

# Erläuterungen

## zum Maschinendiagnosebericht / Windenergieanlagen

Diese Erläuterungen zeigen die Herangehensweise bei der Messung, der Signalanalyse und der Anfertigung des Maschinendiagnose.

Sie sind zur erklärenden Weitergabe an die Auftraggeber bestimmt.

### 1 Messdatenerfassung

Die Messdatenerfassung erfolgt durch Mitarbeiter der GfM oder durch externe Auftraggeber, z.B. durch Sachverständige für Windenergieanlagen. Zum Einsatz kommen die achtkanaligen Datenerfassungsgeräte PeakStore oder PeakStore400.

PeakStore:

Die Schwingungsdaten werden achtkanalig zunächst mit einer Abtastrate von 50 kHz/Kanal (Auflösung = 16 bit, sample & hold, Bandbreite 22 kHz) mit einer Messzeit von ca. 26,2 s oder 52,4 s erfasst. Aus diesem Signal wird durch Gleichrichtung die Hüllkurve gebildet. Beide, das Originalsignal und die Hüllkurve, werden auf 2 kHz tiefpassgefiltert und auf 10 kHz reduziert und mit 262144 Werten je Kanal abgespeichert. Gleichzeitig wird die Drehzahl als Zeitsignal mit einer Abtastrate von 10 kHz erfasst.

PeakStore400:

Die Schwingungsdaten werden achtkanalig mit einer Abtastrate von 50 kHz/Kanal (Auflösung = 16 bit, sample & hold, Bandbreite 22 kHz) erfasst. Es stehen Messzeiten von ca. 26,2 s, 52,4 s, 188,7 s und eine unbestimmte Messzeit zur Verfügung. Das Originalsignal wird abgespeichert. Gleichzeitig wird die Drehzahl als Zeitsignal mit einer Abtastrate von 5 kHz erfasst.

Zur Datenerfassung wird die Schwingung des Antriebs an verschiedenen Messpunkten in mehreren Gruppen achtkanalig erfasst. Zunächst werden die acht Beschleunigungsaufnehmer mittels Haftmagneten am Antrieb plziert, und es wird eine erste Messung ausgelöst. Während der Messung wird über das Display des PeakStore oder PeakStore400 die Drehzahl kontrolliert und es wird geprüft, ob der Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit der acht Beschleunigungsaufnehmer in plausiblen Wertebereichen liegen. Die Daten werden gespeichert, und es wird eine zweite ggf. dritte Messung in gleicher Weise mit veränderter Aufnehmeranordnung durchgeführt.

Alternativ zu den Beschleunigungsaufnehmern können induktive Wegaufnehmer angeschlossen werden. Dies ist für die Analyse an besonders langsam laufenden Wälzlagern sinnvoll.

Nach der Datenerfassung liegen alle Daten als Zeitsignale vor.

### 2 Messdatenanalyse

Die Zeitdaten der insgesamt erfassten Kanäle werden einer Spektralanalyse unterzogen. Dazu werden zunächst das Spektrum und das Hüllkurvenspektrum des Signals gebildet. Unter Verwendung des Drehzahlsignals werden das Ordnungsspektrum und das Hüllkurvenordnungsspektrum berechnet.

Bei der Bildung des Spektrums und des Hüllkurvenspektrums wird ein zeitbezogenes Schwingungssignal einer Fouriertransformation unterzogen. Die Einheit der Abszisse des Spektrums und des Hüllkurvenspektrums ist daher die Frequenz in Hz. Bei der Ordnungsanalyse wird das zeitbezogene Signal unter Verwendung des Drehzahlkanals in ein umdrehungsbezogenes Schwingungssignal umgerechnet. Dieses wird dann einer Fouriertransformation unterzogen. Die Einheit der Abszisse des Ordnungsspektrums und des Hüllkurvenordnungsspektrums ist daher die Ordnung. Unter Ordnung verstehen wir die Vielfachen der Referenzfrequenz. Diese ist in der Regel die Drehfrequenz der schnellsten Welle.

Zur Auswertung stehen nun von allen Messpunkten Spektren, Hüllkurvenspektren, Ordnungsspektren und Hüllkurvenordnungsspektren zur Verfügung.

