Dr. Rainer Wirth

# Automatisiertes Condition Monitoring an Kranen und Walzwerken

4.OPMC Masters Condition Monitoring
16.-17. März 2023 in Duisburg

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

# Gliederung


1 Wer ist die GfM Gesellschaft für Maschinendiagnose?

2 Was ist Condition Monitoring?

3 Warum Schwingungen?

4 Wie funktioniert Condition Monitoring?

5 Automatisierung

6 Applikationsbeispiel Kran

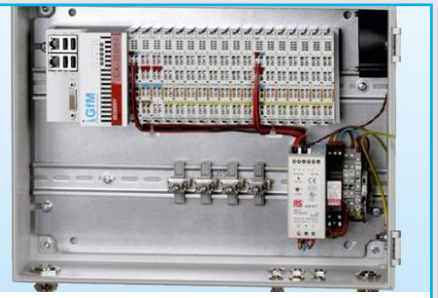
7 Condition Monitoring und Instandhaltung 4.0

8 Peakanalyzer Schnittstellen

9 Resümee

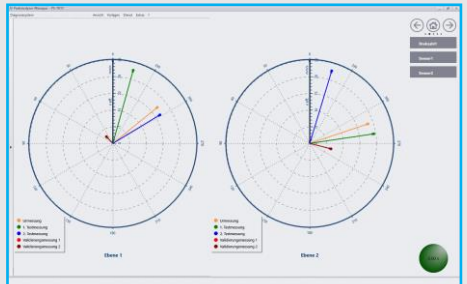
# Wer ist die GfM?

## Systeme, Services und Seminare



Peakanalyzer

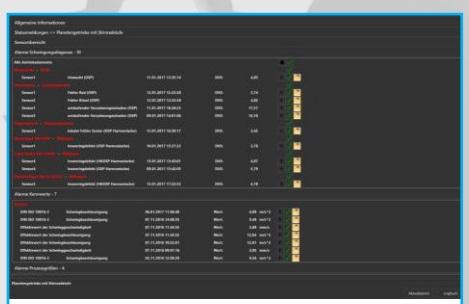
PeakStore5



Betriebswuchten

Termine
- 25.-26. April 2023
- 26.-27. September 2023

Grundlagenseminar Condition Monitoring an Getrieben und Wälzlagern



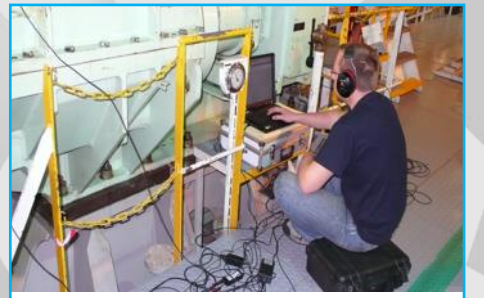
Überwachung für Online CMS

mobile Schwingungsdiagnose

Getriebeinspektion und Videoendoskopie

Termine
- 27. April 2023

Produktschulung Peakanalyzer



Troubleshooting - Fehlersuche

Drehmomentmessung

Termine
- 28. September 2023

Produktschulung PeakStore5

einige Bilder: pixabay.com



You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

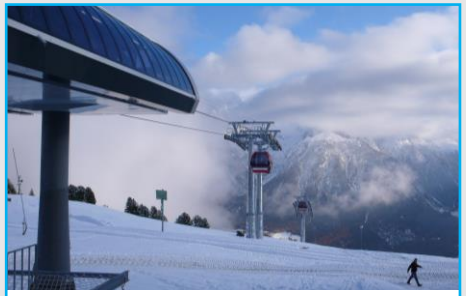
# Wer ist die GfM?

## Anwendungen in der Industrie

Krane

Schiffsentlader

Walzwerke



Seilbahnen

Schleusen, Hebewerke und Aufzüge

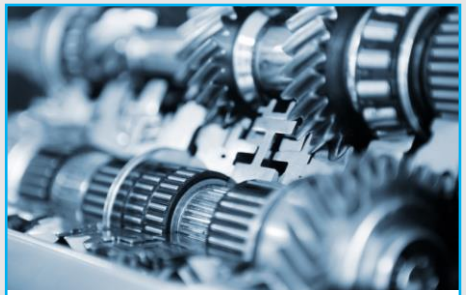
Tagebaugroßgeräte

Windenergieanlagen

Papierherstellung

Mühlen

Hubbrücken und Klappbrücken



Werkzeugmaschinen

einige Bilder: pixabay.com

# Wer ist die GfM?

## Vorzüge von Condition Monitoring

Gewinnsteigerung

Schutz von Mensch und Maschine

**Was haben Sie davon?**

Der Umwelt zuliebe

Condition Monitoring & Industrie 4.0

Bilder: fotolia.com

# Was ist Condition Monitoring?

## Unregelmäßigkeiten mit Hilfe von Schwingungen erkennen

- an Wellen
- an Zahnrädern
- an Wälzlagern
- sonstige mechanische Phänomene

→ prädiktive Instandhaltung

## Condition Monitoring gibt's schon lange

- 1960er Jahre: Kenngrößenüberwachung
- 1980er Jahre: Frequenzanalyse im Labormodus
- 1990er Jahre: erste automatisierte Systeme
- heute: vollautomatisches Condition Monitoring mit hoher Diagnosezuverlässigkeit

Bild oben: Hippmann, N.: Messung und Analyse dynamischer Größen zur Technischen Diagnostik an Maschinenanlagen. 1984



You're welcome: www.maschinendiagnose.de

# Warum nutzt 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

## Induktive Wegsensoren

- für Wälzlager an Kran- und Katzfahrwerken

## Schallemissionssensoren

- für Konverterlager in Stahlwerken

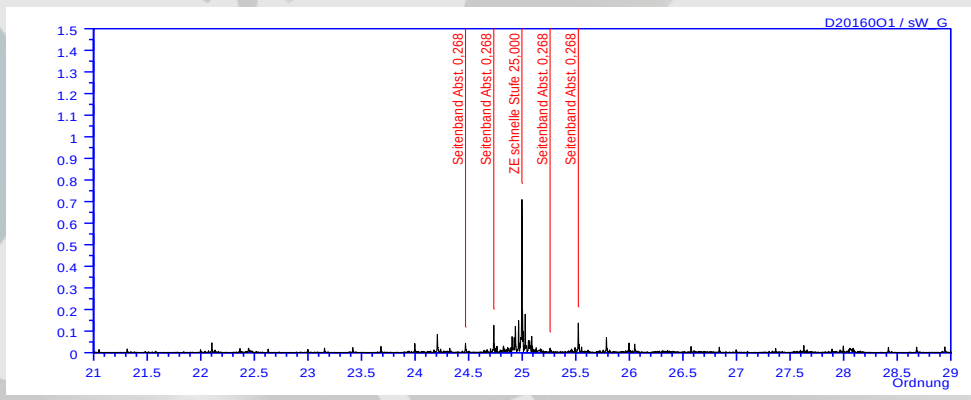


You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Wie funktioniert Condition Monitoring?

Schaden

messbares Schwingungssignal




**Spektrum**
**Hüllkurvenspektrum**
**Ordnungsspektrum**
**Hüllkurvenordnungsspektrum**
**Schallemissionsspektrum**

**Diagnose-aussage**

You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Kenngrößenüberwachung

## Werkzeuge

- **Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit**
- **Effektivwert der Schwingbeschleunigung**
- **Spitzenwert der Schwingbeschleunigung**
- **Effektivwert der Schallemission**
- **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**



You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Frequenzselektive Überwachung

## Werkzeuge

- Spektrum
- Hüllkurvenspektrum
- Ordnungsspektrum
- Hüllkurvenordnungsspektrum
- Schallemissionsspektrum

## *Vorteil*

- sehr zuverlässig
- Schadensart und -ort sind exakt bestimmbar
- Instandhaltung genauer planbar

## *Weitere Voraussetzungen*

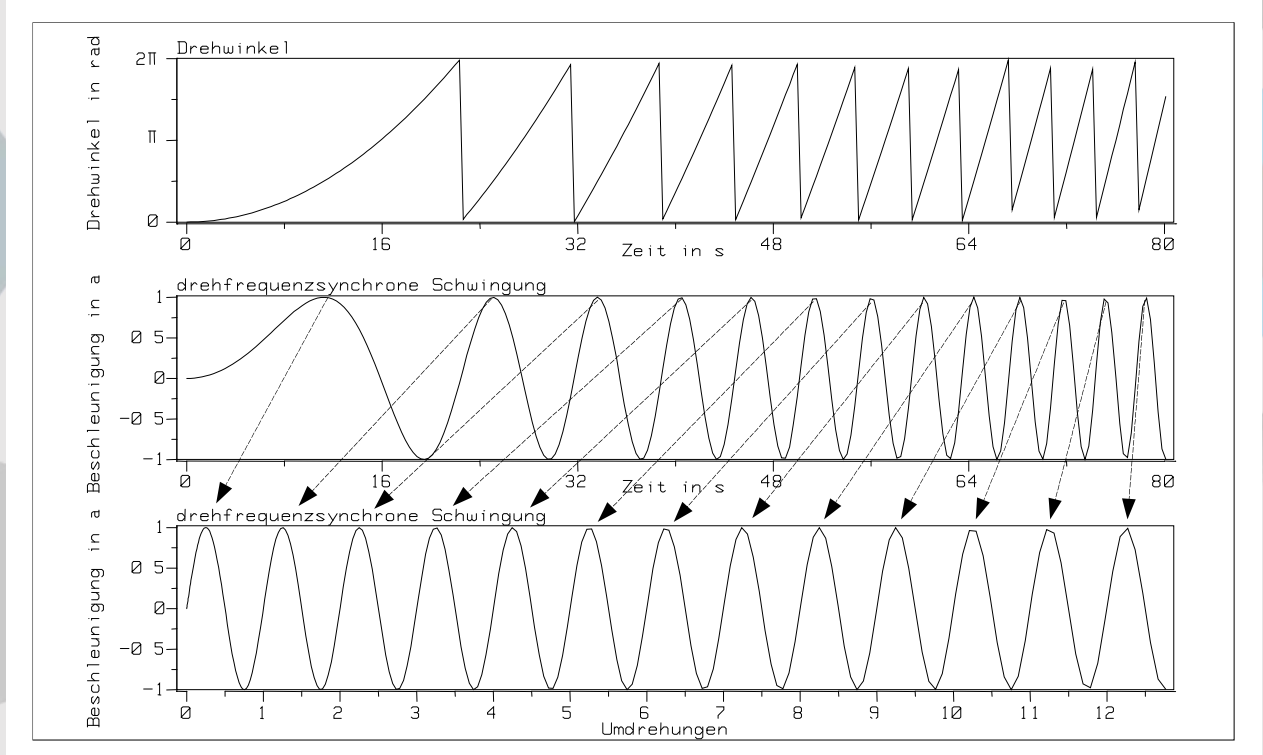
- Kinematik erforderlich
- ein gewisses Maß an Diagnosewissen ist erforderlich

