

Und es geht doch! Schwingungsdiagnose an Hauptlagern

Vortrag im Rahmen der 24. Windenergietage
am 10. - 12. November 2015 in Linstow

GfM Gesellschaft für Maschinendiagnose mbH
Köpenicker Straße 325, Haus 40
12555 Berlin
Tel 030 / 65 76 25 65
Fax 030 / 65 76 25 64

Vertriebsbüro Dortmund
Am Kämpen 22
44227 Dortmund
Tel 0231 / 77 64 723
Fax 0231 / 77 64 724

- **Wer ist die GfM**
- **Warum Schwingungen**
- **Kennwerte**
- **Frequenzselektiv**
- **Voraussetzungen / Randbedingungen**
- **Beispiele**
- **Umsetzung in PeakStore und Peakanalyzer**

Leistungen

- **Online-CMS „Peakanalyser“**
- **Überwachungsservice für Online-CMS**
- **Offline-Schwingungsdiagnose als Komplettdienstleistung**
- **Auswerteservice für Offline-Schwingungsmessungen von Dritten**
- **Drehmomentmessungen**
- **Torsionsschwingungsanalyse**
- **Videoendoskopie**
- **Seminare**

ergänzend

- **17 Mitarbeiter**
- **Sitz der Firma in Berlin**
- **Standorte in Dortmund, Lenzburg (CH)**
- **Einsatzorte weltweit**
- **ca. 1.000 Offline-Messungen pro Jahr**
- **ca. 340 Online-CMS, davon ca. 320 in der Überwachung**
- **ca. 50 Teilnehmer bei GfM-Seminaren pro Jahr**

Warum überwacht man ausgerechnet Schwingungen?



Schwingungen

- **enthalten viele Informationen**
- **breiten sich gut aus**
- **sind leicht zu messen**
- **sind gut zu interpretieren**

Piezoelektrische Beschleunigungssensoren

- **sind hinreichend genau**
- **decken einen großen Messbereich ab**
- **sind leicht zu installieren**
- **sind robust**
- **sind preiswert**
- **Kabellängen sind unproblematisch**

Werkzeuge

- Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit
- Effektivwert der Schwingbeschleunigung
- Spitzenwert der Schwingbeschleunigung
- spezielle Kennwerte

Crestfaktor, $K(t)$, Kurtosis

SPM, Spike Energy, BCU

SEE

Vorteil

- schnell
- keine Kinematik erforderlich

Nachteil

- unscharf
- Schadensart und -ort sind nicht zuverlässig bestimmbar

Werkzeuge

- **Spektrum**
- **Hüllkurvenspektrum**
- **Ordnungsspektrum**
- **Hüllkurvenordnungsspektrum**

Ordnungsanalyse

- **parallele Drehzahlmessung**
- **Resampling**

Vorteil

- **sehr zuverlässig**
- **Schadensart und -ort sind exakt bestimmbar**

Nachteil

- **zeitverzögert**
- **Kinematik erforderlich**
- **ein gewisses Maß an Diagnosewissen ist erforderlich**

Schwingungsdiagnose an Hauptlagern

- Diagnose an Rotorlagern und langsam drehenden Lagern gilt als umstritten



Kinematik

- Anzahl der Zähne
- Lagertyp / Überrollfrequenzen

Planetenradstufe:

Zähnezahl Hohlrad	101
Zähnezahl Planeten	41
Zähnezahl Sonne	19
Anzahl Planeten	3

Drehzahl Steg:	19,1624
rel. Drehzahl Planet:	47,2049
Drehzahl Sonne:	121,0256

Drehfr. Steg:	0,3194
rel. Drehfr. Planet:	0,7867
Drehfr. Sonne:	2,0171

Zahneingriff	32,2567
--------------	----------------

Überr. Hohlrad	0,9581
Überr. Planet a. 1Lb.	0,7867
Überr. Sonne	5,0932

Hauptlager	Bemerkung	N_WK	KÄFIG	WK-Spin	WK-Überroll.	AR	IR
SKF 240/630CA		28	0,145	1,711	3,423	4,065	4,878
FAG 240/630B.MB		30	0,145	1,711	3,423	4,356	5,225

