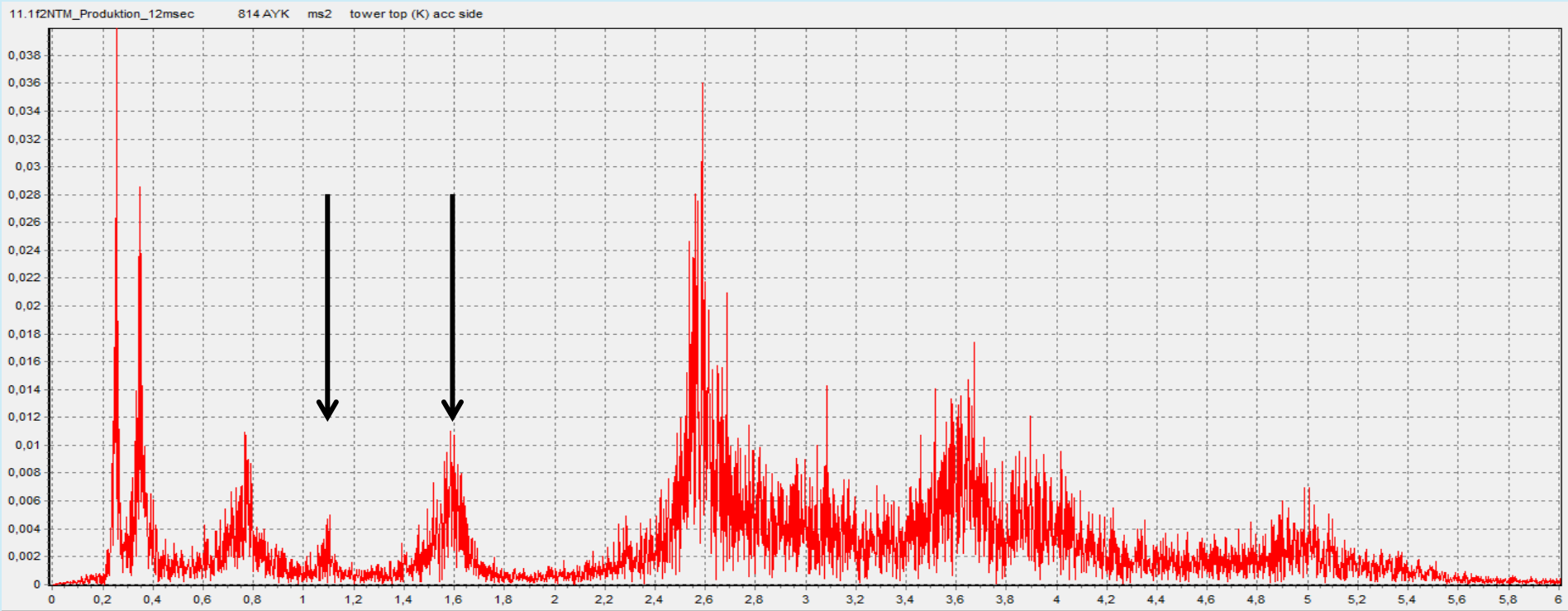
Blattschwingung Rotordrehung

$$\sin(\omega t) \cdot \sin(\Omega t)$$

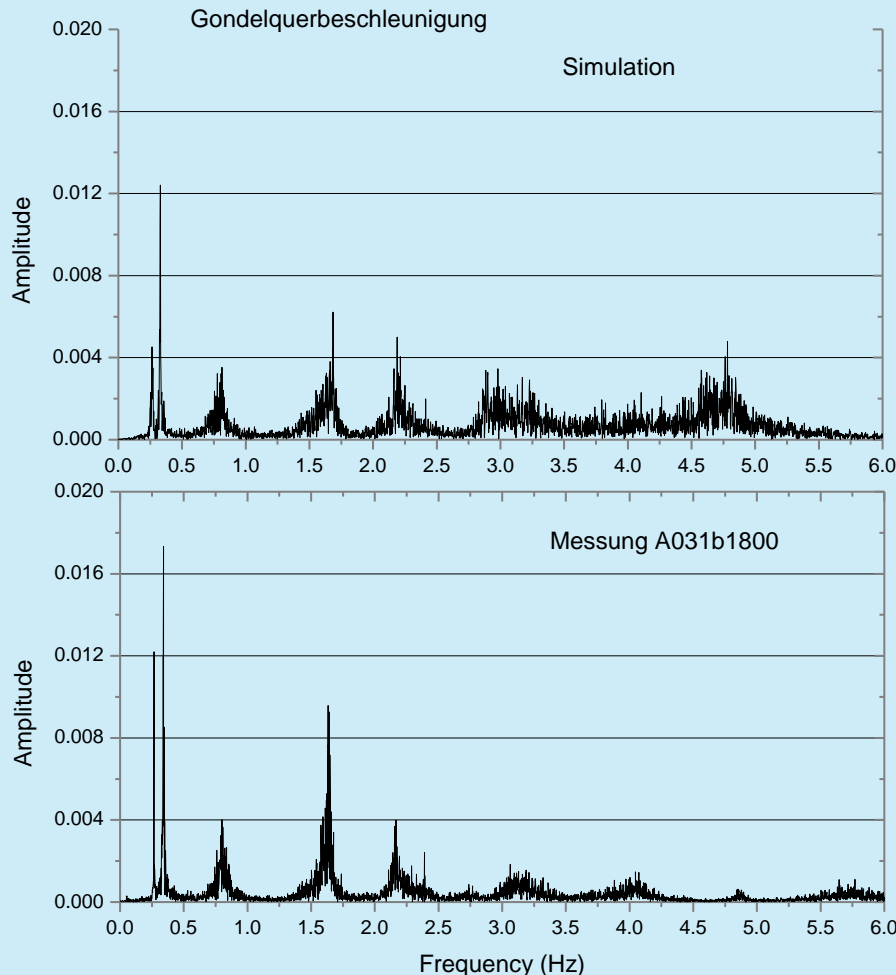
$$= \frac{1}{2} (\cos((\omega - \Omega) t) - \cos((\omega + \Omega) t))$$