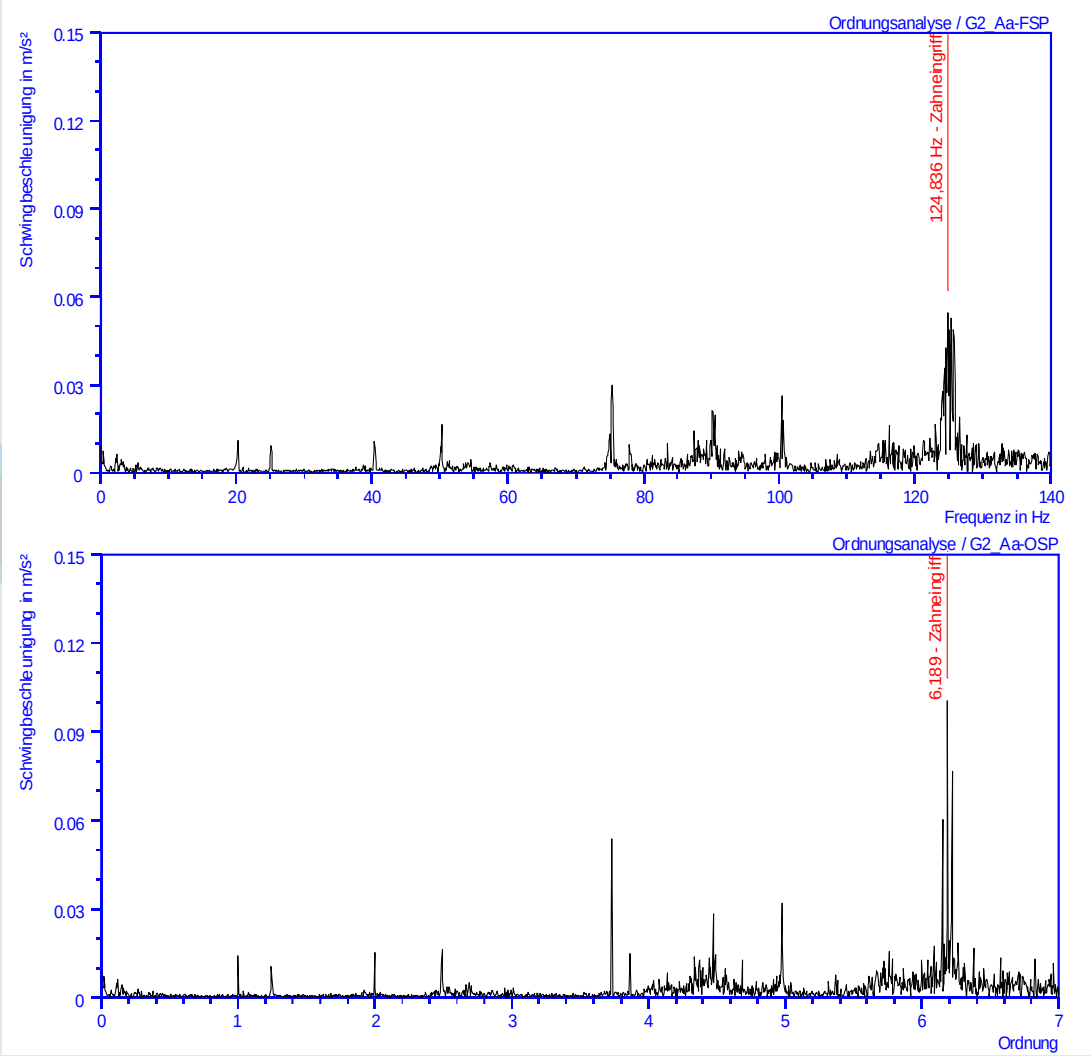


You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# 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



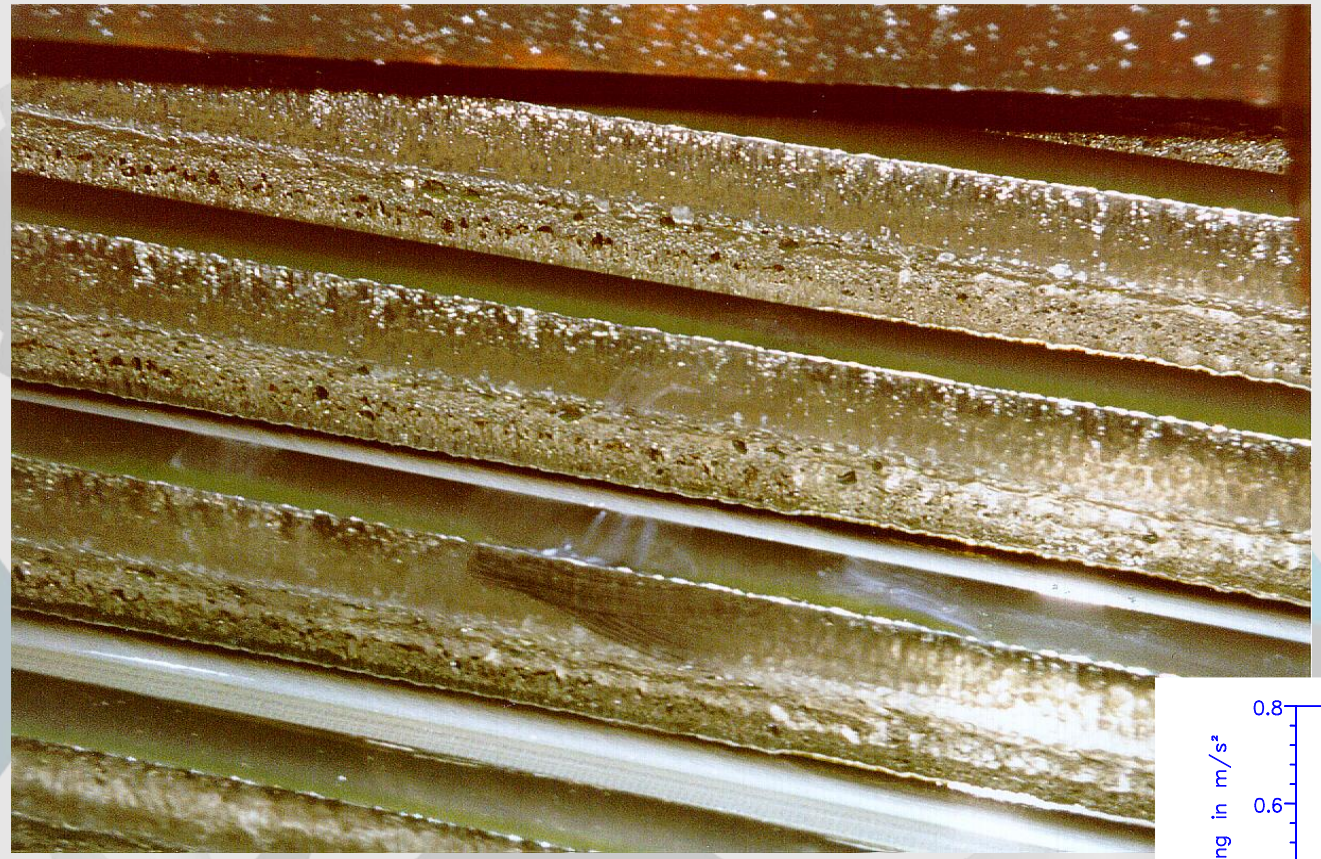



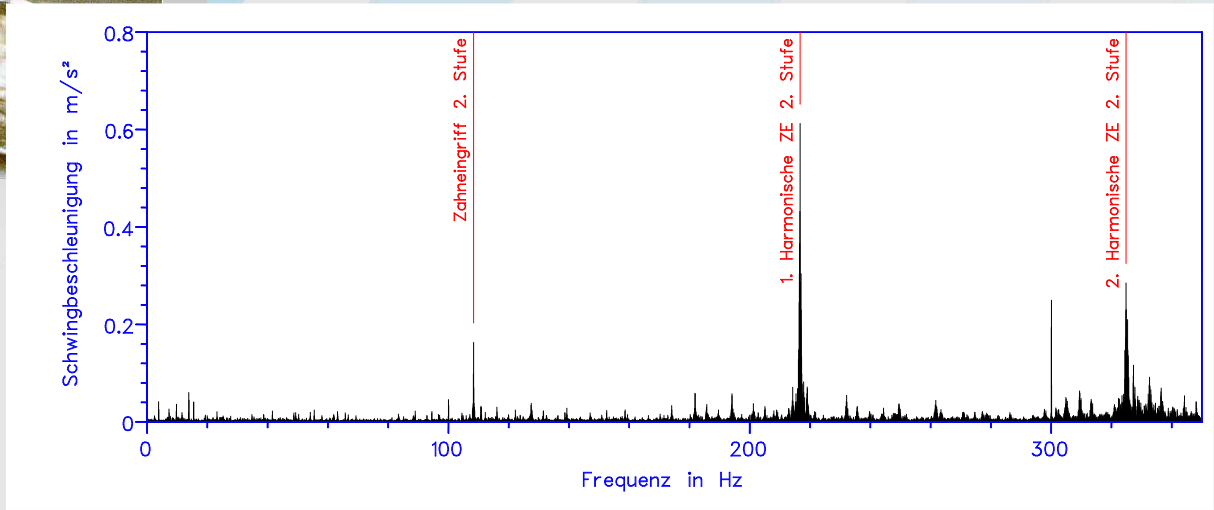



You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Frequenzselektive Überwachung