Stirnradstufen:

langsame Stufe schnelle Stufe

Zähnezahl Rad:	94	89
Zähnezahl Ritzel:	27	25

Drehzahl Rad:	121,0256	421,3483
Drehzahl Ritzel:	421,3483	1500,0000

Drehfr. Rad:	2,0171	7,0225
Drehfr. Ritzel:	7,0225	25,0000

Zahneingriff	189,6067	625,0000
--------------	-----------------	-----------------

Mindestanforderungen an die Messtechnik

Sensoren

- **100 mV/g Frequenzbereich ab 0,5 Hz (3dB)**
in der Regel ausreichend für Messungen am Getriebe
- **500 mV/g Frequenzbereich ab 0,17 Hz (3dB)**
Rotordrehfrequenzen von ca. 0,25 – 0,31 Hz

Messzeit

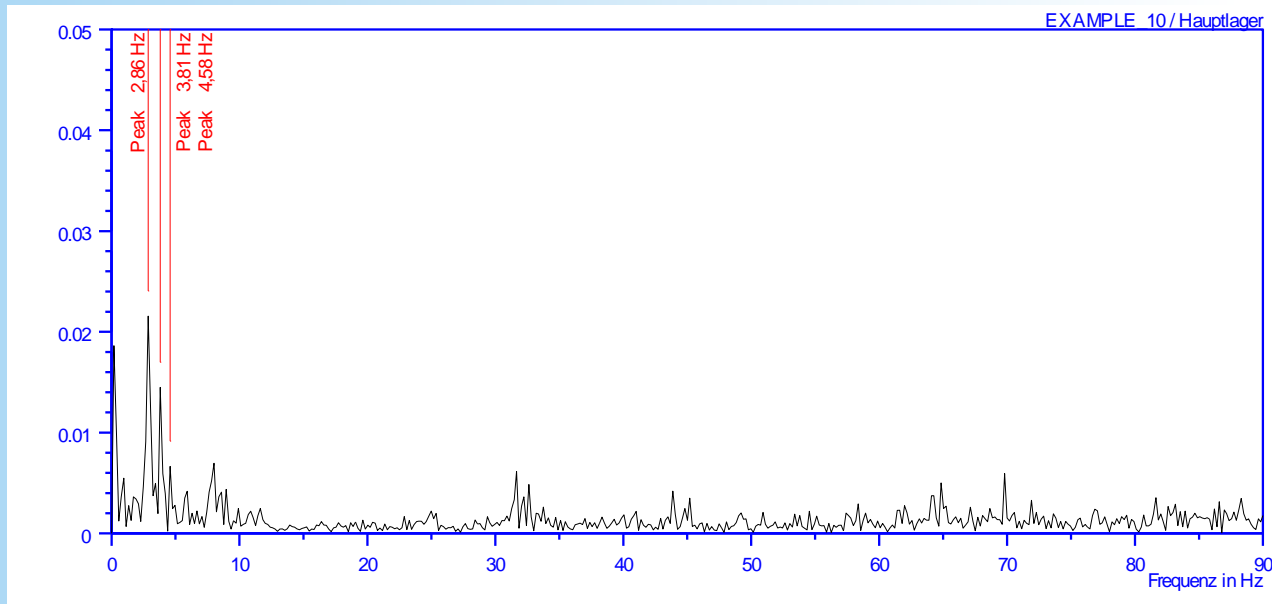
- **frei einstellbar (> 180 s)**

Drehzahl

- **Ordnungsanalyse**

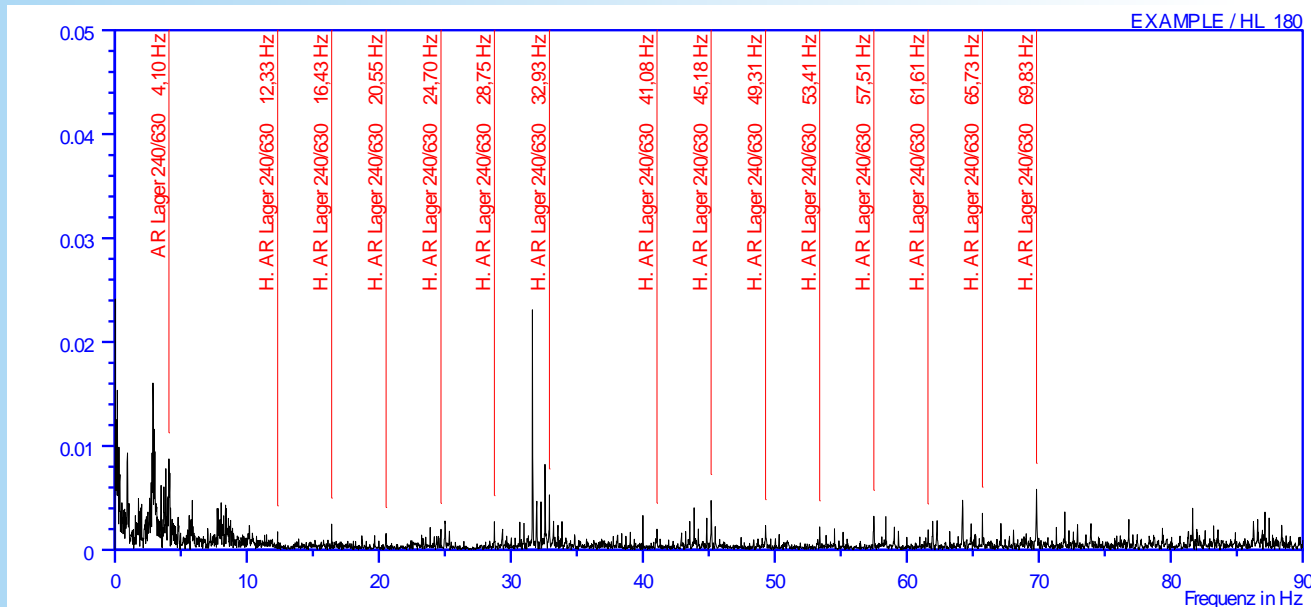
Rechenbeispiel Messzeit 10s:

- Annahme Rotordrehzahl ca. $19 \frac{1}{\text{min}}$ → Drehfrequenz ca. 0,31 Hz
- Rotorwelle dreht ca. 3 mal in gewählter Messzeit
- Unregelmäßigkeit auf Außenring von Wälzkörpern ca. 40 mal überrollt
- Nachteil:
 - Auflösung im Spektrum sehr gering (0,1 Hz)
 - Unregelmäßigkeit am Außenring an Lager 240/630 bei 4,1 Hz nicht nachweisbar



Rechenbeispiel Messzeit 180s:

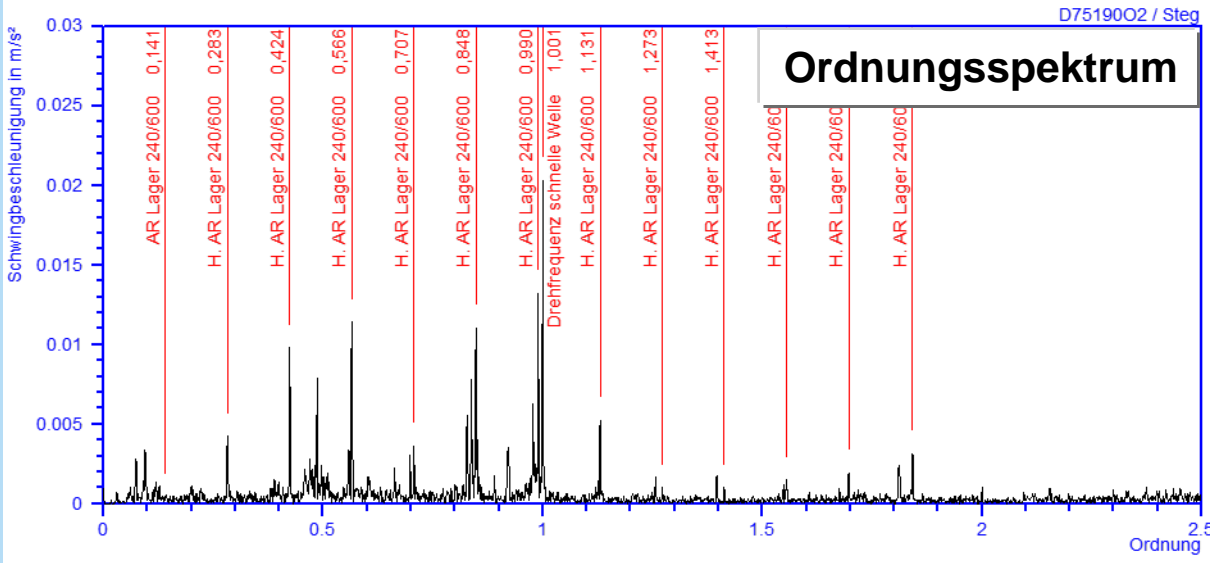
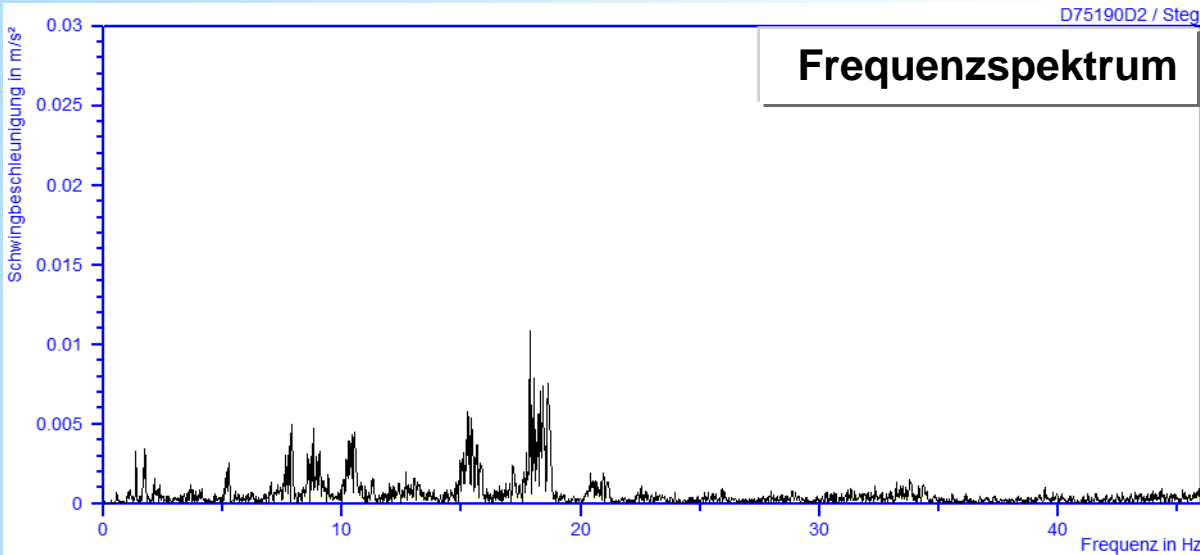
- Annahme Rotordrehzahl ca. $19 \frac{1}{\text{min}}$ → Drehfrequenz ca. 0,31 Hz
- Rotorwelle dreht ca. 56 mal in gewählter Messzeit
- Unregelmäßigkeit auf Außenring von Wälzkörpern ca. 756 mal überrollt
- Auflösung im Spektrum deutlich besser (0,005 Hz)
- Unregelmäßigkeit am Außenring an Lager 240/630 bei 4,1 Hz nachweisbar