1. Überblick über die Strukturodynamik von WEA

Blattfrequenzen in der Gondelquerbeschleunigung der 2 MW Anlage



1. Überblick über die Strukturodynamik von WEA



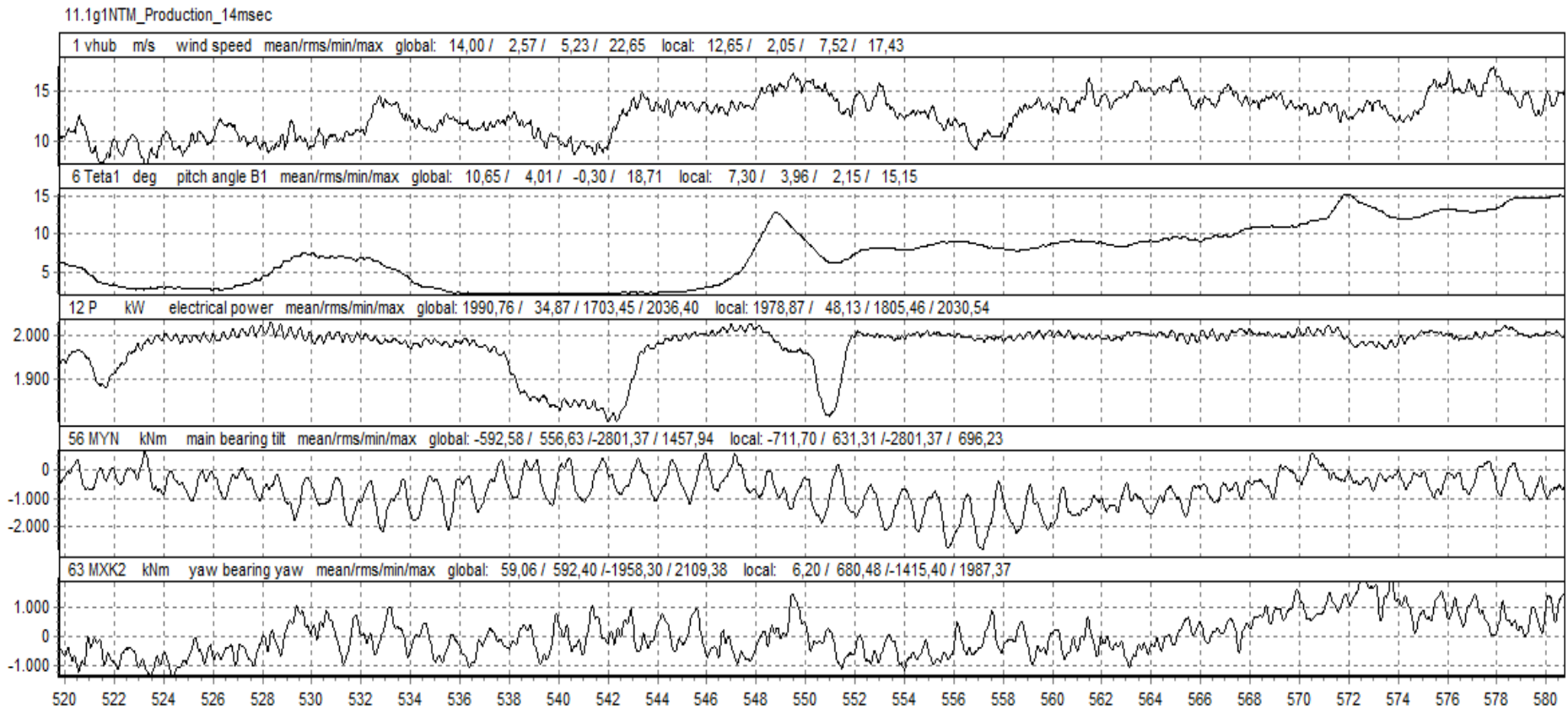
Spektrum der Gondelquerbeschleunigung bei 8 m/s