## Umlaufende Zahnflankenschädigung



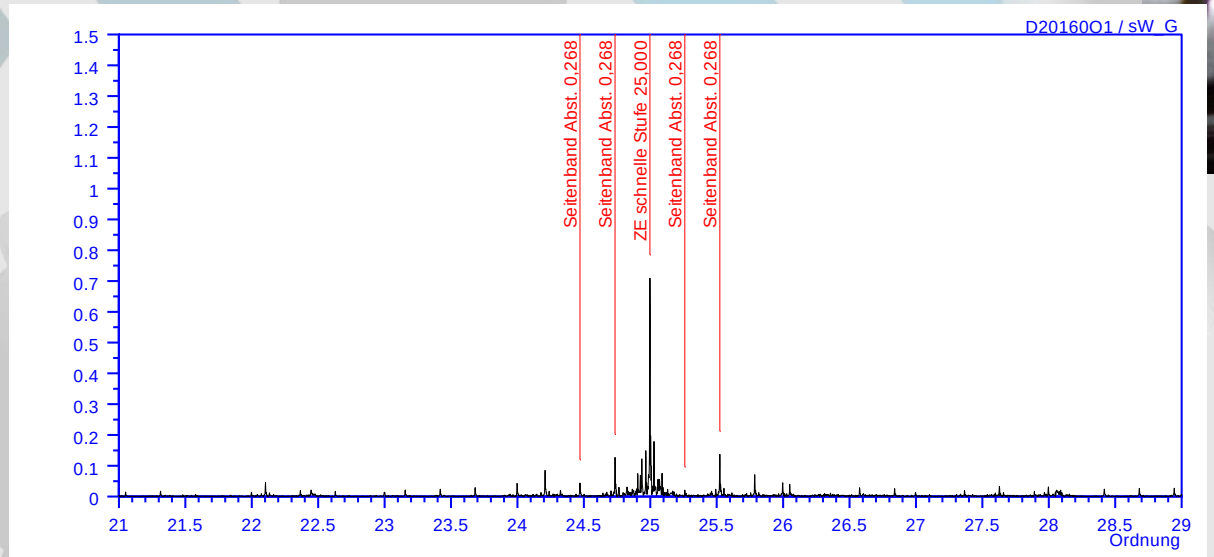





You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Frequenzselektive Überwachung

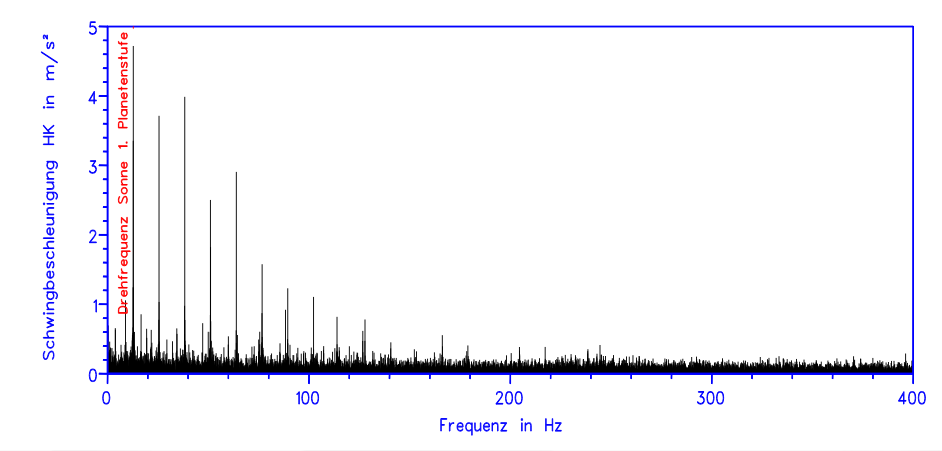
## Lokaler Verzahnungsschaden



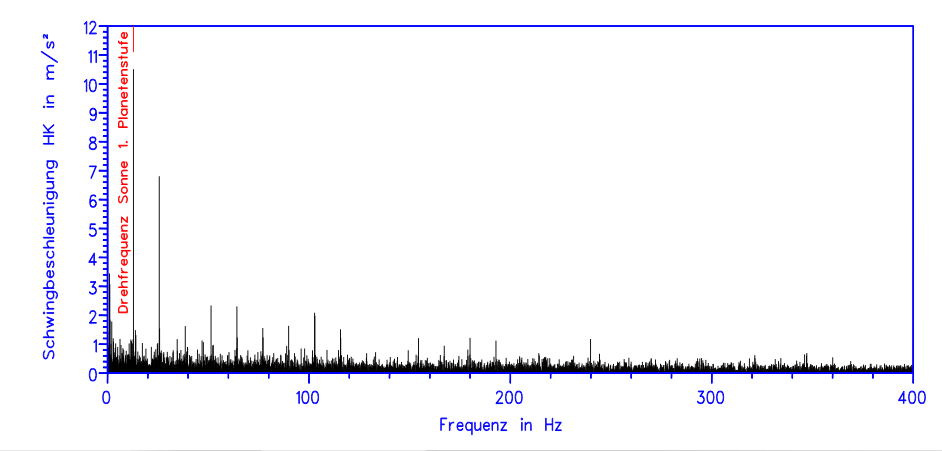
You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Frequenzselektive Überwachung

## Wellenschaden




Hüllkurvenspektrum, gemessen am kupplungsseitigen Lager

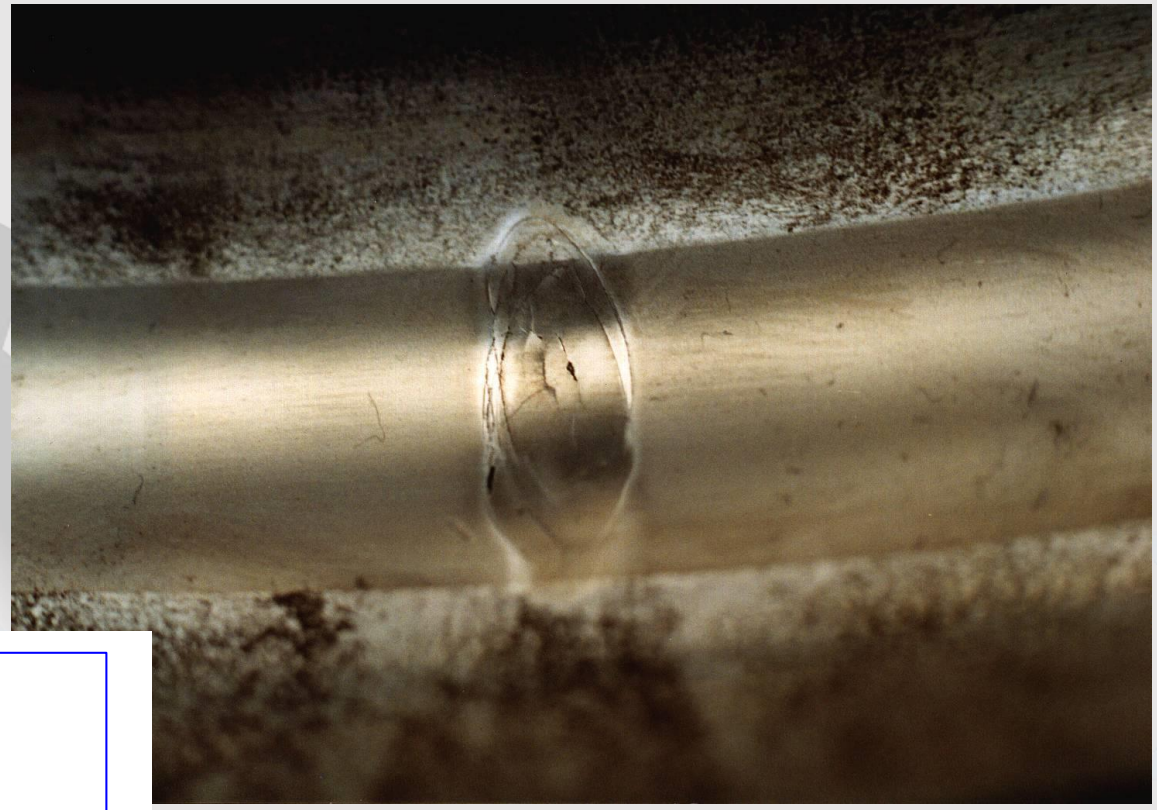


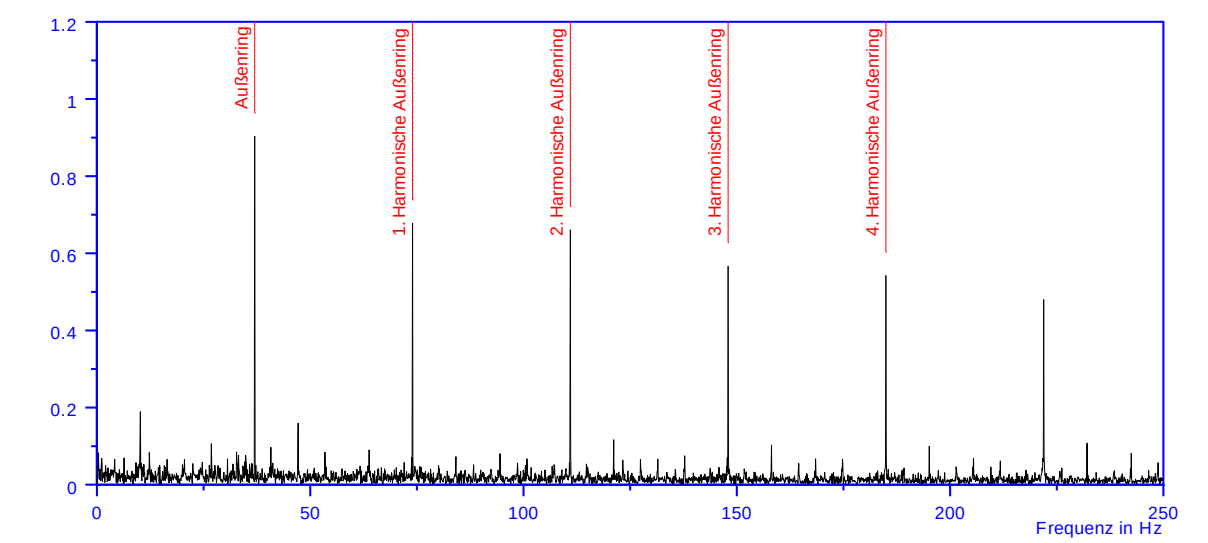

Hüllkurvenspektrum, gemessen am kupplungsseitigen Lager, 30 Tage später

You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Frequenzselektive Überwachung