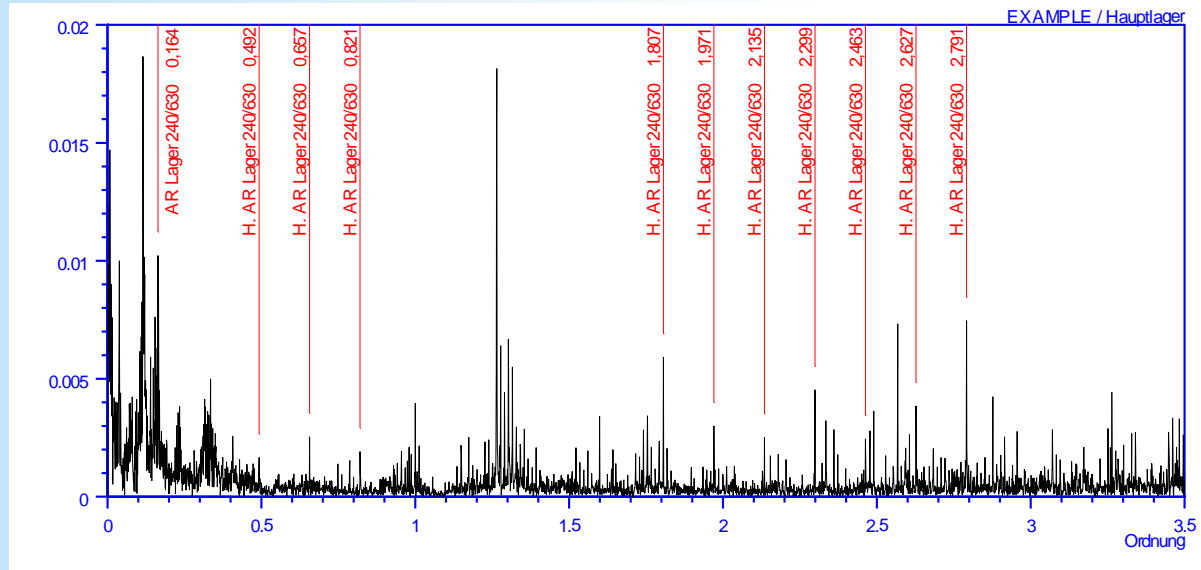
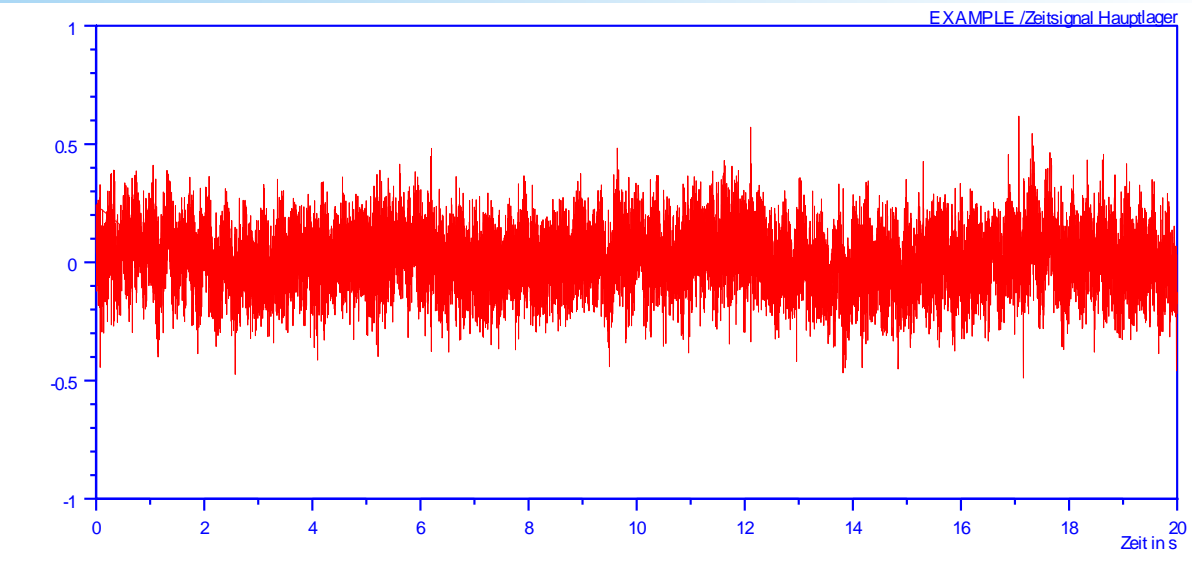
Ordnungsanalyse

