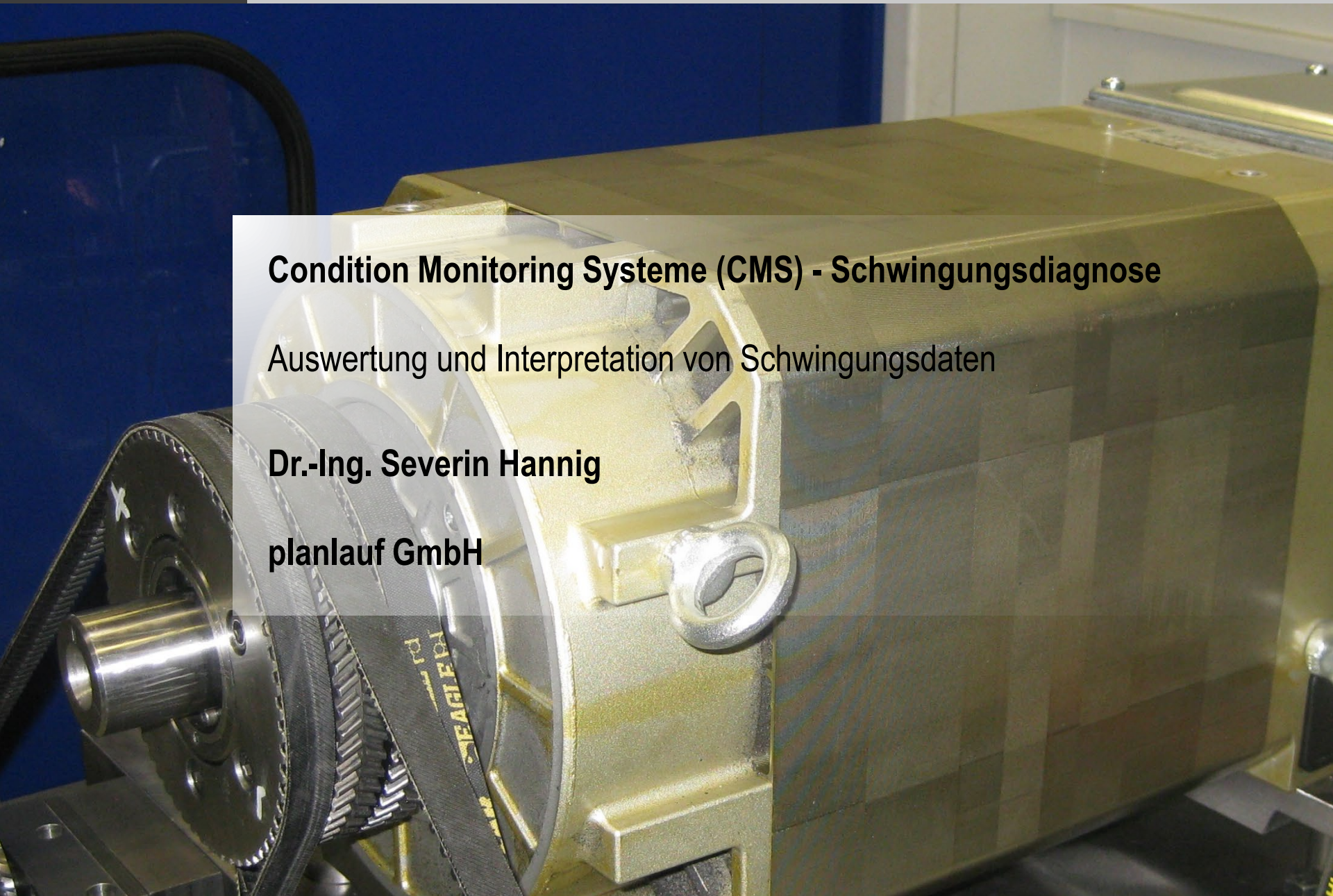


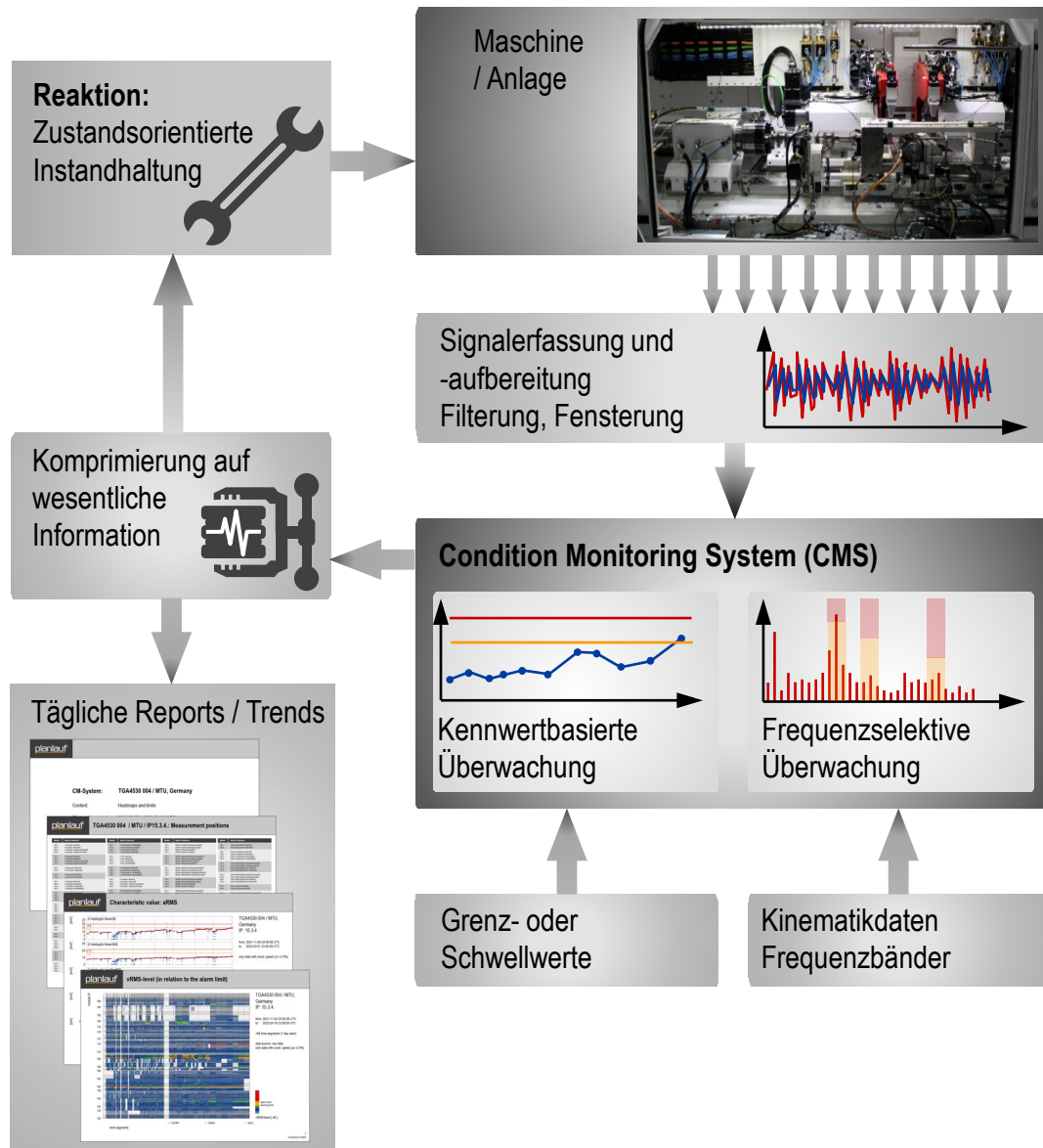
## **Condition Monitoring Systeme (CMS) - Schwingungsdiagnose**

