

Schärferes Condition Monitoring durch unscharfe Verfahren

**Vortrag im Rahmen der
25. Windenergietage
vom 8. bis zum 10. November 2016 in Potsdam**

**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**

- 1 Wer ist die GfM**
- 2 Warum Schwingungen**
- 3 Kenngrößenüberwachung**
- 4 Frequenzselektive Überwachung**
- 5 Ordnungsanalyse**
- 6 Automatisierung**
- 7 Unscharfe Analyse**
- 8 Resümee**

- **Online-CMS „Peakanalyzer“**
- **Überwachungsservice für Online-CMS**
- **Offline-Diagnosesystem „PeakStore5xx“**
- **Offline-Schwingungsdiagnose als Komplettdienstleistung**
- **Auswerteservice für Offline-Schwingungsmessungen von Dritten**
- **Drehmomentanalysen**
- **Rotorblattlagerdiagnose an WEAs**
- **Videoendoskopie**
- **Seminare**

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 Kenngrößen
 - Crestfaktor, $K(t)$, Kurtosis*
 - SPM, Spike Energy, BCU*
 - SEE*

Vorteil

- schnell
- keine Kinematik erforderlich

Nachteil

- unscharf
- Schadensart und -ort sind nicht zuverlässig bestimmbar

Werkzeuge

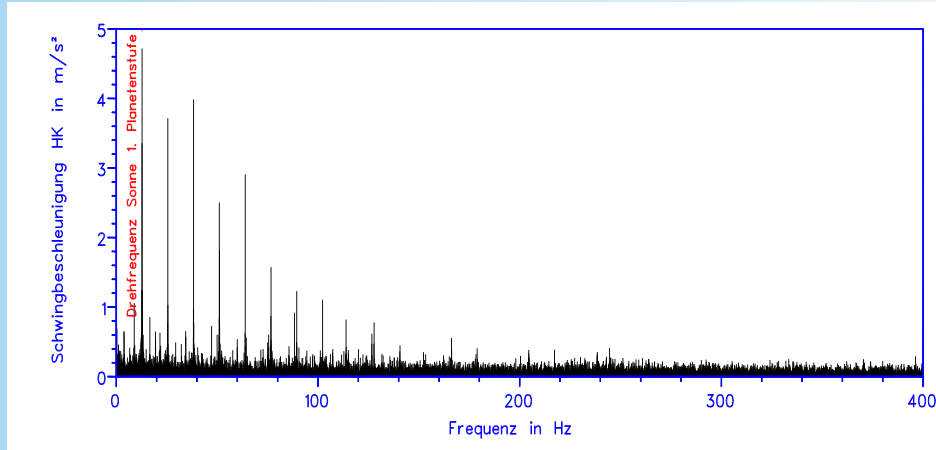
- **Spektrum**
- **Hüllkurvenspektrum**
- **Ordnungsspektrum**
- **Hüllkurvenordnungsspektrum**

Vorteil

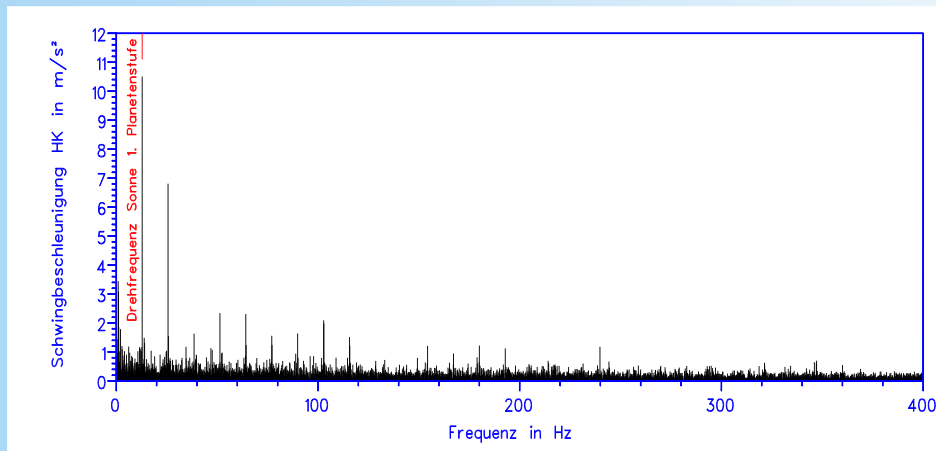
- **sehr zuverlässig**
- **Schadensart und -ort sind exakt bestimmbar**