- ist ein Werkzeug zur Diagnose an drehzahlvariablen Antrieben
- ist schon bei geringer Drehzahlwelligkeit unbedingt anzuwenden
- Frequenzanalyse ist nur für die Analyse zeitbasierter Ereignisse sinnvoll
- Ordnungsanalyse dagegen analysiert Ereignisse drehwinkelbasiert
- Bezug erfolgt in der Regel auf die Drehzahl einer Referenzwelle meist schnelle Welle

Beispiel drehzahlvariable Windenergieanlage, Schaden am Rotorlager



Beispiel I: Hauptlager an einer 600 kW Anlage

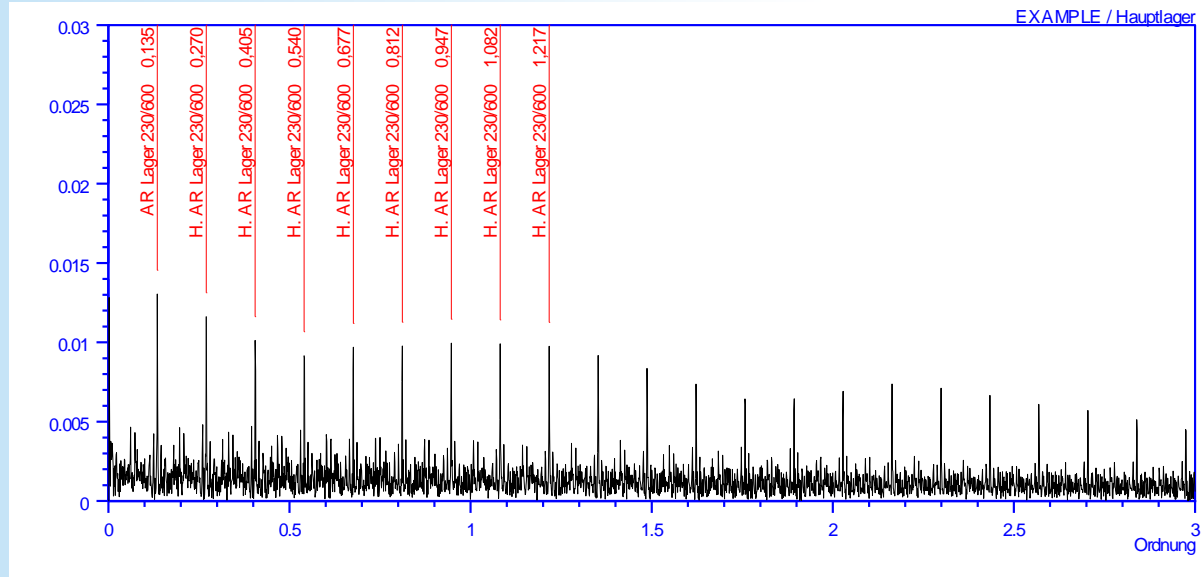
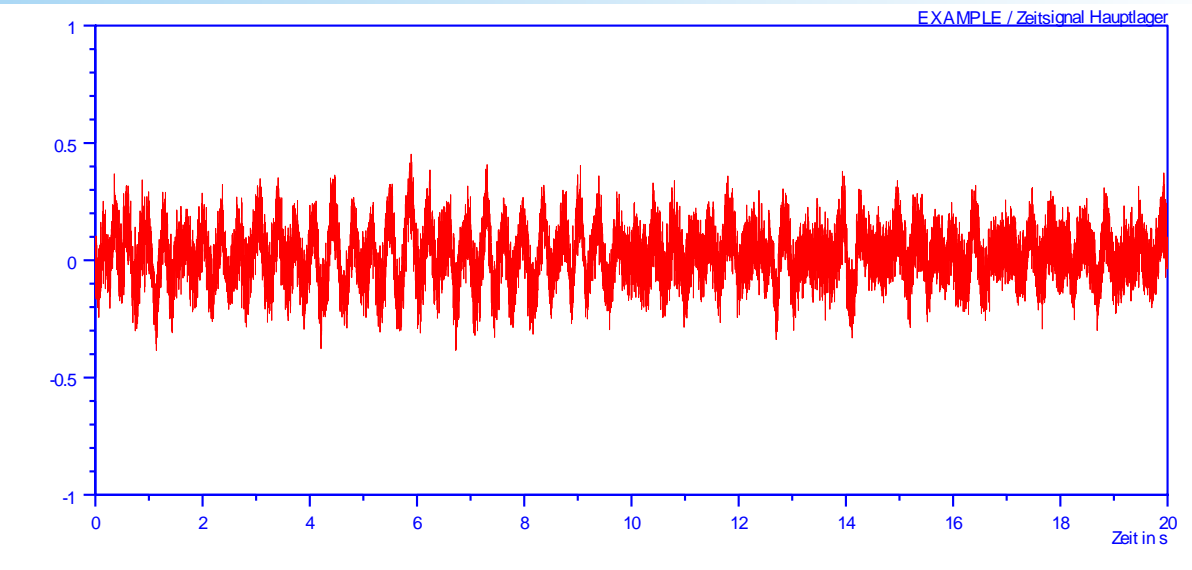