Auswertung und Interpretation von Schwingungsdaten

**Dr.-Ing. Severin Hannig**

**planlauf GmbH**



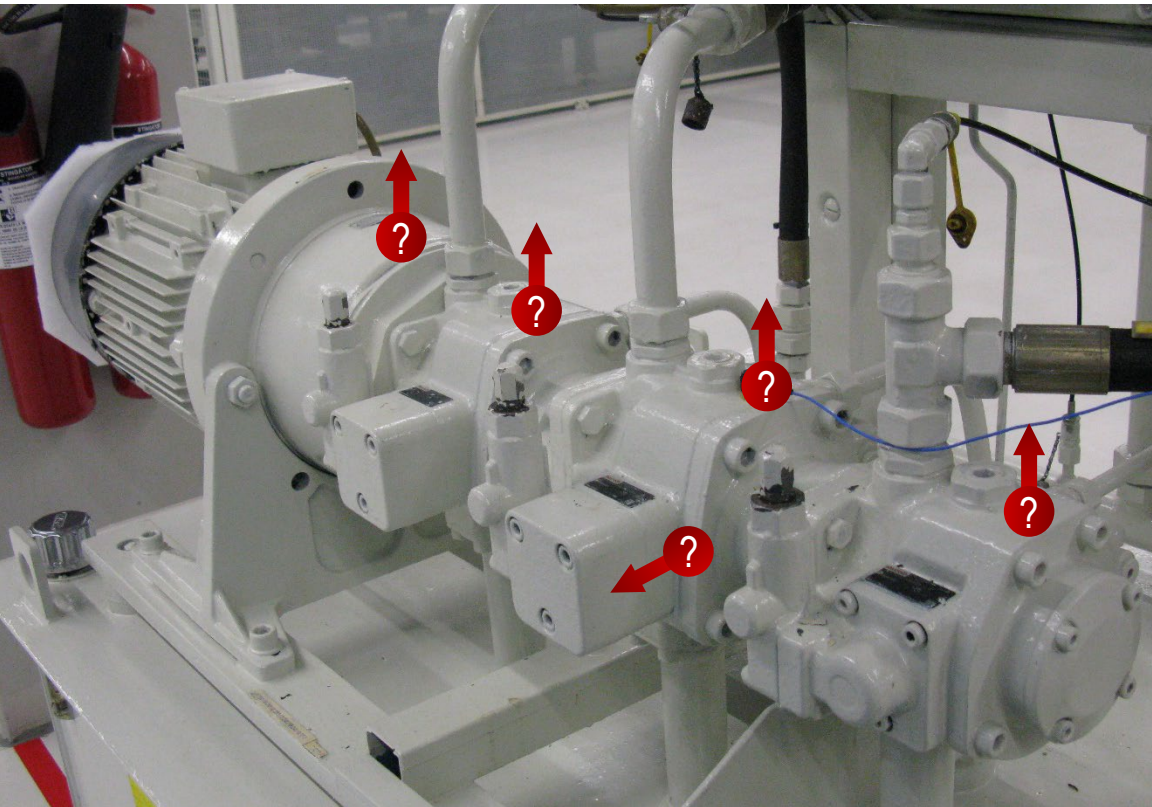


## Condition Monitoring:

- Maschinen und Anlagen können mit einer Vielzahl an Sensoren ausgestattet werden, die eine Zustandsüberwachung erlauben.
- Condition Monitoring Systeme liefern schnell sehr große Datenmengen, deren Informationsgehalt komprimiert dargestellt und automatisiert ausgewertet werden muss.
- Es existieren kennwertbasierte und frequenzselektive Überwachungsmethoden. Die Auswahl geeigneter Kennwerte und die Einstellung sinnvoller Alarmgrenzwerte, Frequenzbänder und Filter entscheidet über den Nutzen des Condition Monitoring Systems
- Die Erkennung von Zustandsveränderungen und eine frühzeitige Reaktion auf Bauteilschäden verhindert Maschinenausfälle aber erfordert einen permanenten Überblick über den Maschinenzustand und eine schnelle Reaktion bei Grenzwertüberschreitungen.

## Nutzen Sie unsere objektive Beratung:

- Unabhängig von Sensor- und Systemherstellern berät die **planlauf GmbH** bei der Umsetzung und dem Betrieb von Condition Monitoring Systemen und unterstützt bei Strategien zur kompakten, anlagenspezifischen Darstellung großer Schwingungsdatenmengen in Form von täglichen Reports und Trends.

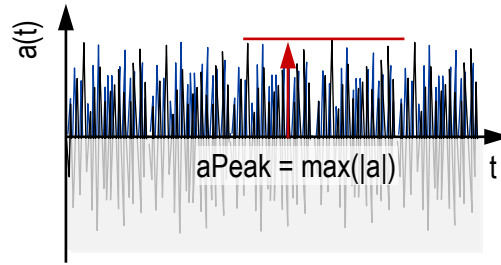
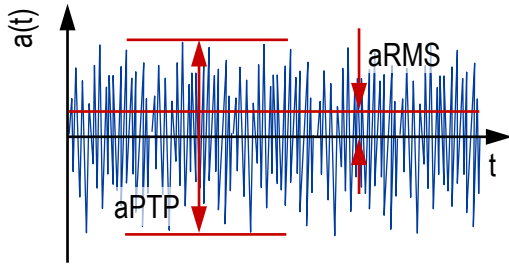


## Sensortyp, -anzahl, Messort und -richtung:

- Es existiert eine Vielzahl an Sensoren zur Verlagerungs-, Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- oder Kraftmessung unterschiedlicher Hersteller. Die technische Eignung hängt vom Messbereich, der Empfindlichkeit, der Störanfälligkeit, den Umgebungsbedingungen, der Kompatibilität mit der Auswerteelektronik etc. ab und kann in der richtigen Kombination die Messinformation deutlich erhöhen.
- Eine möglichst frühzeitige Erkennung entstehender Schäden erfordert eine sorgfältige Auswahl des Messortes und der Messrichtungen. Die Sensoranzahl stellt einen Kompromiss zwischen der erforderlichen Information über den Maschinenzustand und der Wirtschaftlichkeit des Systems dar.

## Nutzen Sie unsere Erfahrung aus zahlreichen Problemanalysen:

- Auf Basis unserer Erfahrung aus ca. 1000 Messeinsätzen bei Schwingungsproblemen an Maschinen und Anlagen in den letzten 15 Jahren berät die **planlauf GmbH** bei der optimalen Auswahl und dem Einsatz von Sensorik und Messelektronik.