Nachteil

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

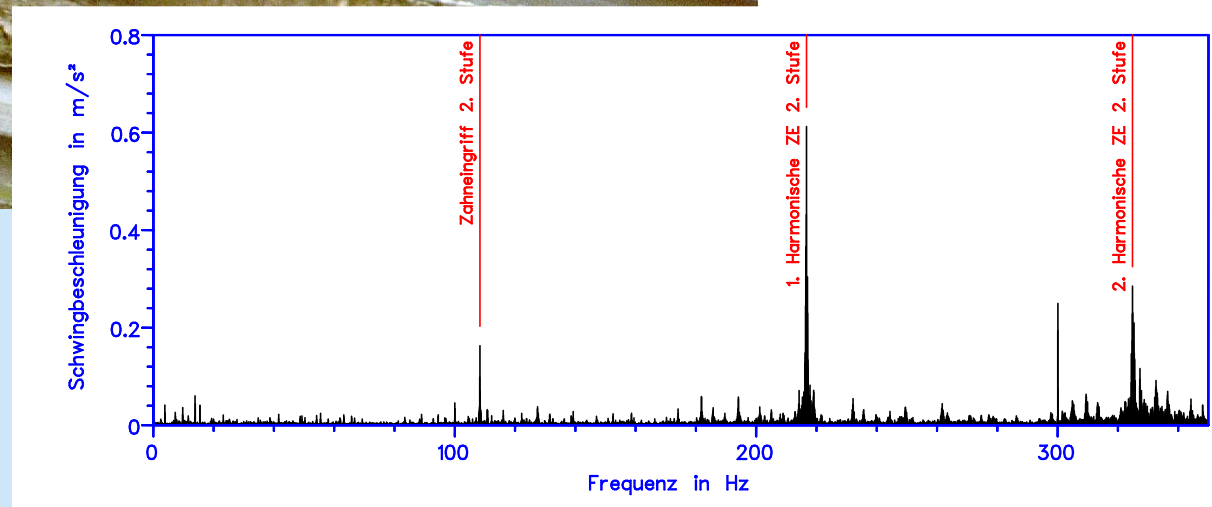
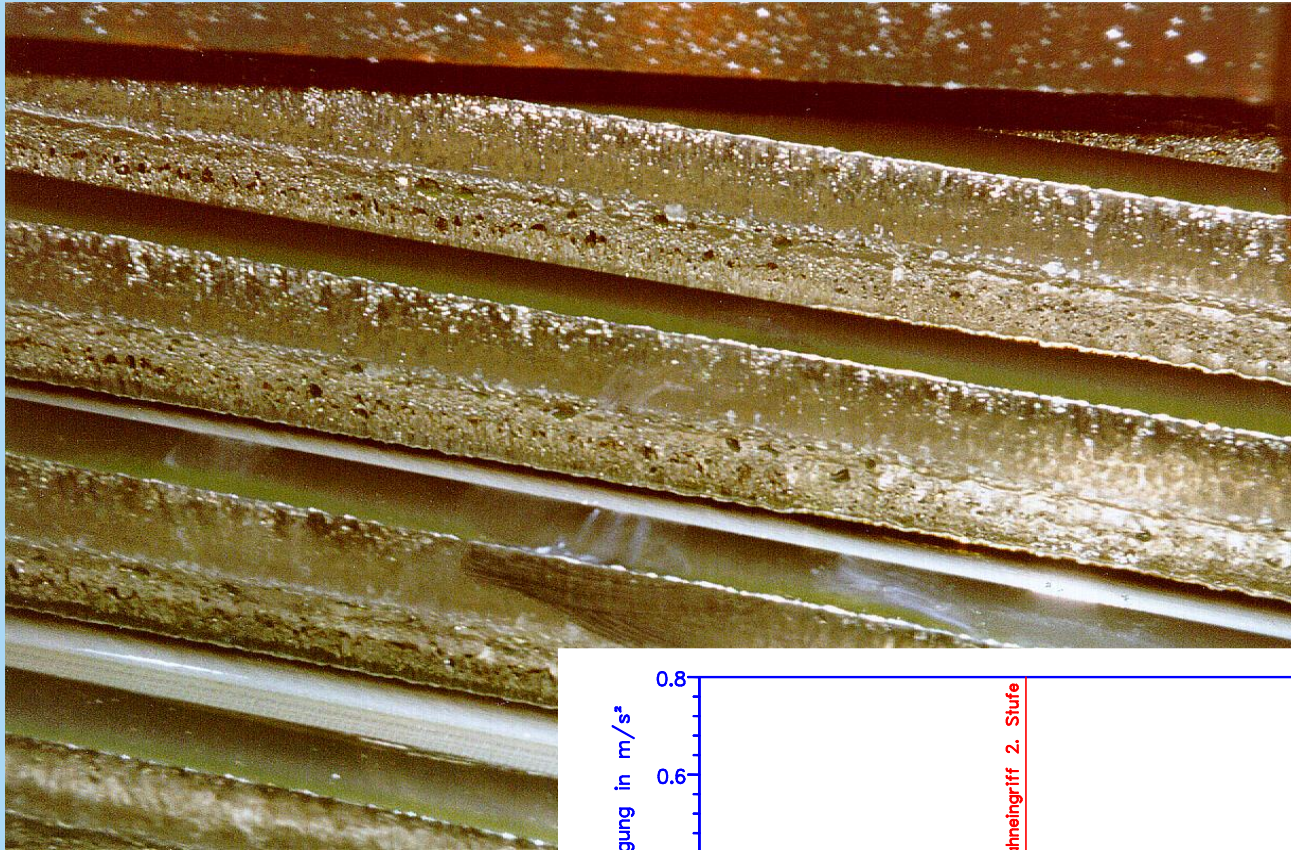


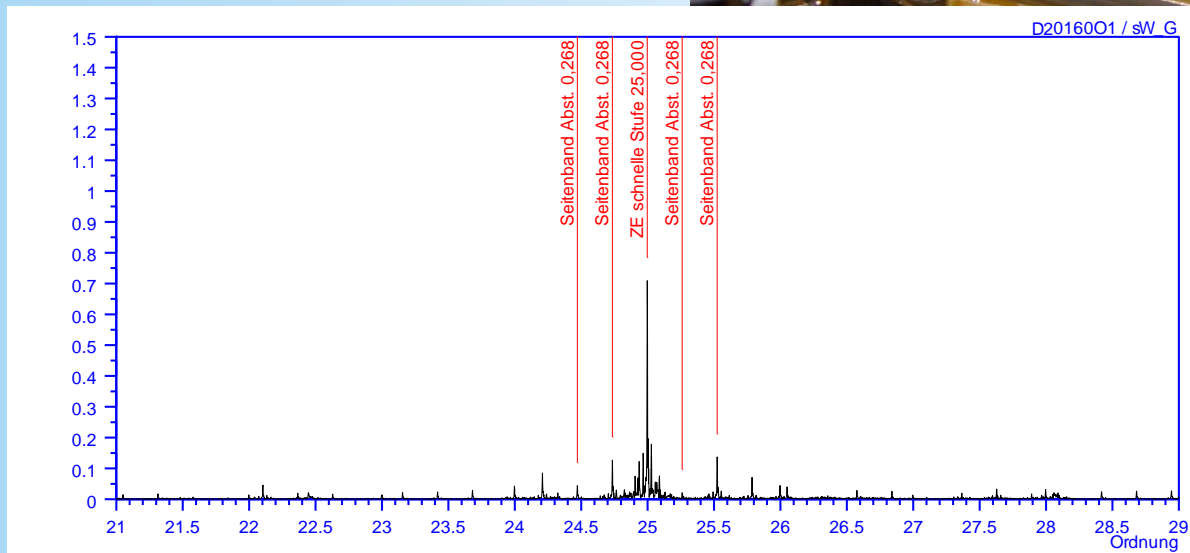
Hüllkurvenspektrum, gemessen am kupplungsseitigen Lager