### 3 Berechnung der Kinematik

Zur Analyse ist es erforderlich, die Kinematik des Antriebs, also die Eingriffs- und Überrollverhältnisse des Antriebs zu kennen. An Basisdaten werden benötigt:

- die Drehzahl (sofern sie nicht mit erfasst wurde und der Antrieb während der Messung absolut drehzahlkonstant läuft),
- sämtliche Zähnezahlen bei Getrieben,
- sämtliche Wälzlagerarten und das Fabrikat für Getriebe, Generatoren und Rotorlager,
- ein Antriebsschema, aus dem die Anordnung aller Antriebselemente hervorgeht (Zusammenbauzeichnung), sowie
- eine Information über Fremderreger (Motoren, Pumpen, Lüfter usw.).

Aus diesen Daten werden alle kinematischen Frequenzen bzw. Ordnungen berechnet und in einer Kinematiktafel zusammengefasst. Diese beinhaltet:

- alle Drehfrequenzen,
- alle Zahneingriffsfrequenzen,
- die Überrollfrequenzen auf Zahnrädern bei Planetenstufen sowie
- für alle Wälzlager
  - die Überrollfrequenz eines Punktes auf dem Außenring,
  - die Überrollfrequenz eines Punktes auf dem Innenring,
  - die Überrollfrequenz eines Punktes auf dem Wälzkörper und
  - die Käfigrotationsfrequenz.

### 4 Analyse

Alle berechneten Spektren, Hüllkurvenspektren, Ordnungsspektren und Hüllkurvenordnungsspektren werden nun anhand der Kinematik auf für Unregelmäßigkeiten typische Frequenzmuster hin untersucht.

## 5 Erstellung des Maschinendiagnoseberichts

Zuletzt werden alle gefundenen Erscheinungen nachvollziehbar im Maschinendiagnosebericht dargestellt.

Der Abschnitt „Diagnoseergebnisse“ enthält eine Zusammenfassung der gefundenen Unregelmäßigkeiten in tabellarischer Form. Er gliedert sich in die verschiedenen Kategorien:

- gefundene Unregelmäßigkeit
- Trend
- Empfehlung
- Ausfallwahrscheinlichkeit für ein Jahr, abgekürzt  $P_{\tau < 1a}$

„gefundene Unregelmäßigkeit“ gibt die mechanische Ursache an, die aus dem jeweiligen Signal herausgelesen werden kann.

„Trend“ gibt den Vergleich zur Referenzmessung an.

„Empfehlung“ beschreibt weitere erforderliche Maßnahmen, sofern Verfügbarkeitseinschränkungen vermutet und somit einen Handlungsbedarf gesehen werden.

„Ausfallwahrscheinlichkeit für ein Jahr ( $P_{\tau < 1a}$ )“ ist ein subjektiver, allein auf Erfahrungswerten basierender Versuch der Quantifizierung von Unregelmäßigkeiten. Angegeben wird die geschätzte Wahrscheinlichkeit dafür, dass die anhand der Schwingungsdiagnose vermutete Unregelmäßigkeit in weniger als 12 Monaten zum Ausfall führt. Für die Ausfallwahrscheinlichkeit werden vier Stufen angegeben:

(keine Angabe)	kein Unregelmäßigkeit diagnostizierbar
< 5 %	minimale Unregelmäßigkeit nachweisbar, in der Regel kein Handlungsbedarf
20 %	eine von fünf derartigen Unregelmäßigkeiten führt innerhalb eines Jahres zum Ausfall
50 %	eine von zwei derartigen Unregelmäßigkeiten führt innerhalb eines Jahres zum Ausfall

Im Abschnitt „Spektren“ sind alle Spektren dargestellt, die für das Verständnis der in der Interpretation getroffenen Feststellungen erforderlich sind.

Im Abschnitt „Kinematik“ findet man die Kinematiktabelle.

**Auf die Darstellung aller Spektren wird der Übersicht halber verzichtet. Auf Wunsch liefern wir gern Abbildungen zu allen berechneten Spektren, Hüllkurvenspektren, Ordnungsspektren und Hüllkurvenordnungsspektren oder aber die Daten auf CD-ROM.**