## Kennwertbasierte Zustandsüberwachung:

- Die breitbandige Überwachung von Kenngrößen im Zeitbereich erfordert keine Kenntnis der kinematischen Zusammenhänge des überwachten Systems und ermöglicht eine schnelle Reaktion bei Maschinenschäden.
- Der Auswertebereich der Rohsignale sollte über eine geeignete Filterung / Fensterung begrenzt sein, um den Einfluss von Störgrößen zu reduzieren, eine hohe Signalqualität zu erreichen und Fehlinterpretationen zu vermeiden.
- Neben Effektivwerten der Beschleunigung oder Geschwindigkeit ( $a_{RMS}$ ,  $v_{RMS}$ ) werden Peak-Werte ( $a_{PEAK}$ ), Diagnosekennwerte ( $K(t)$ ,  $DKW$ ) oder herstellerspezifische Kenngrößen eingesetzt.

## Was wir bieten:

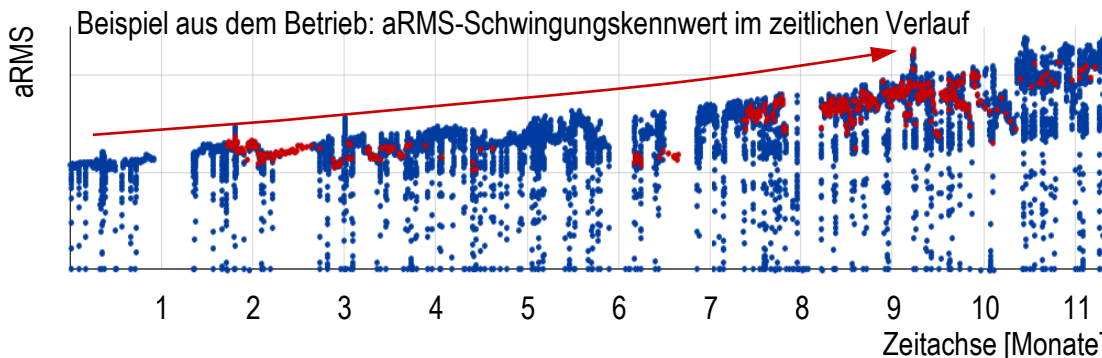
- Auswertung von Rohsignalen nach verschiedenen Kenngrößenverfahren zur Beurteilung des anwendungsspezifisch am besten geeigneten Verfahrens
- Beratung bei der Auswahl geeigneter Kennwerte für die kundenspezifische Anwendung
- Unterstützung bei der Signalfilterung und -fensterung, sowie der Überprüfung auf Signalstörgrößen an den Messstellen zur Vermeidung von Fehlinterpretationen

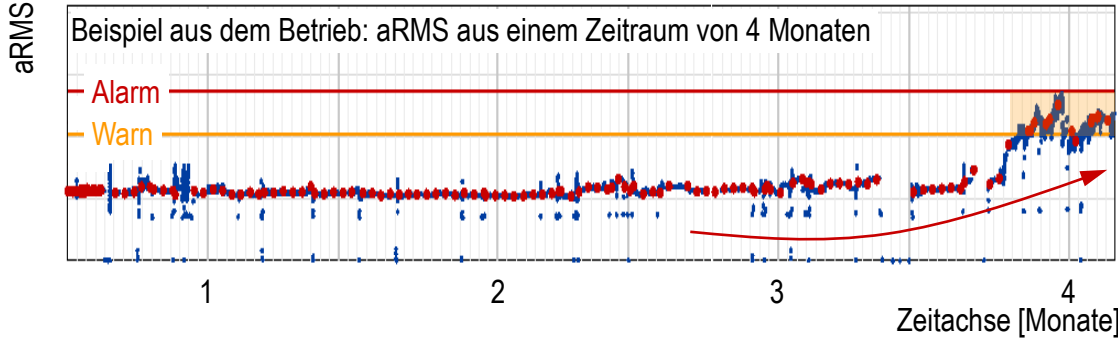
### Messgrößen:

**Geschwindigkeit  $v(t)$ :** Eignung im niederfrequenten Bereich  
**Beschleunigung  $a(t)$ :** Eignung im höherfrequenten Bereich

### Kennwertverfahren:

**Effektivwert RMS:** Eignung für sinusförmige Schwingungen  
**Spitzenwert PTP, PEAK:** Eignung für stoßimpulsförmige Schwingungen  
**Diagnosekennwert  $K(t)$ ,  $DKW$ :** Bezug auf Referenzzustand und Drehzahl  
**Spez. Kennwerte:** Crest- / Kurtosisfaktor, Stoßimpuls, SPM, SEE, BCU, Spike Energy, ....