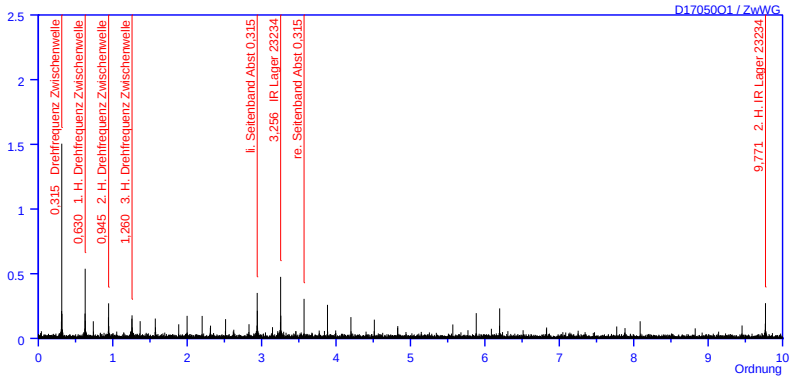
## Wälzlager-Außenringschaden

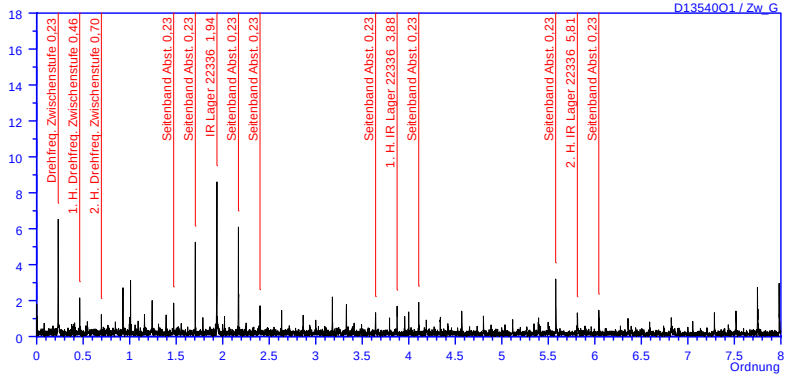




# Automatisierung

## Reine Amplitudenüberwachung ist schwierig





Fotos: Stöckl, M.: Verzahnungs- und Lagerschäden an Industriegetrieben. Vortrag in Berlin

# Automatisierung

## Reine Amplitudenüberwachung ist schwierig

- Diagnosegeräte erfassen nur ein Abbild der erzeugten Schwingungen.
- Einflüsse auf den Schalltransport werden nicht beachtet.
  - Schwingfreudigkeit der Gehäusestruktur, Dämpfung
  - Einfluss der Fundamentierung
  - Resonanzen

Zusätzlich bei Wälzlagern:

- 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.



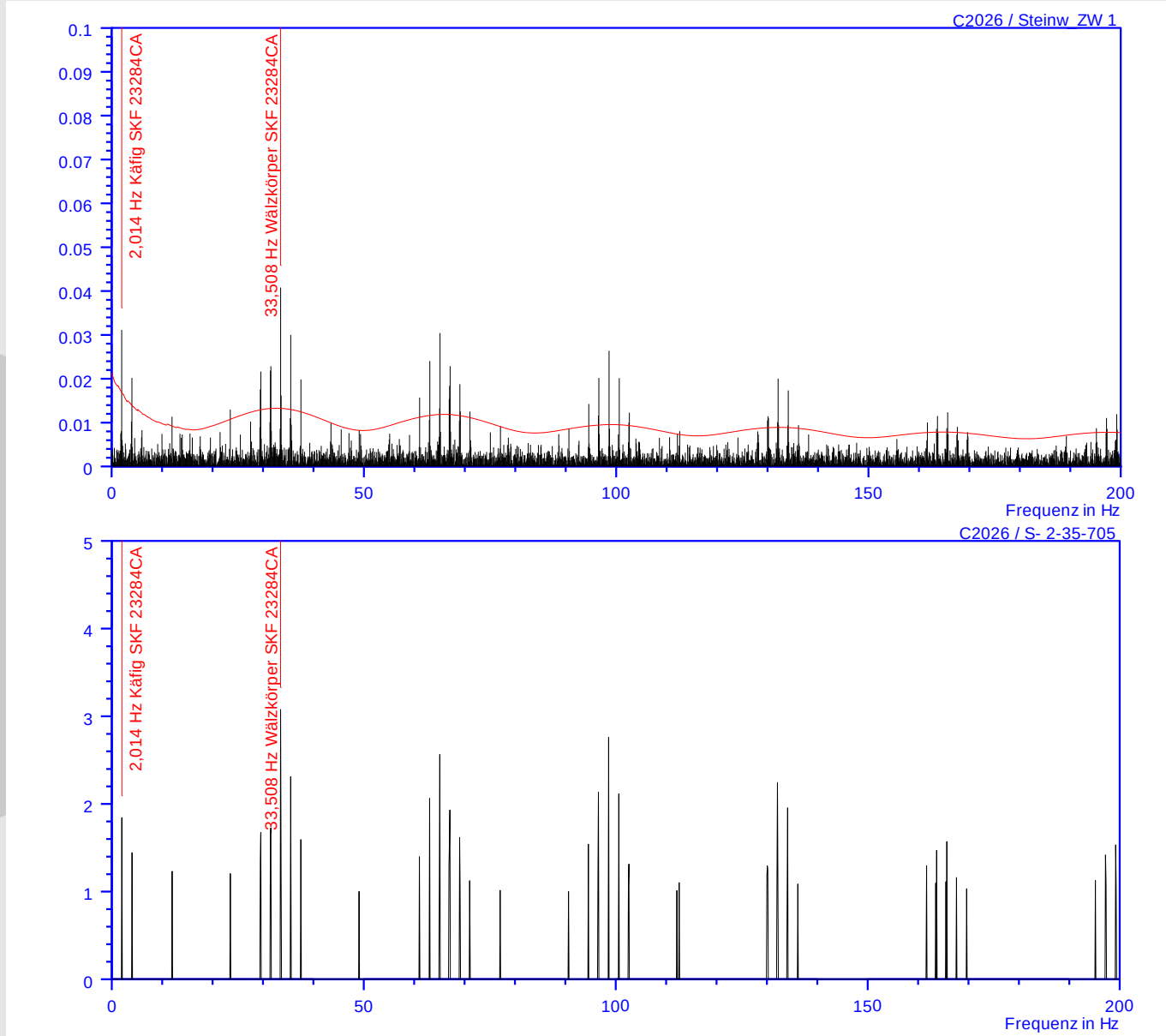
You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Automatisierung
## Möglichkeiten der Amplitudenbewertung

- 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


You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Automatisierung
## DVS-Analyse






You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Automatisierung
## 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.


You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

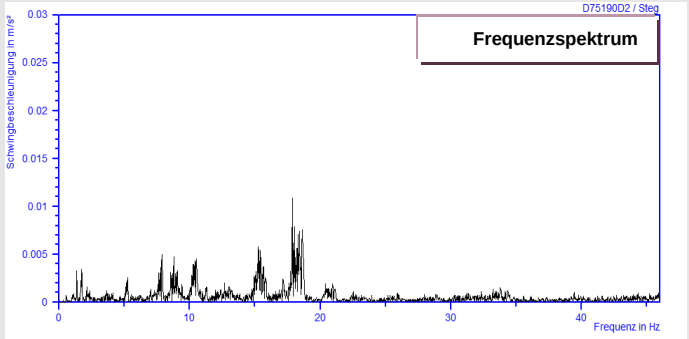
# Applikationsbeispiel Kran

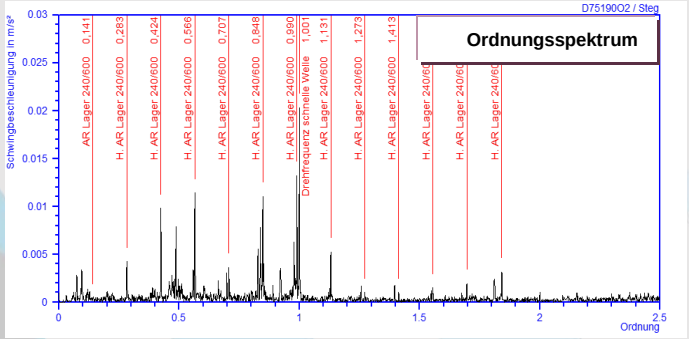
## Besonderheiten

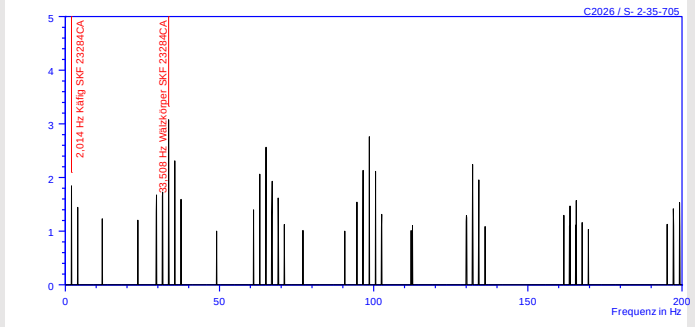
- instationärer Betrieb
- kurze Laufzeiten
- variable Drehzahlen
- niedrige Drehzahlen

## Lösung

- Ordnungsanalyse
- lange Messzeiten
- Nutzung von Rampen
- Plausibilitätsprüfung
- automatische Diagnose