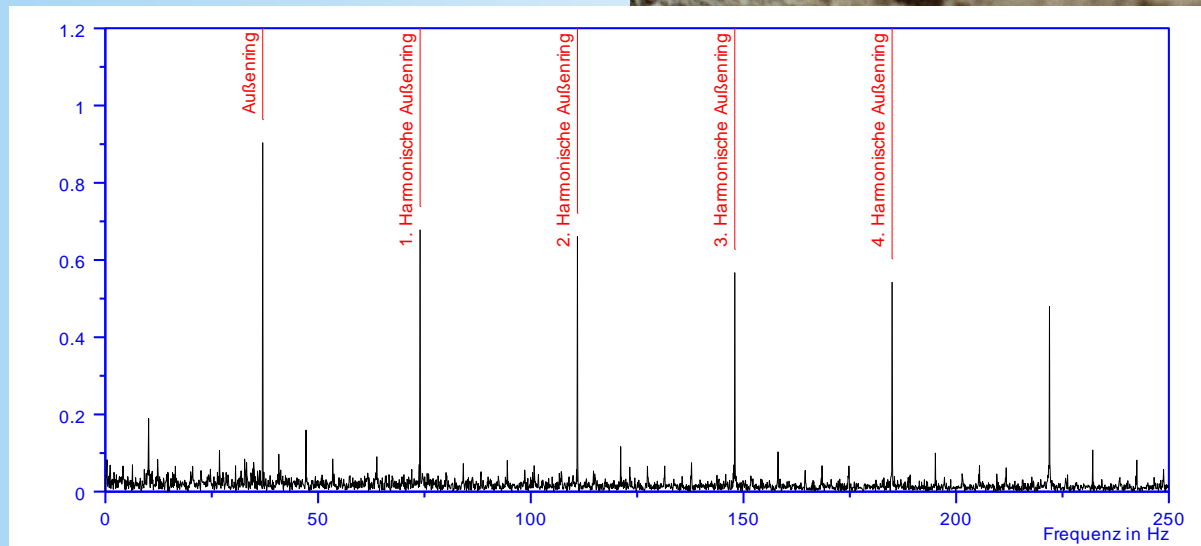


Hüllkurvenspektrum, gemessen am kupplungsseitigen Lager, 30 Tage später

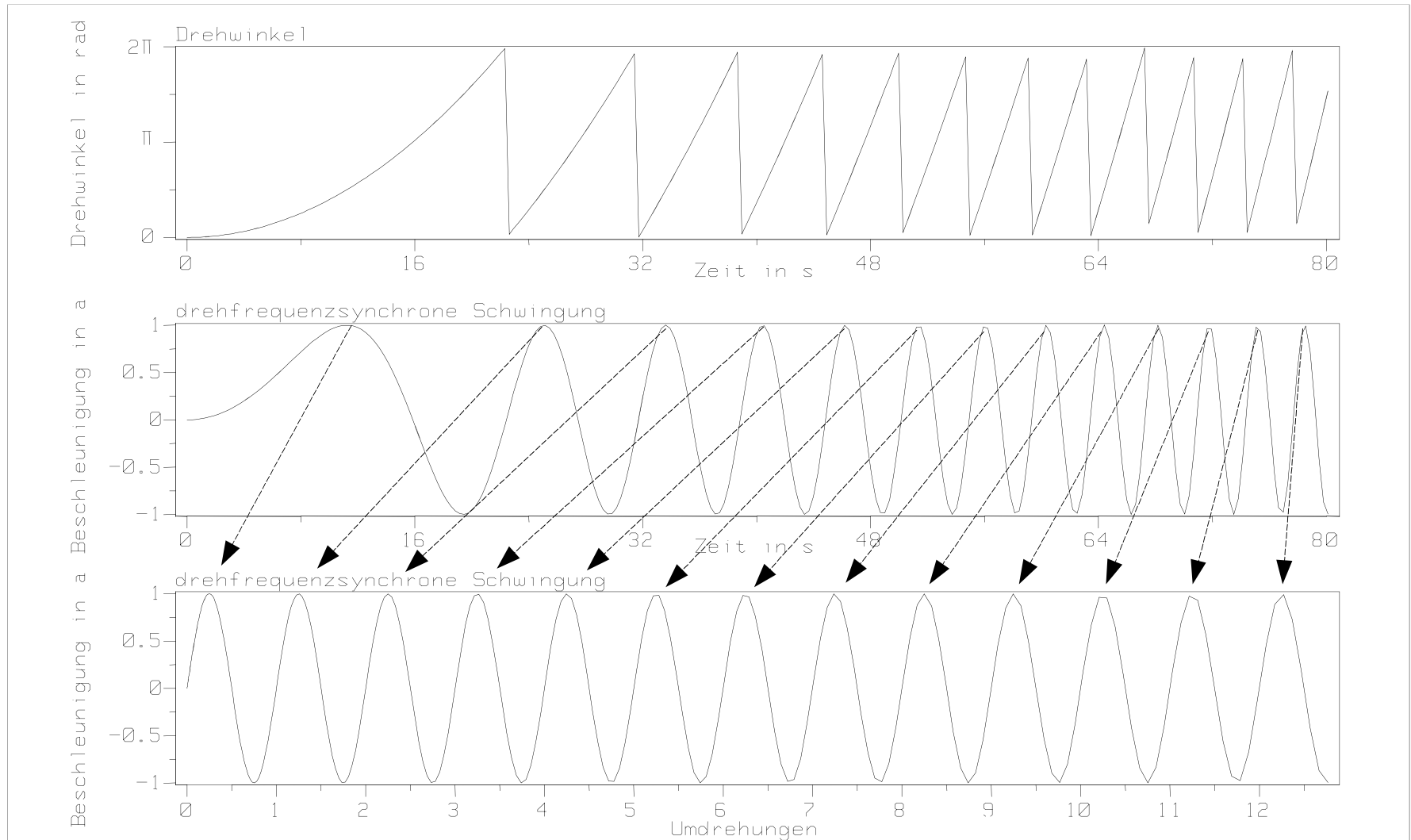