Beispiel I:



Bildquelle: Sachverständigenbüro Veltrup, Dipl. Ing. Martin Veltrup
Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger der IHK Oldenburg für
Windenergieanlagen

Beispiel II: Hauptlager an einer 1500 kW Anlage



Beispiel II:



Bildquelle: Availon GmbH, Valvo Park, Essener Straße 4, 22419 Hamburg

PeakStore

- **zeitsynchrone, 8-kanalige Datenerfassung**
- **parallele Erfassung eines Drehzahlsignals (ein Impuls pro Umdrehung der schnellen Welle, Erfassung mittels optischer oder induktiver Sensoren, z.B. an Schraubenköpfen oder Zahnrädern an der schnellsten Welle)**
- **Messzeit frei einstellbar (26 s, 52 s, 188 s oder unbestimmt)**



PeakStore

Ergebnis:

- **Signalerfassung ist sehr einfach**
- **Speicherung der Rohsignale (zeitbezogenes Signal)**
- **Ordnungsanalyse, durch Resampling**
- **Aufgrund der langen Messzeiten und Resampling , Berechnung von Ordnungs-Spektren mit hoher Auflösung**
→ **Diagnose an Rotorlagern möglich**
- **drehzahlunabhängige Festfrequenzen lassen sich weiterhin analysieren**
(aus dem originalen zeitbezogenen Signal durch direkte FFT)

Peakanalyser

Ergebnis:

- **getriggerte Signalerfassung (Drehzahl, Leistung)**
- **Ordnungsanalyse, durch Resampling**
- **Anwendung der DVS (Drive Vibration Significance)**
- **Aufgrund der langen Messzeiten und Resampling , Berechnung von Ordnungs-Spektren mit hoher Auflösung
→ Diagnose an Rotorlagern möglich**
- **Speicherung aller Spektren, Hüllkurvenspektren, Ordnungsspektren und Hüllkurvenordnungsspektren sowie aller Rohsignale**
- **drehzahlunabhängige Festfrequenzen lassen sich weiterhin analysieren
(aus dem originalen zeitbezogenen Signal durch direkte FFT)**

DVS - Drive Vibration Significance

- **Das DVS-Spektrum ermöglicht, signifikante Spektralanteile automatisch zu erkennen.**
- **Es wird auf alle Spektren, Hüllkurvenspektren, Ordnungsspektren und Hüllkurvenordnungsspektren angewandt.**
- **Der determinierte Bildungsalgorithmus ist experimentell abgesichert.**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

GfM Gesellschaft für Maschinendiagnose mbH
Köpenicker Straße 325, Haus 40
12555 Berlin
Tel 030 / 65 76 25 65
Fax 030 / 65 76 25 64
www.maschinendiagnose.de

Vertriebsbüro Dortmund
Am Kämpen 22
44227 Dortmund
Tel 0231 / 77 64 723
Fax 0231 / 77 64 724