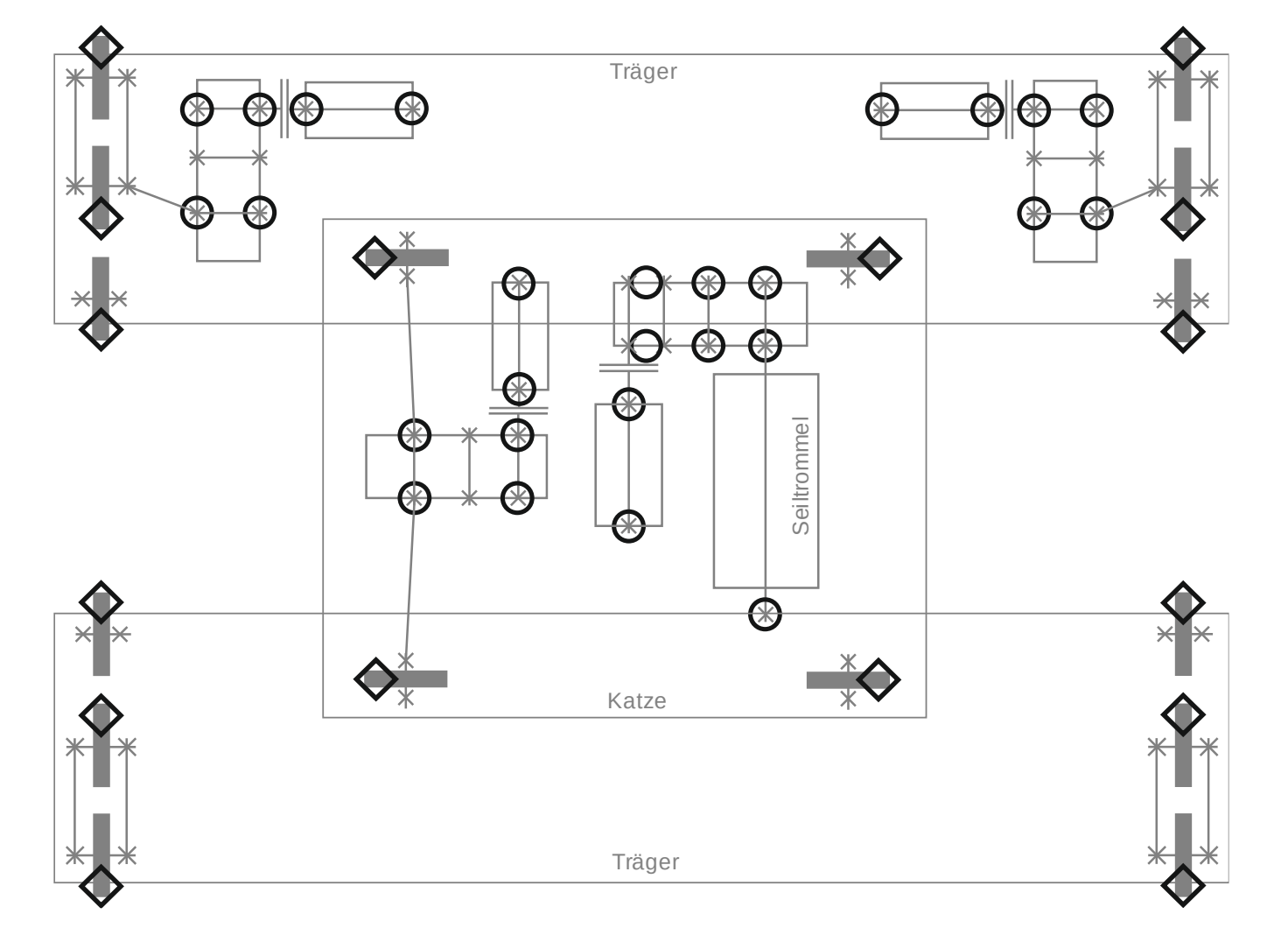






You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Applikationsbeispiel Kran

## Anordnung der Sensoren






You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Applikationsbeispiel Kran

## Anordnung der Sensoren

You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

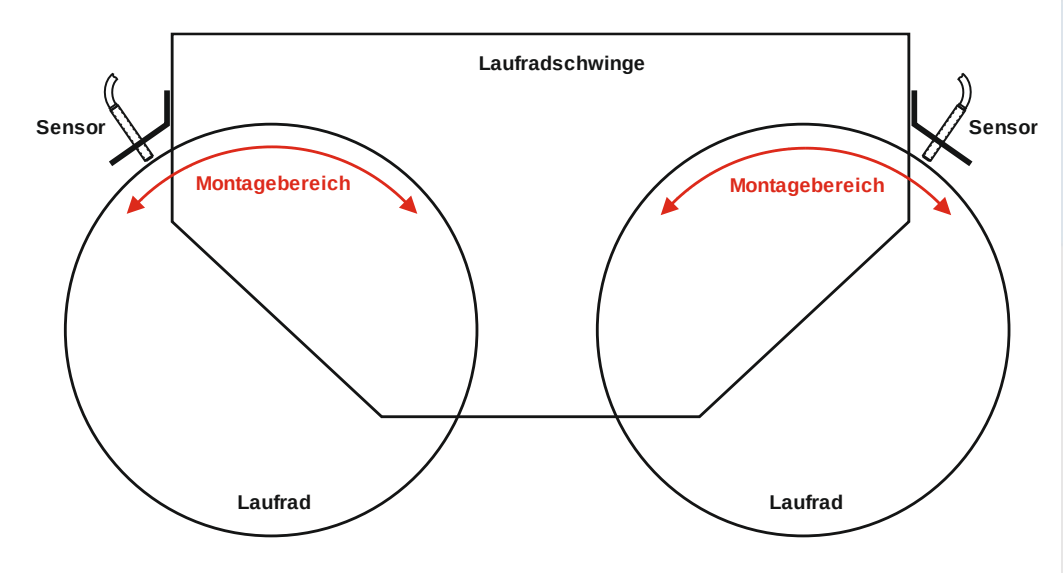
# Applikationsbeispiel Kran

## Drehzahlsensor

You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Applikationsbeispiel Kran

## Wegsensoren

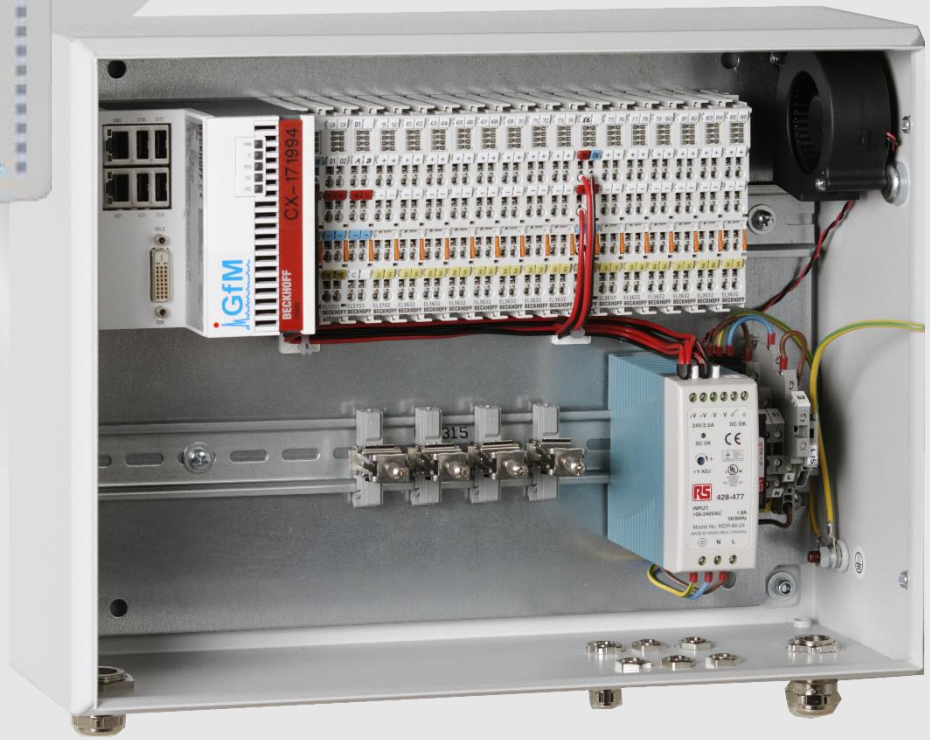





You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Applikationsbeispiel Kran