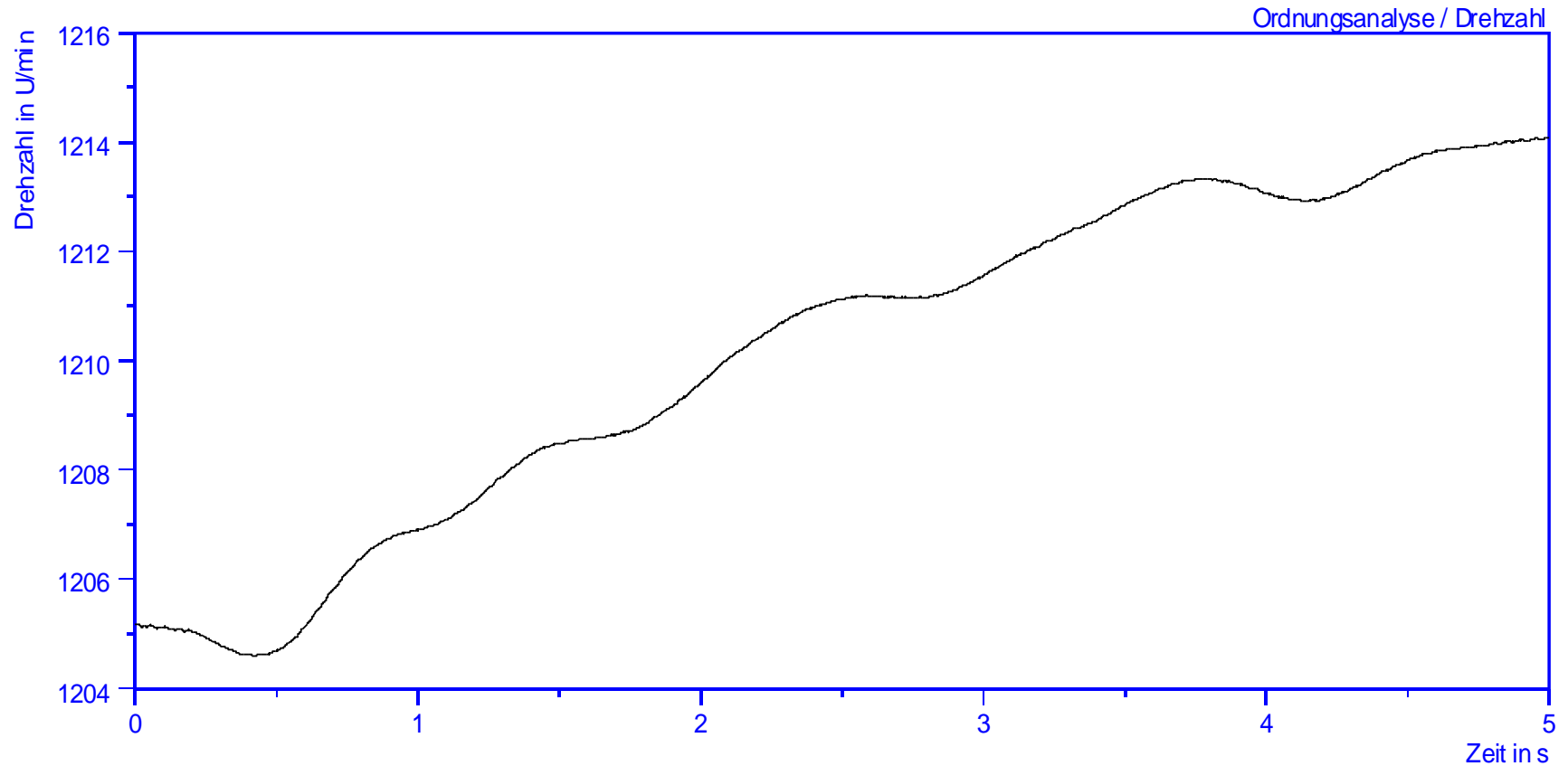


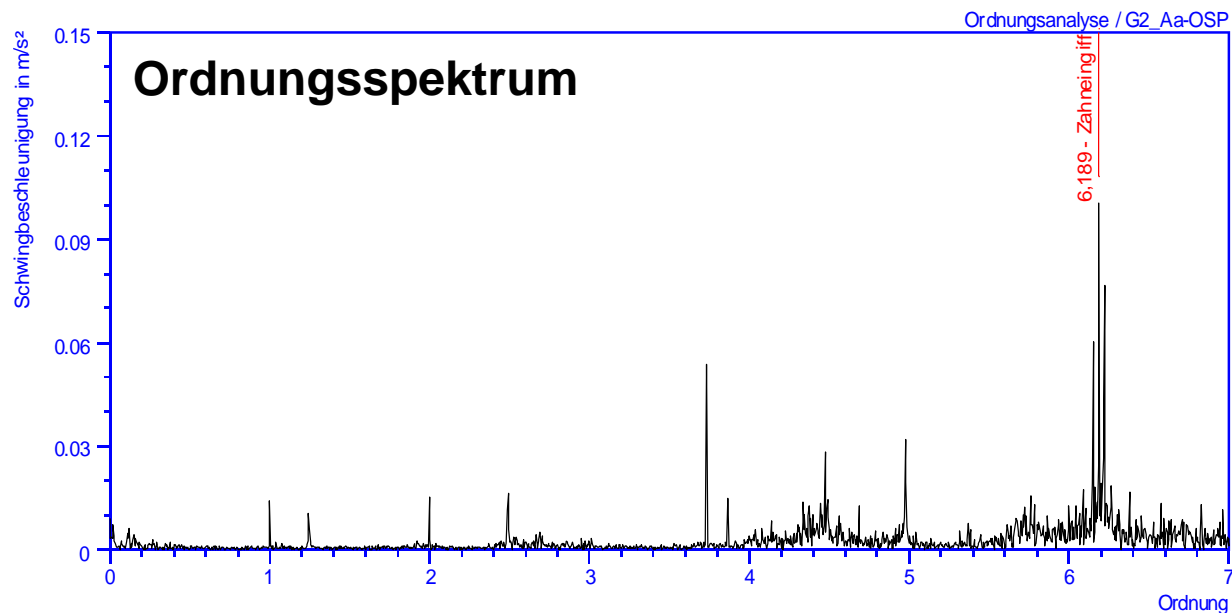
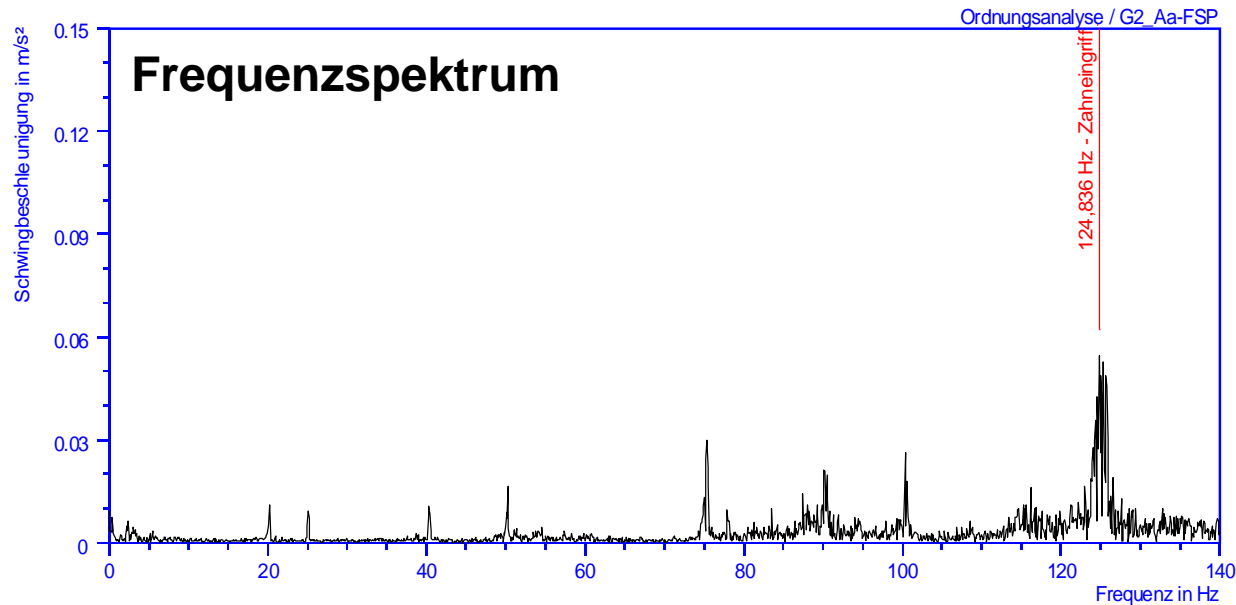