Querrichtung	
Frequenz (Hz)	Ursache
0.25-0.27	1p
0.33	1. Turm
ca. 0.8	3 p
1.6 u. 2.2	1. Edge +- 1p
ca. 3	2. Turm

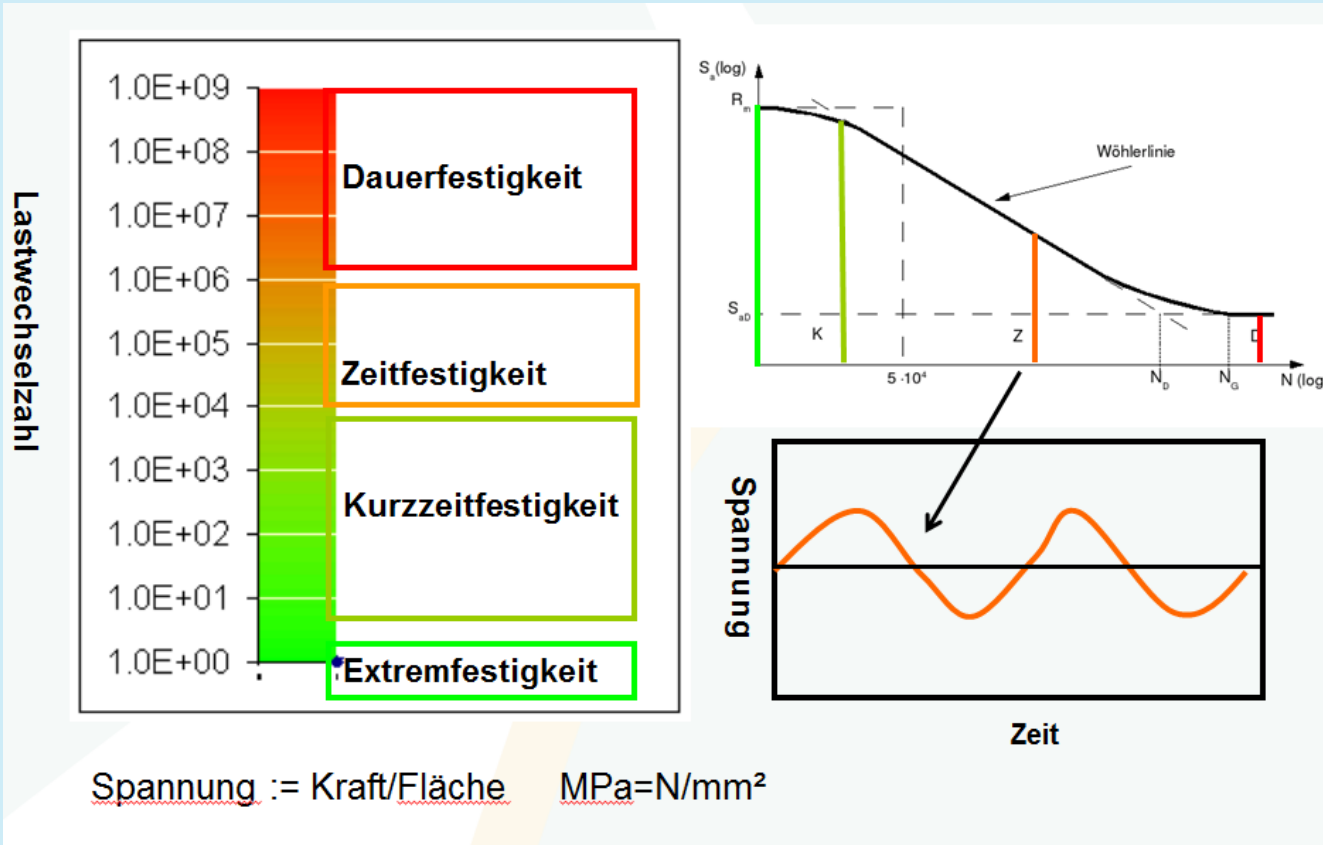
2. Wodurch werden Schwingungen angeregt

Unabhängig von Rotordrehung	Einfache Rotorfrequenz	Dreifache Rotorfrequenz
<p>Turbulenz (Wirkung auf Gondel, Turm,...) Parkturbulenz, Eis, Erdbeben, Wellen (offshore), Karman-Wirbel</p>	<p>Mechanische Unwucht, Aerodynamische Unwucht,</p>	<p>Höhengradient, Wind-Scherung, Turmvorstau, Partielle Böen (gust slicing)</p>