## Peakanalyzer

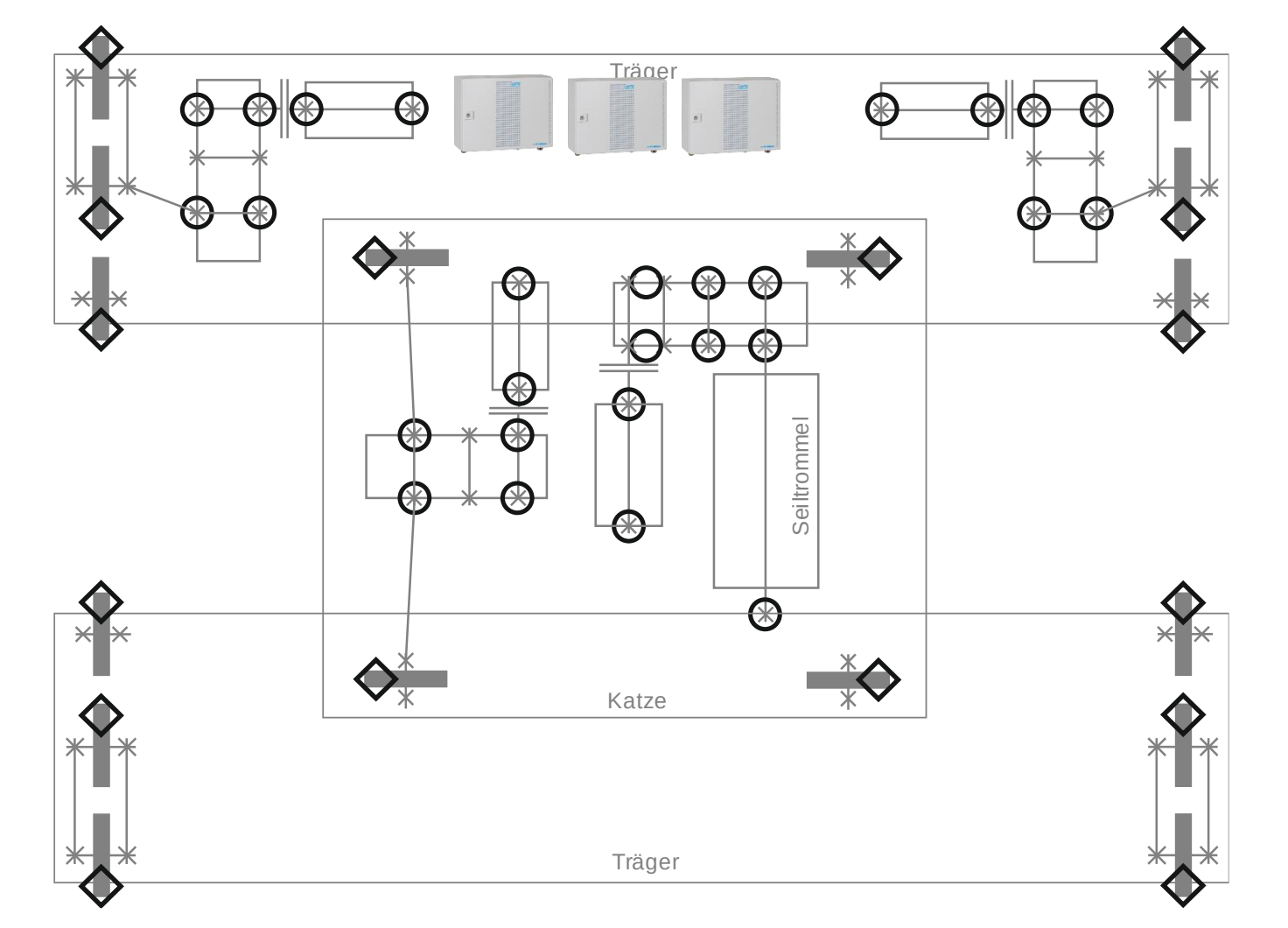





You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Applikationsbeispiel Kran

## Anordnung der Peakanalyzer





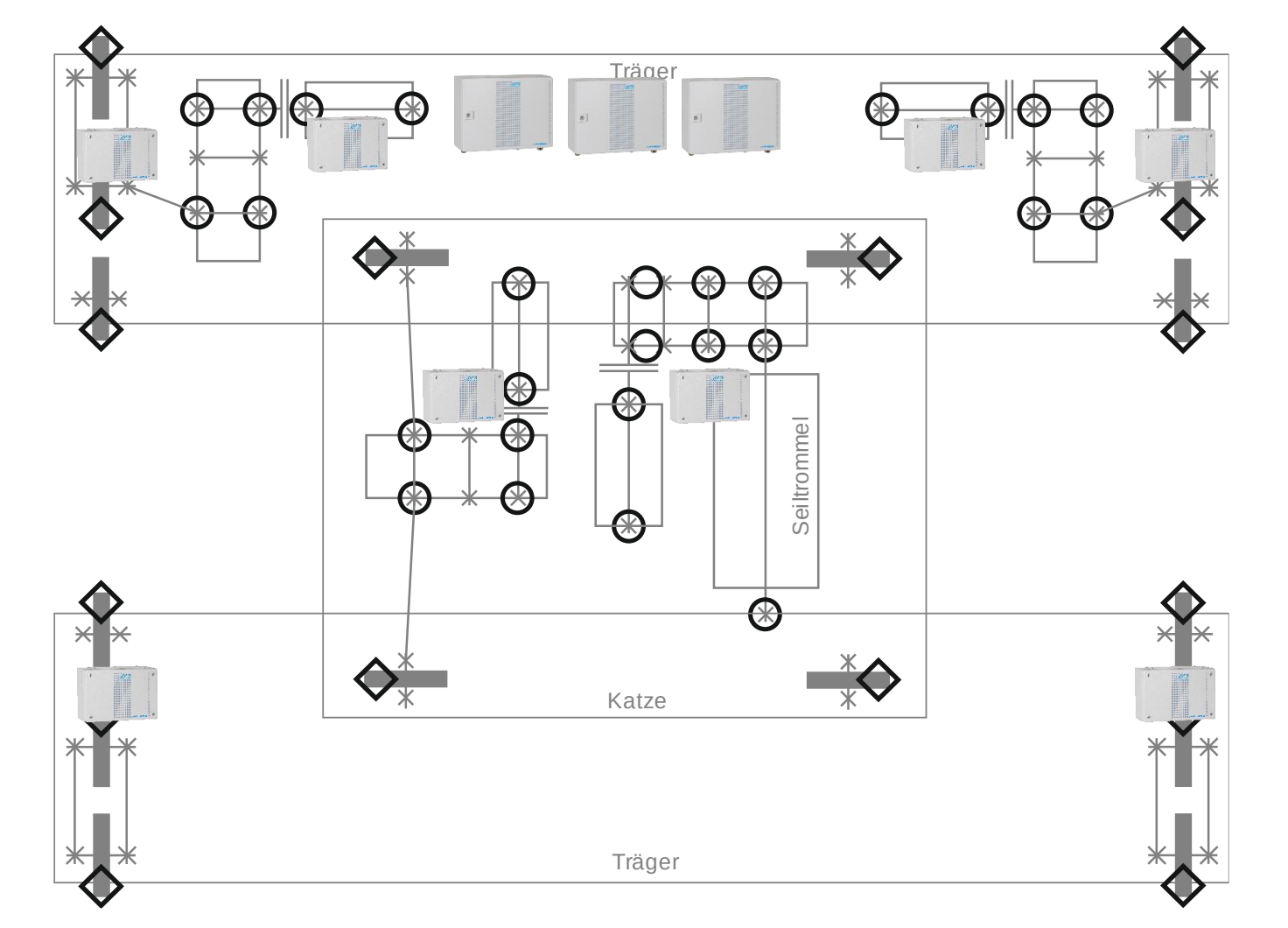

You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Applikationsbeispiel Kran