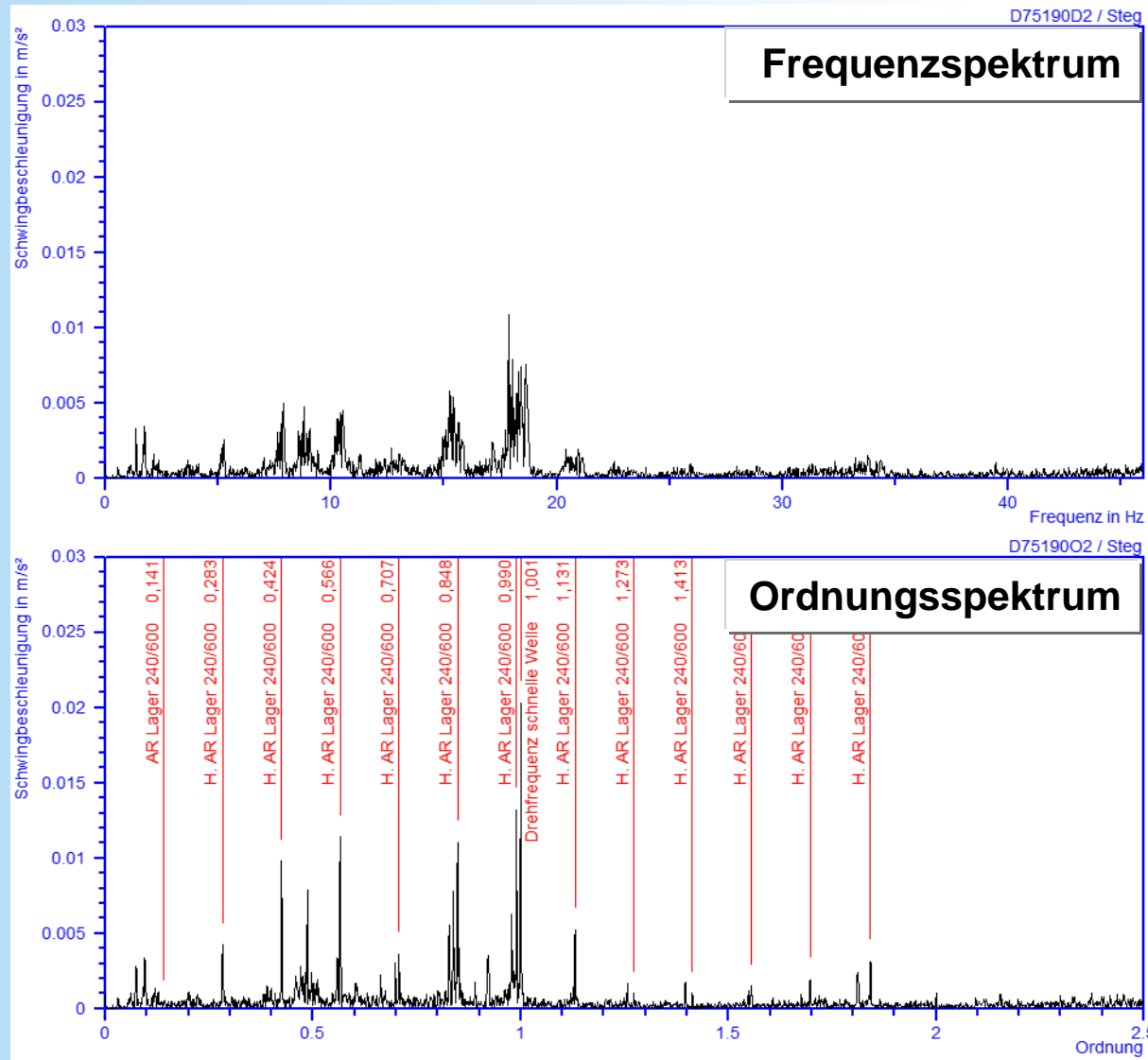


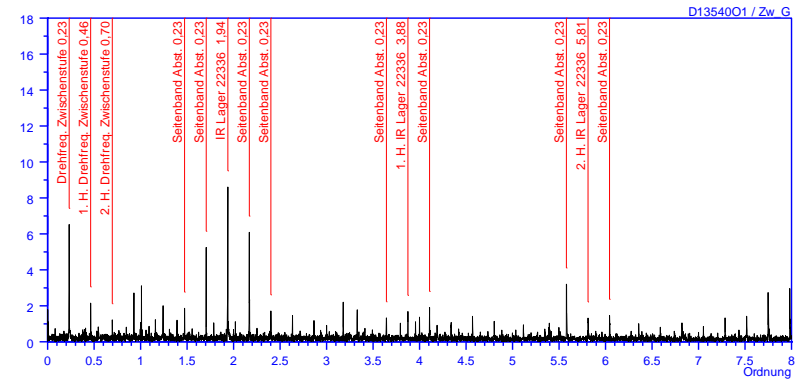
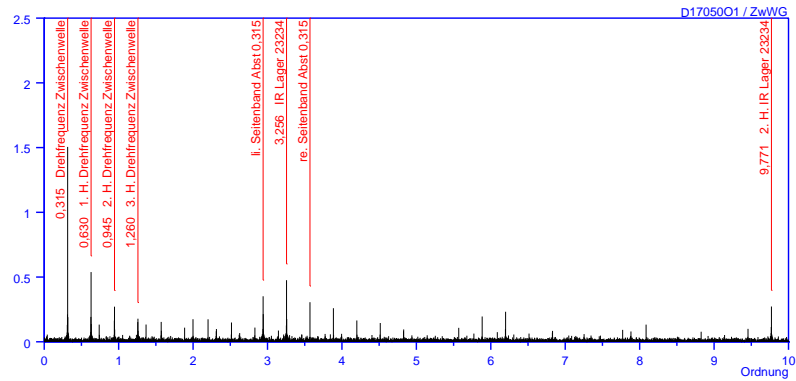
- **ist ein Werkzeug zur Diagnose an drehzahlvariablen Antrieben**
- **ist schon bei geringer Drehzahlwelligkeit unbedingt anzuwenden**
- **Frequenzanalyse ist nur für die Analyse zeitbasierter Ereignisse sinnvoll**
- **Ordnungsanalyse dagegen analysiert Ereignisse drehwinkelbasiert**
- **Bezug erfolgt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











Fotos: Stöckl, M.: Verzahnungs- und Lagerschäden an Industriegeräten. Vortrag in Berlin, 8. November 2005

Reine Amplitudenüberwachung ist schwierig