3. Einfluss der Schwingungen auf Ermüdung und Lebensdauer der Struktur



3. Einfluss der Schwingungen auf Ermüdung und Lebensdauer der Struktur



$$\text{Ertragbare Lastspiele} \propto \Delta\sigma^{-m} \quad m \approx 3..11$$

4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem

Ausgangspunkt „Schwingungscocktail“

Anregende Frequenzen, Strukturelle Frequenzen, Einzelbauteile, Körperschall

Signalverarbeitung

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

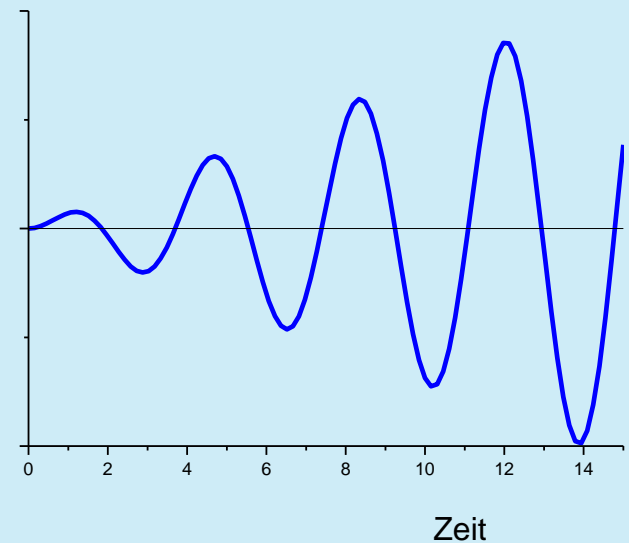
Welche Schwingungen werden überwacht

Turmschwingungen, z.B. durch Unwucht, starke Böen

Blattschwingungen, z.B. durch Stalleffekt

Triebstrangschwingungen