## Zwischenklemmkasten

# Applikationsbeispiel Kran

## Anordnung der Zwischenklemmkästen

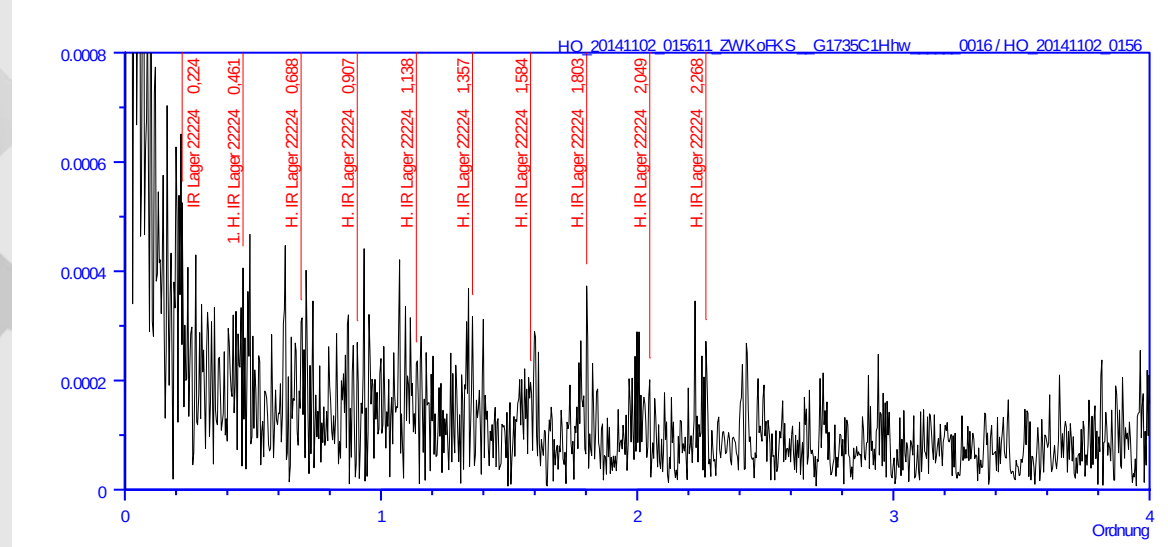


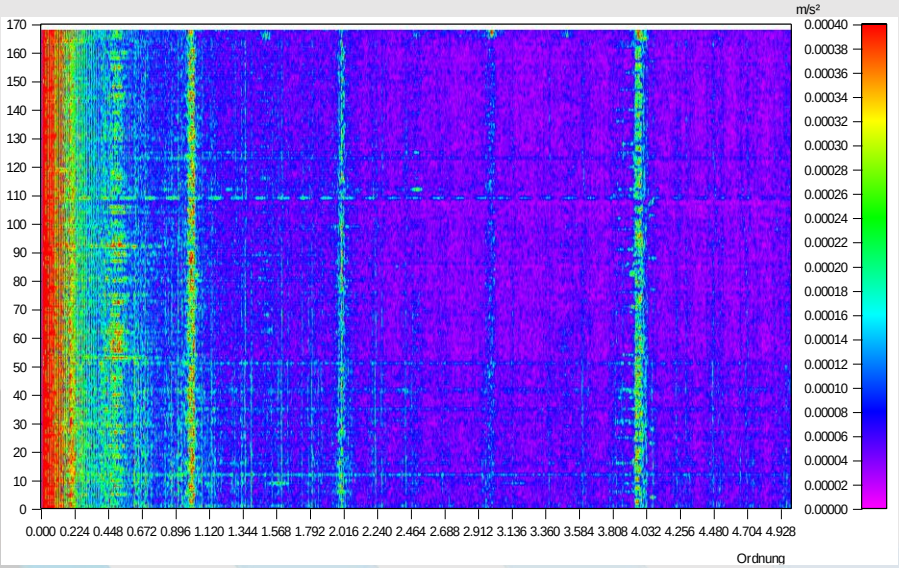


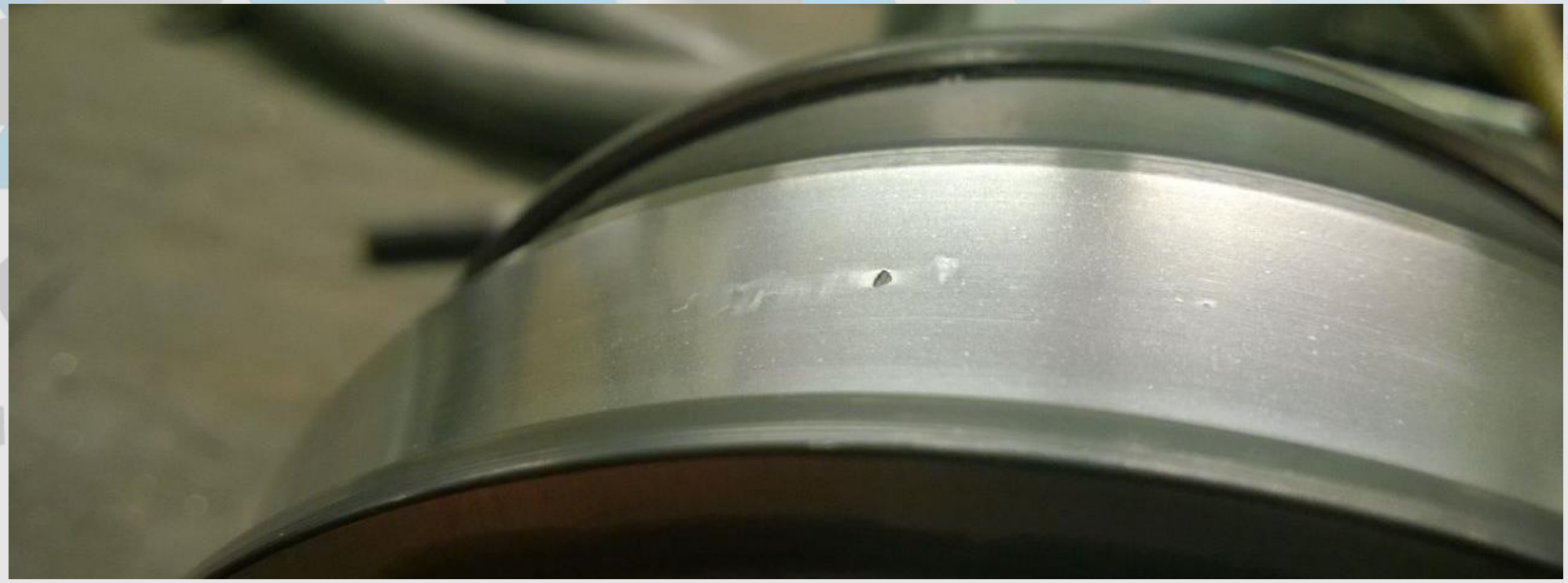

You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Applikationsbeispiel Kran

## Innenringschaden am Trommellager eines Hilfshubwerks



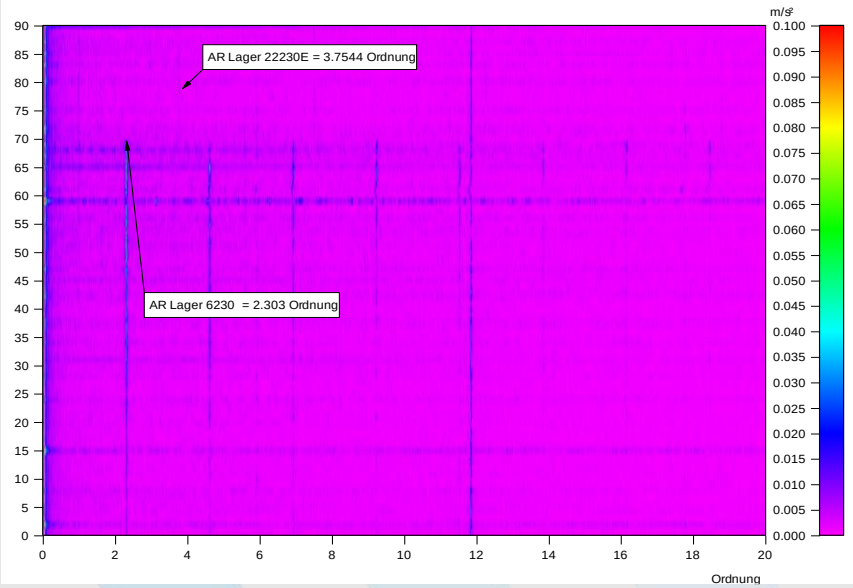



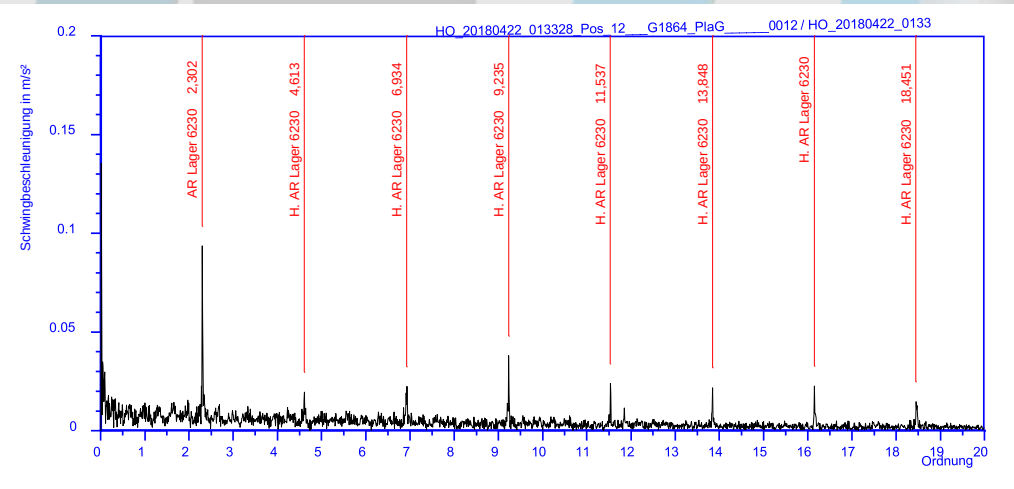


You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Applikationsbeispiel Kran