### Schwell- oder Grenzwerte:

- Eine frühzeitige Schadenserkennung ohne häufige Fehlalarme erfordert eine sorgfältige Einstellung der Warn- bzw. Alarmgrenzwerte.
- Die Festlegung von Schwell- oder Grenzwerten ist anlagenabhängig und kann durch Normen oder CM-Systemhersteller allgemein nicht hinreichend definiert werden.
- Je nach Anwendungsfall sind konstante oder drehzahlabhängige Grenzwerte sinnvoll.

### Grenzwerte:

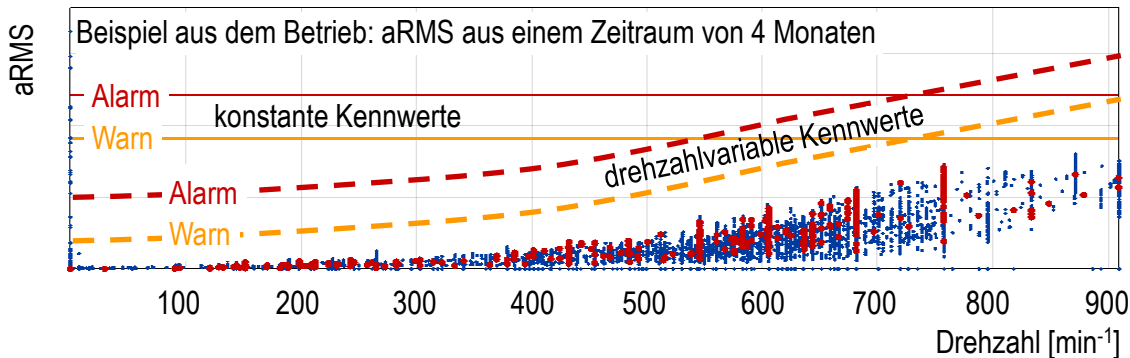
**konstant:** Eignung bei drehzahlunabhängigem Schwingungsniveau  
**drehzahlabhängig:** notwendig bei starker Drehzahlabhängigkeit der Kennwerte

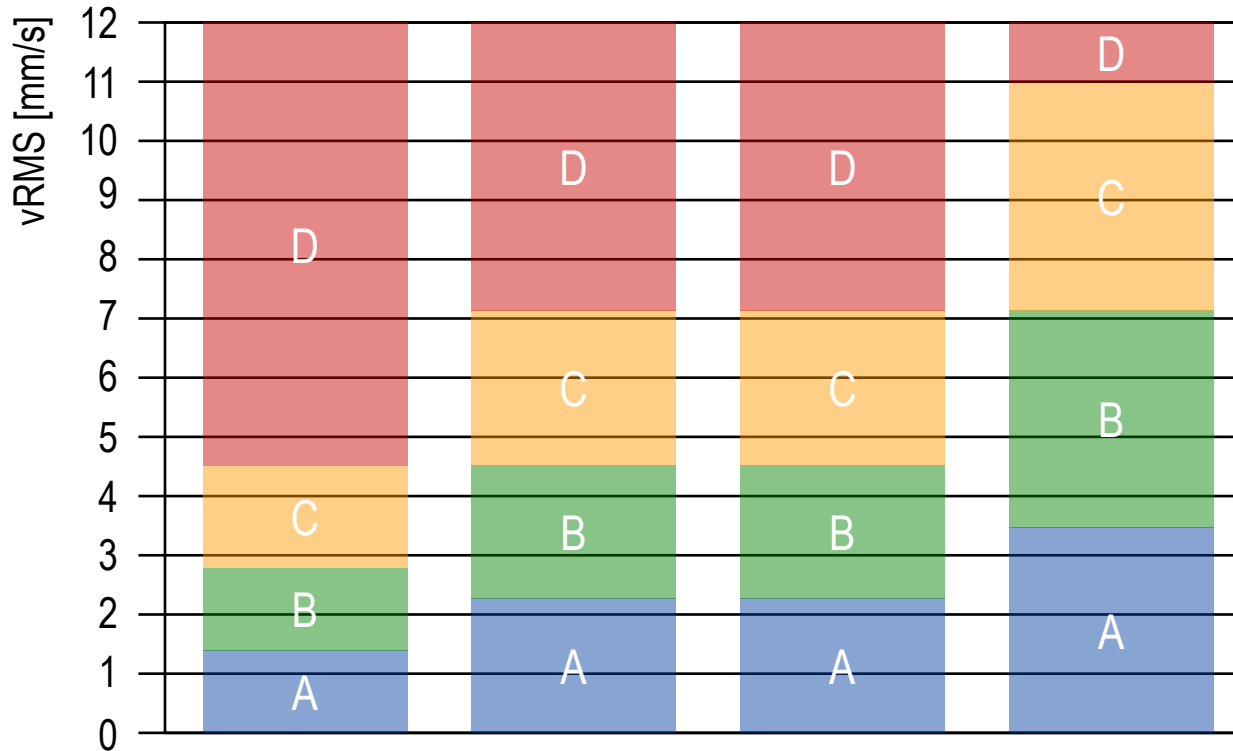
### Herausforderungen:

**anlagenabhängig:** Normen (siehe folgende Seite) oder Systemhersteller können nur grobe bzw. unvollständige Empfehlungen bieten

### Was wir bieten:

- Festlegung von Warn- und Alarmgrenzwerten auf Basis Ihrer Produktionsschwingungsdaten
- Teach-In: Einmessen und Bestimmung von drehzahlabhängigen Referenzwerten





**Beispiel:**

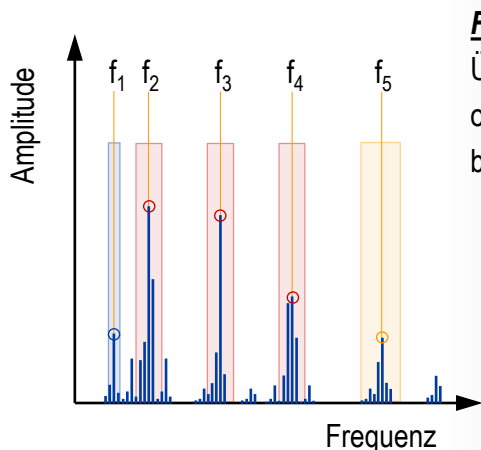
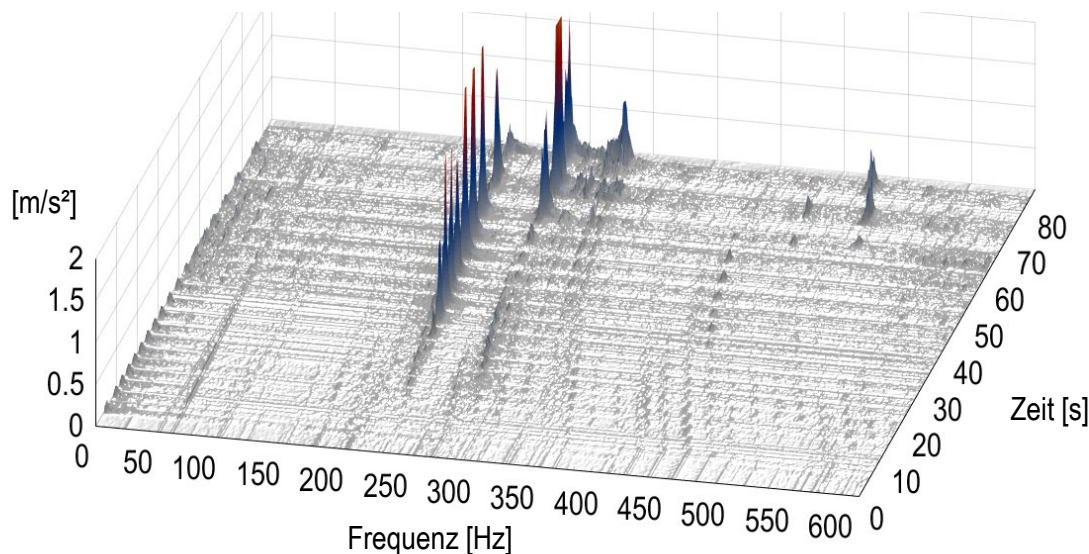
Grenzwerte des Schwinggeschwindigkeitsniveaus lt. Norm ISO10816-3

- D: verursacht Schäden
- C: kurzzeitiger Betrieb
- B: unbegrenzter Langzeitbetrieb
- A: neu in Betrieb genommen

2 – 1000 Hz,  $n > 120 \text{ min}^{-1}$   
 10 – 1000 Hz,  $n > 600 \text{ min}^{-1}$

starr	weich	starr	weich	Maschinenfundament
mittelgroß		groß		Maschinengröße
15 kW < P ≤ 300 kW		300 kW < P < 50 MW		Maschinenleistung
160 mm ≤ H < 315 mm		315 mm ≤ H		Maschinenhöhe
Gruppe 2		Gruppe 1		Maschinengruppe

Frequenzspektren einer Messstelle im zeitlichen Verlauf (Wasserfall)



**Frequenzselektiv:**

Überwachung von Frequenzbändern im Frequenz- oder Ordnungsspektrum (z.B. bei der Drehfrequenz bzw. bei zu erwartenden Problemfrequenzen)