## 6 Abkürzungen / Erläuterungen

anschlagende Teile .....	Hinweise darauf, dass Teile auf der sich drehenden Welle einmal pro Umdrehung anschlagen, siehe auch Passungsprobleme oder Lagersitzprobleme
AR .....	Überrollfrequenz einer Unregelmäßigkeit auf dem Außenring
Drehfr. ....	Drehfrequenz
Drehfr. Sonne .....	Drehfrequenz Sonne
Drehfr. Steg .....	Drehfrequenz Steg
GfM Nr.....	GfM-Auftragsnummer
Hüllkurvenordnungsspektrum.....	Hüllkurvenspektrum des drehwinkelbezogenen Signals
Hüllkurvenspektrum.....	Spektrum der Hüllkurve eines Signals, hier sind stoßförmige Erscheinungen nachweisbar
IR .....	Überrollfrequenz einer Unregelmäßigkeit auf dem Innenring
KÄFIG .....	Käfigrotationsfrequenz
Lagersitzprobleme .....	Hinweise darauf, dass ein Wälzlager im Sitz arbeitet, siehe auch Lagersitzprobleme oder anschlagende Teile
lokale Flankenformabweichung .....	Hinweise auf Unregelmäßigkeiten auf einer oder mehreren Zahnflanken eines Zahnrads
N_WK .....	Anzahl Wälzkörper
Ordnungsspektrum.....	Amplitudenspektrum des drehwinkelbezogenen Signals
$P_{\tau < 1a}$ .....	Ausfallwahrscheinlichkeit für ein Jahr
Passungsprobleme .....	Hinweise darauf, dass ein Wälzlager im Sitz arbeitet, siehe auch Passungsprobleme oder anschlagende Teile
Referenzbericht Nr. ....	GfM-Auftragsnummer der Referenzmessung, mit dem die aktuellen Messergebnisse verglichen werden (nur bei Wiederholungsmessungen)
Referenzmessung .....	vorangegangene Messung (nur bei Wiederholungsmessungen) = Vormessung
rel. Drehfr. Planet .....	relative Drehfrequenz des Planetenrades zum Steg
Spektrum.....	Amplitudenspektrum eines Signals, hier sind sinusförmige Erscheinungen nachweisbar
Überr. Hohlrad .....	Überrollfrequenz eines Punktes auf dem Hohlrad
Überr. Planet a.1Lb. ....	Überrollfrequenz eines Punktes auf dem Planetenrad auf einer Laufbahn (Sonne oder Hohlrad)
Überr. Sonne .....	Überrollfrequenz eines Punktes auf dem Sonnenrad
umlaufende Flankenformabweichung .....	Hinweise auf Unregelmäßigkeiten auf allen Zahnflanken eines Zahnrads
WK-Spin. ....	Wälzkörperspinfrequenz
WK-Überr. ....	Überrollfrequenz einer Wälzkörperunregelmäßigkeit auf beiden Laufbahnen

## 7 Interpretieren von Spektren, Hüllkurvenspektren, Ordnungsspektren und Hüllkurvenordnungsspektren

In den Spektren und Hüllkurvenspektrum ist auf der Ordinate die physikalische Messgröße, meist Schwingbeschleunigung  $a$  in  $\text{m/s}^2$ , aufgetragen und auf der Abszisse die Frequenz in Hz. An die für die Interpretation wesentlichen Spektrallinien werden in unseren Grafiken noch einmal die jeweilige Frequenz und - sofern möglich - eine Erläuterung geschrieben.

Beispiel: „12,5 Hz - Drehfr.“ oder „187,6 Hz - ZE“.

In den Ordnungsspektren und Hüllkurvenordnungsspektren ist auf der Ordinate ebenfalls die physikalische Messgröße aufgetragen. Die Abszisse dagegen wird hier mit der physikalischen Einheit „Ordnung“ bezeichnet. Die Einheit der Ordnung ist „1“ und wird nicht mitgeschrieben. Die Ordnung ist die auf eine Referenzfrequenz normierte Frequenz. Welche Frequenz als Referenzfrequenz herangezogen wurde, ist der Kinematiktabelle zu entnehmen. Korrekterweise müssten die Kommentare an den Spektrallinien nun anstatt „Dreh**frequenz**“ „Dreh**ordnung**“ heißen. Da dies für unsere Kunden, die mit der Ordnungsanalyse nicht so vertraut sind, das Verständnis noch weiter erschwert, bleiben wir auch in den Ordnungsspektren und Hüllkurvenordnungsspektren bei der gewohnten Bezeichnung „Dreh**frequenz**“. Für diese kleine Unkorrektheit bitten wir um Verständnis.

GfM Gesellschaft für Maschinendiagnose mbH  
Berlin, im August 2009