## Außenringschaden am Stehlager eines Planetenträgers



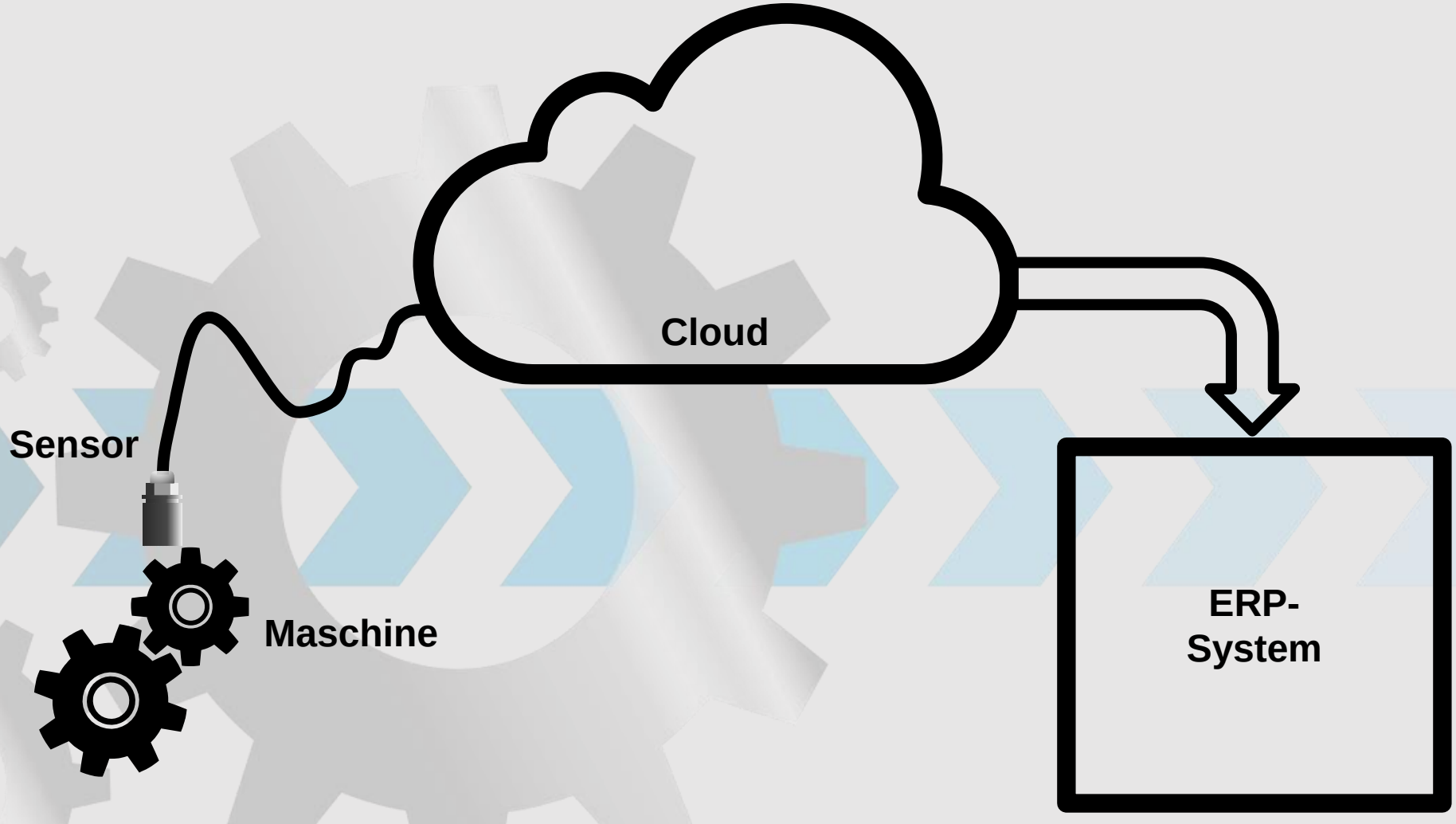






You‘re welcome: www.maschinendiagnose.de

# Condition Monitoring und Instandhaltung 4.0

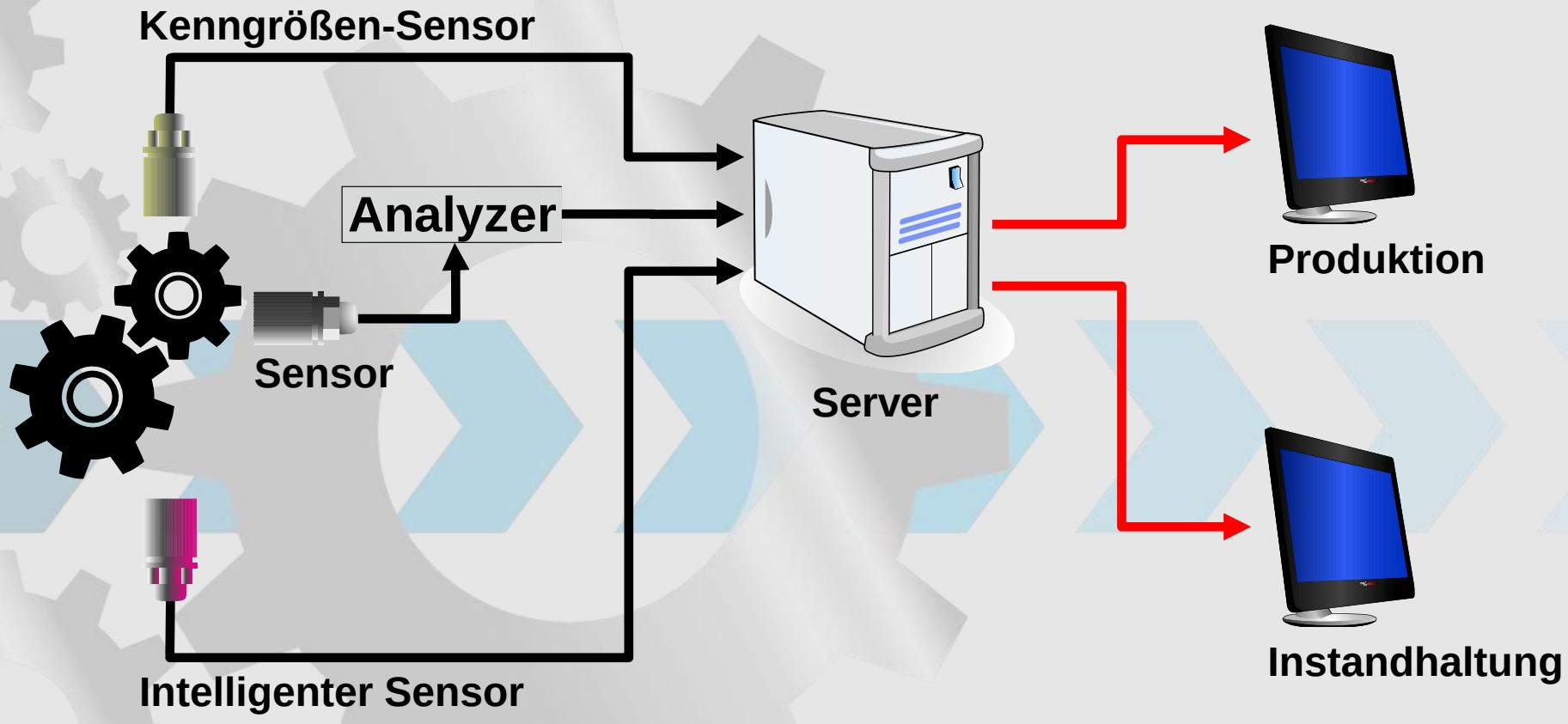
## Eine phantastische Idee




Graphiken: www.publicdomainvectors.org

# Condition Monitoring und Instandhaltung 4.0

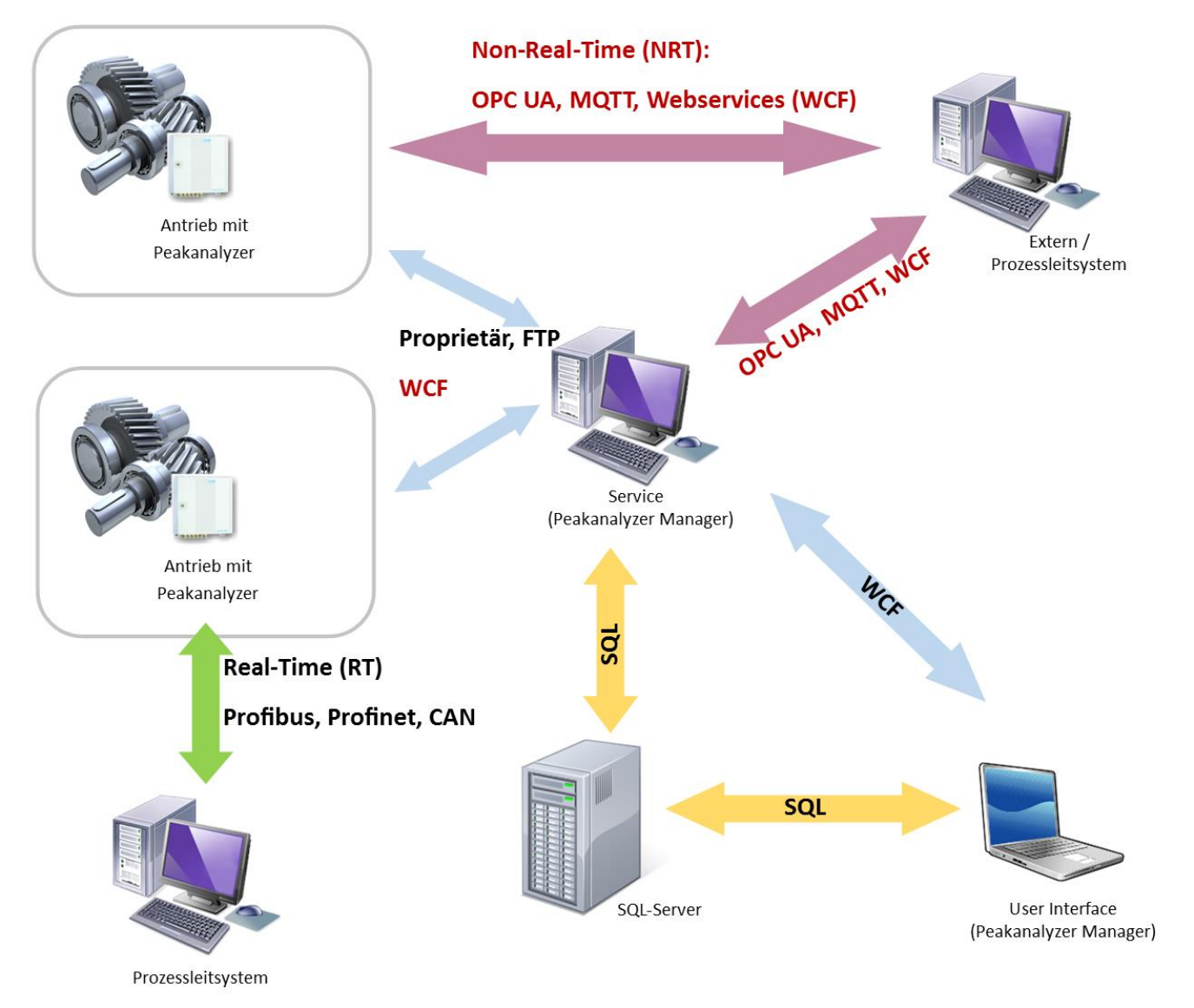
## Informationsfluss




Graphiken: www.publicdomainvectors.org

# Condition Monitoring und Instandhaltung 4.0

## Schnittstellen



# Peakanalyzer Schnittstellen

## Real-Time (RT) Schnittstelle

- Schnittstellen
  - Profibus
  - Profinet
  - CAN-Bus
- Eingabe
  - Drehzahlen
  - Prozessgrößen (Last, Leistung, …)
  - Alarmquittierungen
- Ausgabe
  - Kennwerten
  - Prozessgrößen
  - Reduzierte Alarminformationen
- Reaktionszeit auf Ereignisse: 1 Sekunde

## Non-Real-Time (NRT) Schnittstelle

- Schnittstellen
  - MQTT
  - OPC UA
  - Webservices (SOAP – z.B. WCF)
- Zugriff über Peakanalyzer
  - Alle Daten auf dem Peakanalyzer (ca. 2-3 Monate)
- Zugriff über Service
  - Alle Daten in der Datenbank (mehrere Jahre)
  - Aggregierte Informationen von mehreren Peakanalyzern
  - Alarm und Statusberichte

## Messdaten (NRT)

- Schwingungszeitsignale
- Drehzahlzeitsignale
- Spektren, Hüllkurvenspektren
- Ordnungsspektren, Hüllkurvenordnungsspektren
- Kenngrößen
  - r.m.s. Schwinggeschwindigkeit
  - r.m.s. Schwingbeschleunigung
- Prozessgrößen
  - Temperaturen
  - Drehzahlen
  - Leistung
- Diagnosemerkmale
  - für jedes Antriebselement und Schadensmuster
  - Ordnung, Amplitude, Signifikanz

# Resümee

Sowohl Online-Condition-Monitoring als auch Offline-Maschinendiagnose haben sich in den letzten 50 Jahren zum festen Bestandteil der zustandsorientierten Instandhaltung entwickelt.

Auch wenn Condition Monitoring Primärschädigungen an Antriebselementen nicht verhindern kann, ergibt sich der Nutzen dieser Systeme und Verfahren aus

- der Vermeidung unnötiger Betriebsunterbrechung, weil Instandsetzungsarbeiten langfristig organisiert, Instandsetzungspersonal, Ersatzteile und Hebezeuge beschafft werden können,
- der Möglichkeit der Verschiebung von Instandsetzungen in Perioden mit geringer Auslastung und vor allem
- der Vermeidung von Sekundärschäden bis hin zum Totalverlust der Anlage.

Meist amortisieren sich Condition Monitoring Systeme bereits durch einen einzigen rechtzeitig erkannten Schaden mehrfach. Denn grundsätzlich gilt, dass auch kein Schaden vorhanden ist, wenn im Schwingungssignal keine Symptome auf Schäden nachgewiesen werden können.

# Systeme der GfM

## Online: Peakanalyzer

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

## Offline: PeakStore5

- 4, 8 oder 12 Schwingungssensoren
- 1 oder 2 Drehzahlsensoren
- App zur Fernsteuerung via Smartphone
- Betriebswuchten bei variabler Drehzahl

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

„Pläne machen und Vorsätze fassen bringt viele gute Empfindungen mit sich!“

Friedrich Wilhelm Nietzsche

Foto: pixabay.com