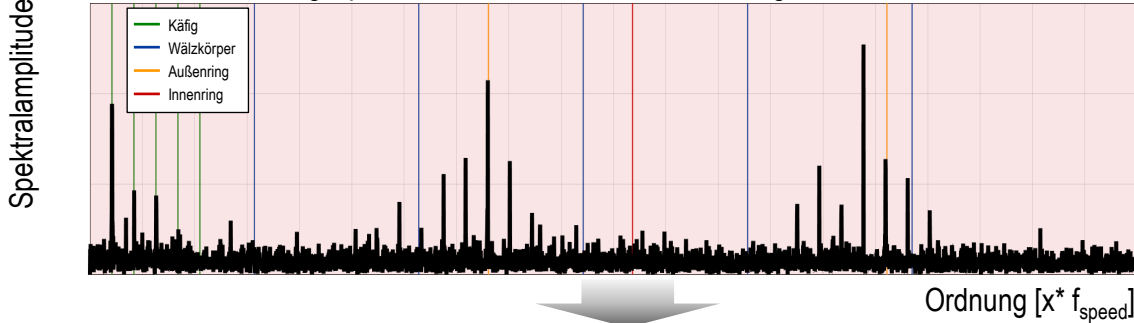
**Frequenzselektive Zustandsdiagnose:**

- Die frequenzselektive Diagnose ermöglicht eine Bestimmung von Schadensart und -ort. Erforderlich ist die Kenntnis der kinematischen Zusammenhänge
- Frequenzanalyse: Die Fast-Fourier-Transformation (FFT) der zeitsynchron erfassten Rohsignale bietet eine Trennung der Schadensfrequenzen. Unwuchten, Ausrichtefehler oder lokale und umlaufende Flankenformabweichungen an Zahnrädern von Getriebestufen sind zuverlässig nachweisbar.
- Ordnungsanalyse: Bei drehzahlvariablen Prozessen bietet sich eine drehwinkelsynchrone Schwingungserfassung an.

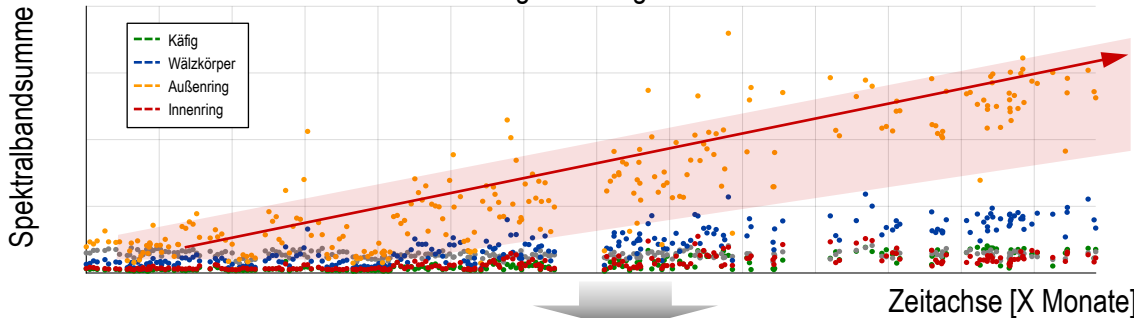
**Was wir bieten:**

- Unterstützung bei der Berechnung, Analyse und Interpretation von Frequenzspektren oder Ordnungsspektren.
- Objektive Zweitbeurteilung von Schwingungsereignissen zum Abgleich Ihrer Einschätzungen
- Festlegung von Frequenzbändern mit Warn- und Alarmgrenzen zur automatischen Überwachung von Schadensfrequenzen

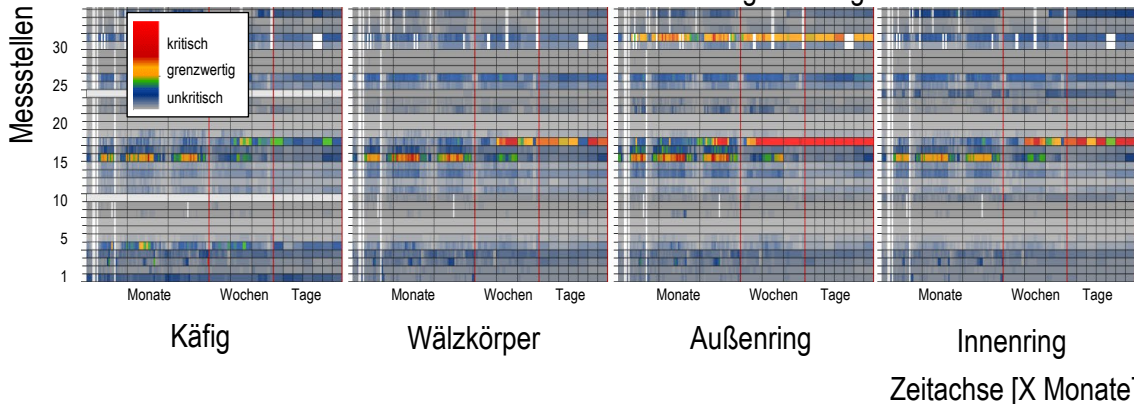
Hüllkurven-Ordnungsspektrum: Momentaufnahme einer Lagerstelle