Shock Monitoring



4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem

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

Verwendung in Betriebsführung und Sicherheitssystem

Blattschwingungen

Triebstrangschwingungen

Shock Monitoring

4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem

Beispiel 1: Überwachung von Blattschwingungen

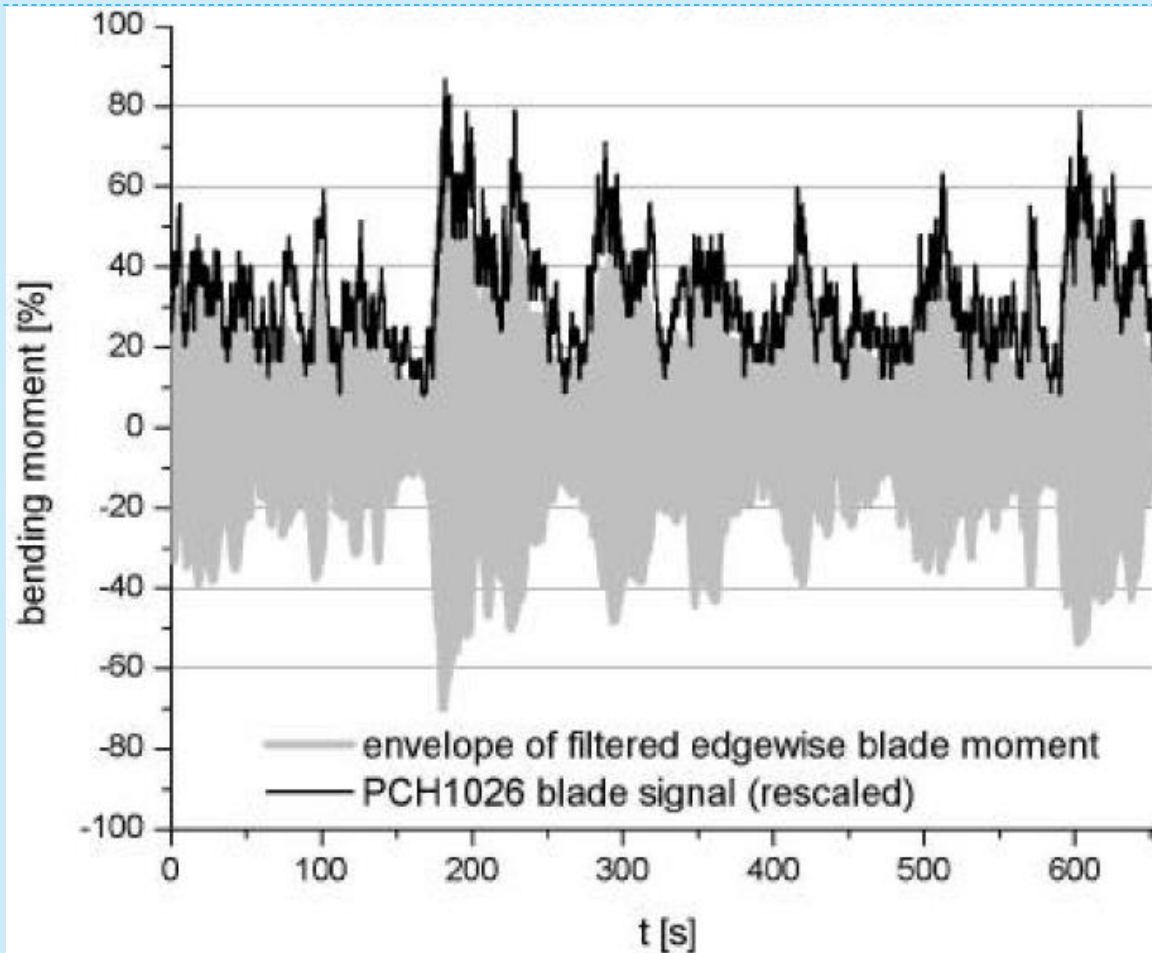
- Messung der Gondelquerbeschleunigung
- Erfassung beider Blattschwingungspeaks
- Beitrag zu den Peaks ändert sich zeitlich je nach Phasenlage der Blattschwingungen
- Verwendung eines geeigneten kombinierten Signals
- Reaktionszeit < 2 sec
- Entwicklung in Zusammenarbeit mit Fa. PCH Engineering