- Das Diagnosegerät erfasst nur ein Abbild der erzeugten Schwingungen.
- Einflüsse auf den Schalltransport werden nicht beachtet.
 - Schwingfreudigkeit der Gehäusestruktur, Dämpfung
 - Einfluss der Fundamentierung
 - Resonanzen
 - Grenzübergänge

Zusätzlich bei Wälzlagern:

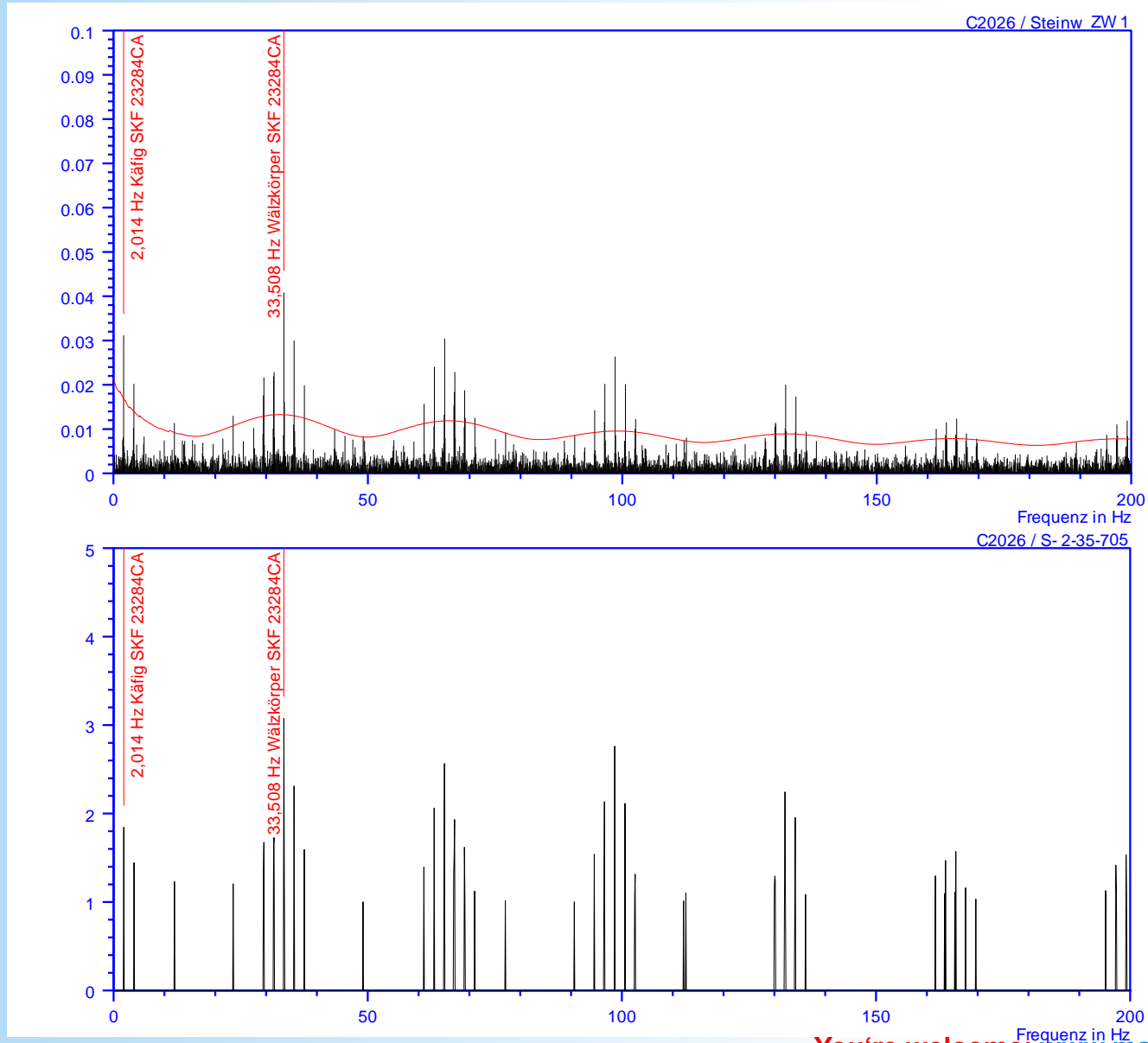
- Die Amplitude des originalen Stoßimpulses ist abhängig vom Ort der Schädigung, also von
 - der Lage zum Lastzonenmaximum und
 - der Relativbewegung zur Lastzone.
- Stoßimpulse werden durch Faltung übertragen. Die Qualität der angeregten Eigenfrequenzen hat Einfluss auf die Amplituden im Hüllkurvenspektrum.