4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem



PCH 1026 Vibration Monitor

4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem

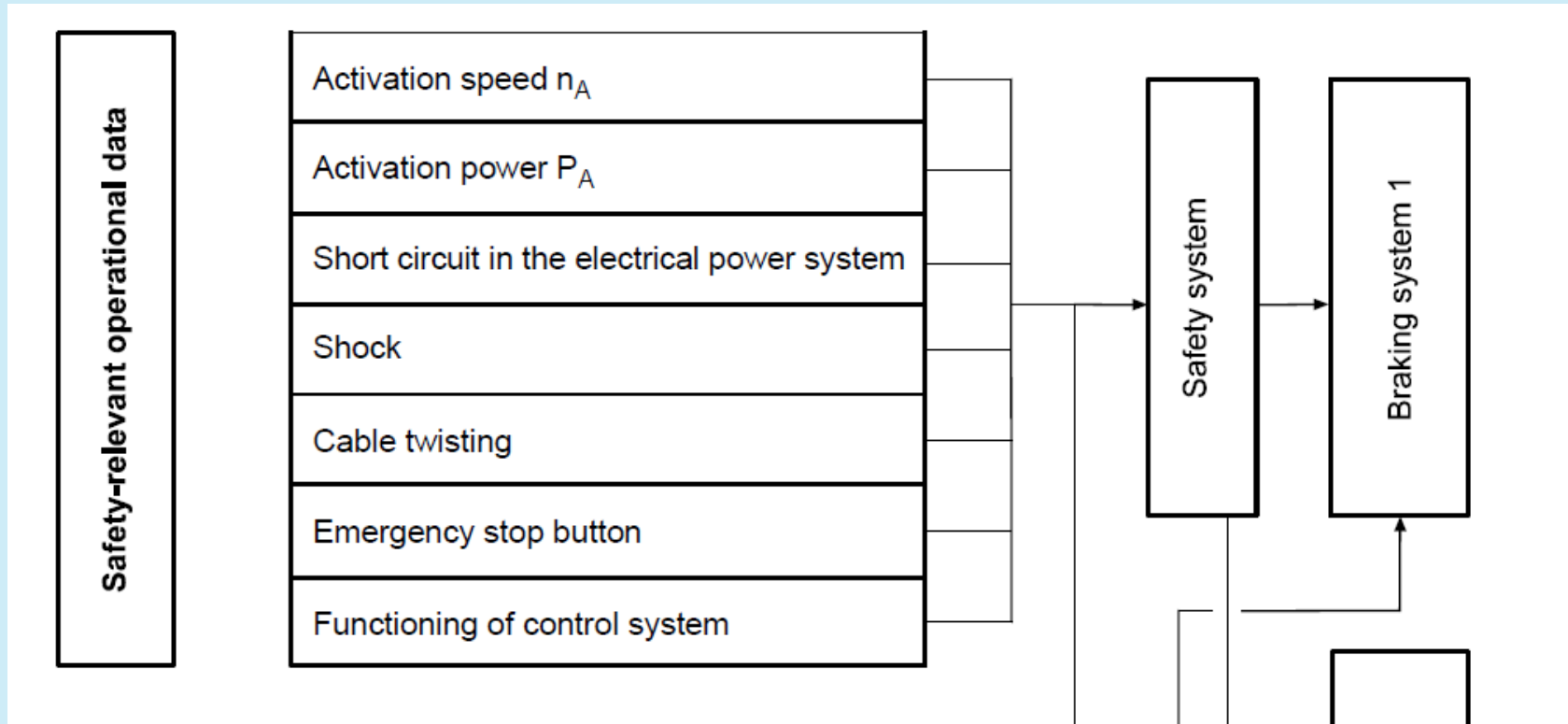


4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem

Beispiel 2: Shock Monitoring

- Überwachung der WEA auf Erschütterungen aufgrund von mechanischen Defekten
- Möglichst schnelle Abschaltung nach Ereignis
- Shock Monitoring in Sicherheitskette gefordert
- Traditionell mechanische Sensoren wie Federschalter oder Kugel-auf-Rohr
- Mit PCH-Engineering Entwicklung eines elektronischen Shock Monitors: Safety Shock Device (SSD)

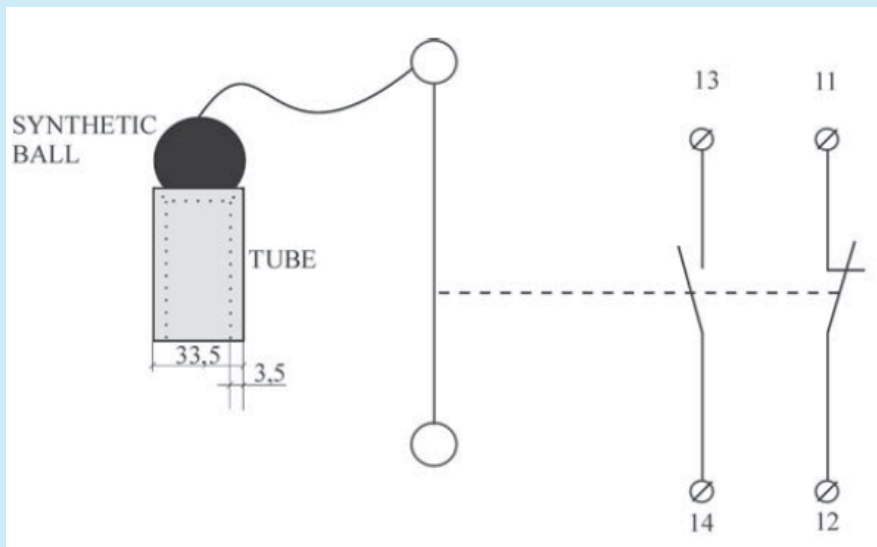
4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem



4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem

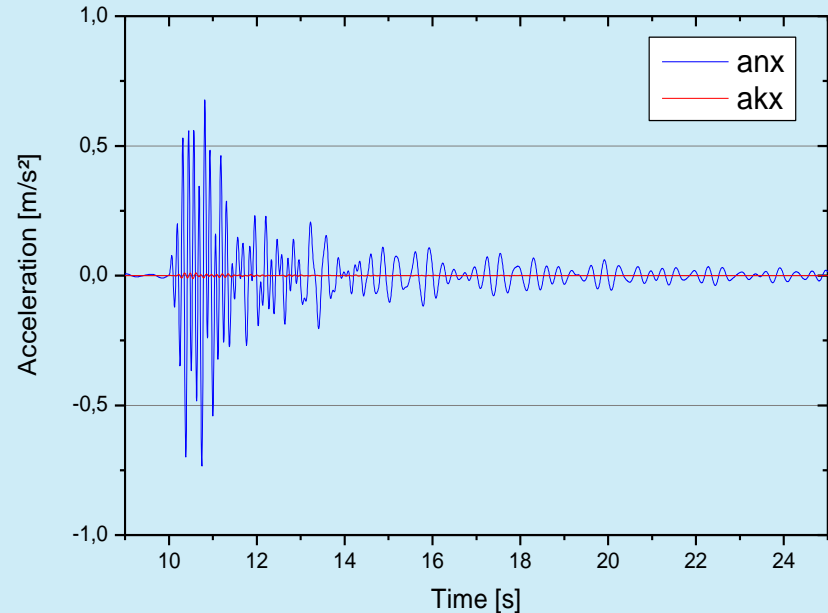
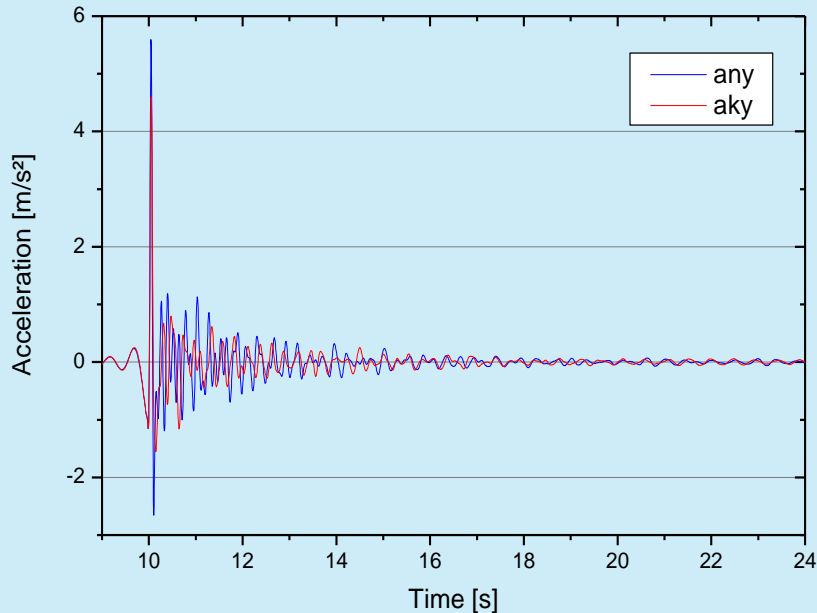
Vorgehensweise:

- Schocks wurden im WEA Modell nachgebildet
- Funktion des Kugelsensor wurde simuliert



4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem

Beispiel: Stoß in Querrichtung (y)



4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem

- Reaktionszeit der Kugel > 50 ms
- Analyse der After-Shock Dynamik
- SSD überwacht Frequenzen von $0.1 - 25$ Hz
- Reaktionszeit < 50 ms
- Zertifizierung durch den Germanischen Lloyd

4. Schwingungsüberwachung in Betriebsführung und Sicherheitssystem



PCH 1026 monitors with the SSD feature included have the above label visible on the cover of the box.