VDI-Richtlinie 3832:

Körperschallmessungen zur Zustandsbeurteilung von Wälzlagern in Maschinen und Anlagen

- **Richtlinie aus dem Jahr 2007, 2013**
- **nennt Kennwerte und Kennfunktionen zur Beurteilung des Wälzlagerzustands und beschreibt deren Verwendung**
- **beschreibt Bewertungsstufen des Schadensausmaßes**

- **Erfahrungen eines guten Diagnostikers**
- **komplexe Bewertung von Spektrum und Hüllkurvenspektrum (bei Wälzlagerschäden)**
- **Trendbewertung**
- **Nutzung bezogener Größen**
 - manuelle Definition von Grenzwerten
 - Lernphase zur Ermittlung des Referenzzustands
 - DVS-Analyse



- 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.

Die im DVS-Spektrum oder DVS-Hüllkurvenspektrum auffälligen Peaks werden anschließend anhand der Kinematik des Antriebs auf für Schäden typische Muster untersucht. Dem liegt die jeweilige kinematische Frequenz zugrunde, die über einen einstellbaren Toleranzbereich auf ein Frequenzband erweitert werden kann. Dies ist erforderlich, um

- einerseits Rechenungenauigkeiten auszugleichen sowie
- andererseits gerade bei Wälzlagern Schlupf zu kompensieren.

Unscharfe Analyse

Beispiel: Hauptlager an einer 600 kW WEA

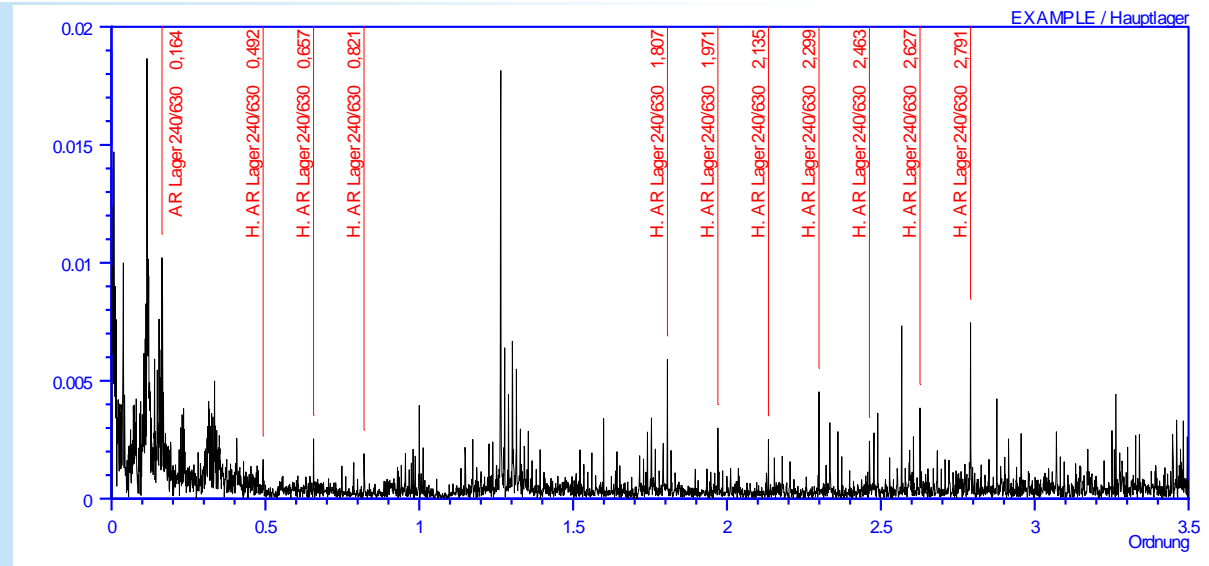
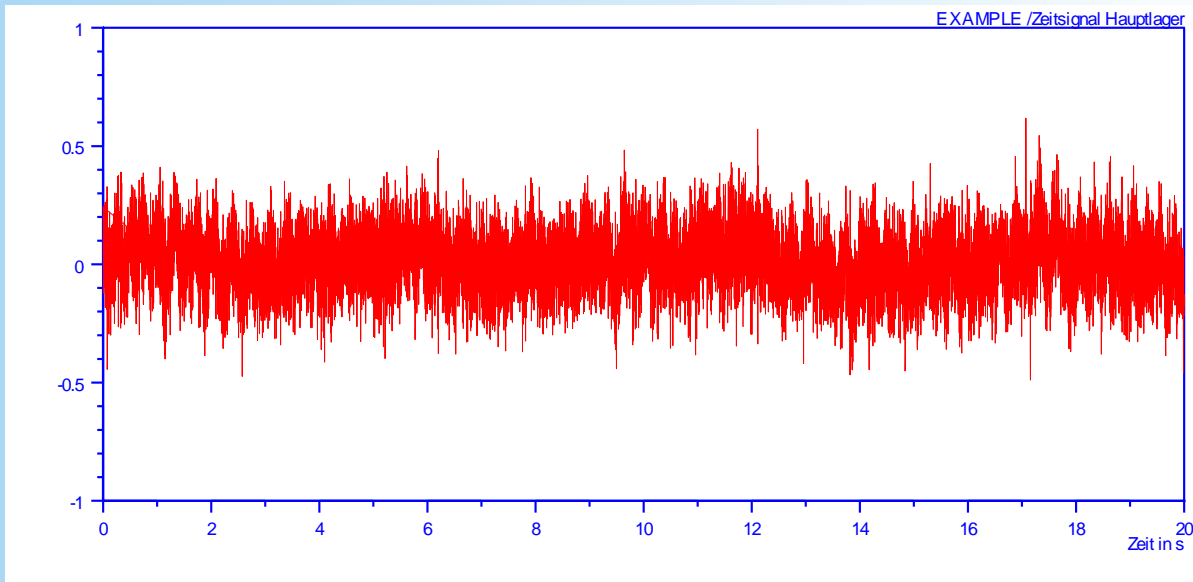
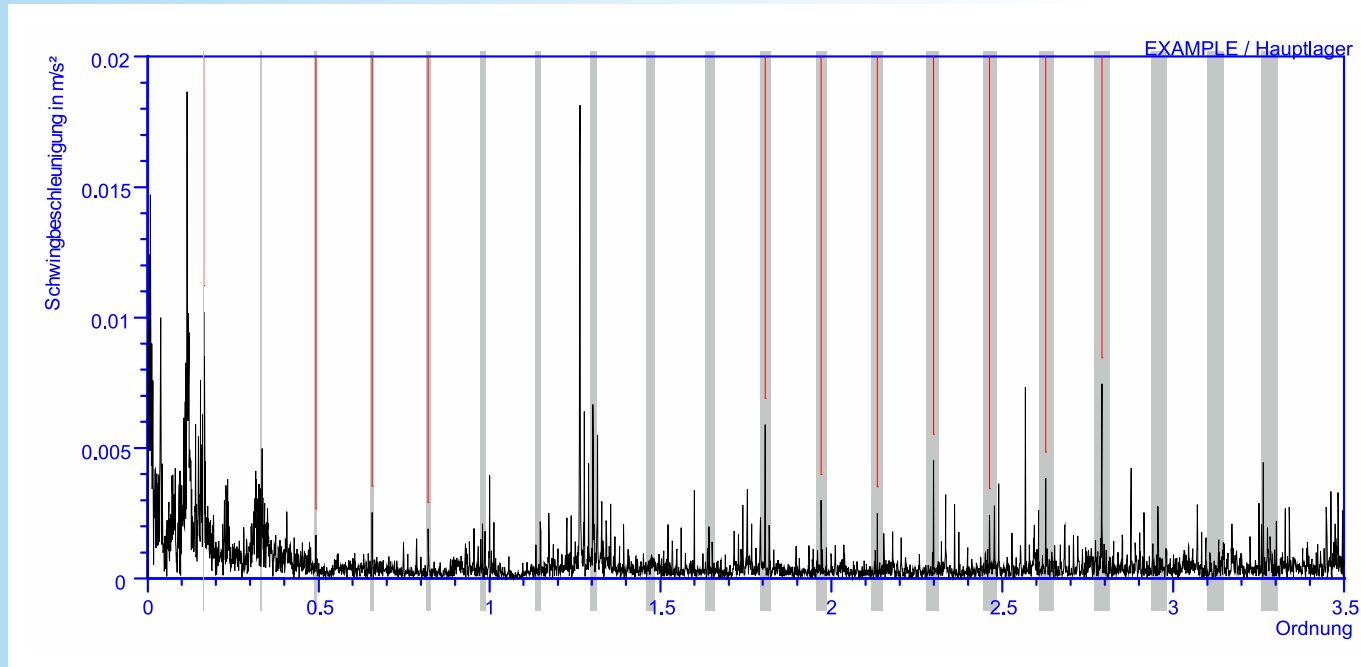




Foto: Dipl.-Ing. Martin Veltrup



- **Kinematische Frequenzen, Harmonische und Seitenbänder**
- **k aus n**
- **Toleranzen**
- **Ausschlussverfahren**

Leistungsfähige Hardware ermöglicht heute die Implementierung umfangreicher Algorithmen zur komplexen Bewertung vieler Spektralanteile. Mit der Ordnungsanalyse, der DVS-Analyse und nun auch der unscharfen Analyse wird die automatische Arbeitsweise des Peakanalyzers weiter verbessert und damit der Personalaufwand weiter verringert.

Die erfolgreiche Automatisierung unter Beibehaltung einer mindestens so hohen Diagnosezuverlässigkeit wie bei Diagnose durch den Menschen ist die Voraussetzung für die Industrie-4.0-Fähigkeit von Condition Monitoring. Übergeordnete Systeme können unmittelbar auf digitale Meldungen des Diagnosesystems zugreifen.

Online: Peakanalyzer

- vollautomatische Tiefendiagnose
- leistungsstarke Ordnungsanalyse
- DVS-Analyse
- unscharfe Analyse
- keine Lernphase



Offline: PeakStore

- 4, 8 oder 12 Schwingungssensoren
- 1 oder 2 Drehzahlsensoren
- App zur Fernsteuerung via Smartphone



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

You're welcome: www.maschinendiagnose.de