Hüllkurventrend: Zeitliche Entwicklung einer Lagerstelle



Hüllkurvenmatrix: Überblick über die zeitliche Entwicklung aller Lagerstellen



## Wälzlagerdiagnose:

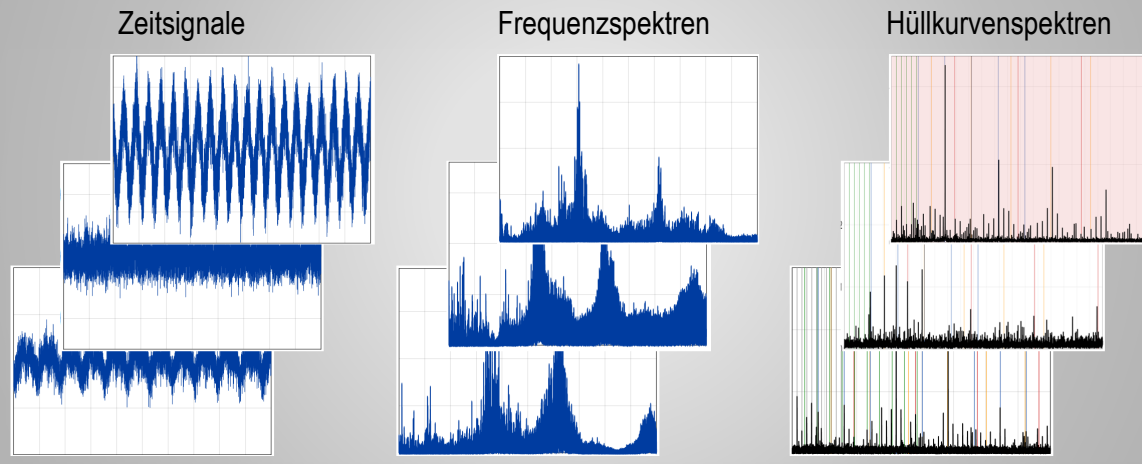
- Eine gängiges Verfahren ist die Hüllkurvenanalyse, bei dem z.T. hochfrequent stoßimpulsförmige Schwingungsereignisse auf den Wälzlagerzustand zurückgeführt werden.
- Schäden am Außenring, Innenring, den Wälzkörpern, dem Käfig oder Schadenskombinationen lassen sich zuverlässig erkennen.
- Eine möglichst frühzeitige Erkennung von Lagerschäden erfordert die Festlegung von Filtern zur Überwachung der richtigen Frequenzbänder.



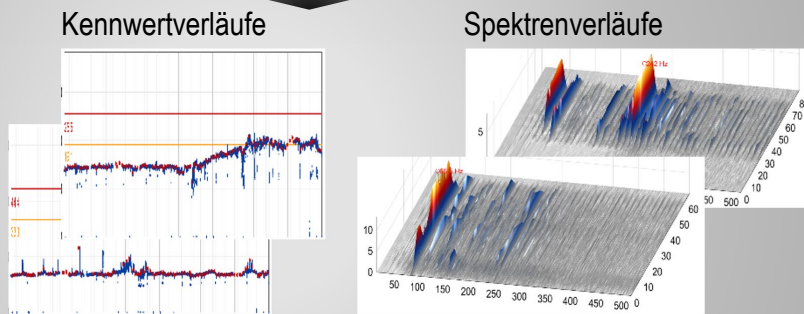
## Was wir bieten:

- Unterstützung bei der Berechnung, Analyse und Interpretation von Hüllkurvenspektren
- Objektive Zweitbeurteilung von Schwingungsereignissen zum Abgleich Ihrer Einschätzungen
- Beratung bei der Auswahl geeigneter Filter
- Festlegung von Frequenzbändern mit Warn- und Alarmgrenzen zur automatische Überwachung von Wälzlagerschäden

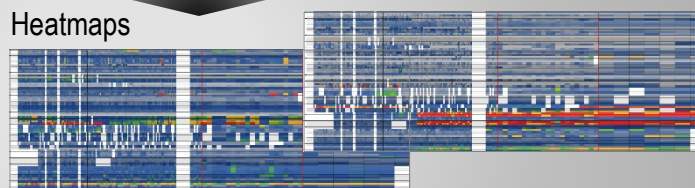
## Stufe 1: Momentaufnahmen einzelner Messstellen zu einem Zeitpunkt



## Stufe 2: Trendbetrachtung einzelner Messstellen über einen längeren Zeitraum



## Stufe 3: Trendbetrachtung aller Messstellen im Überblick (Heatmaps) über einen längeren Zeitraum

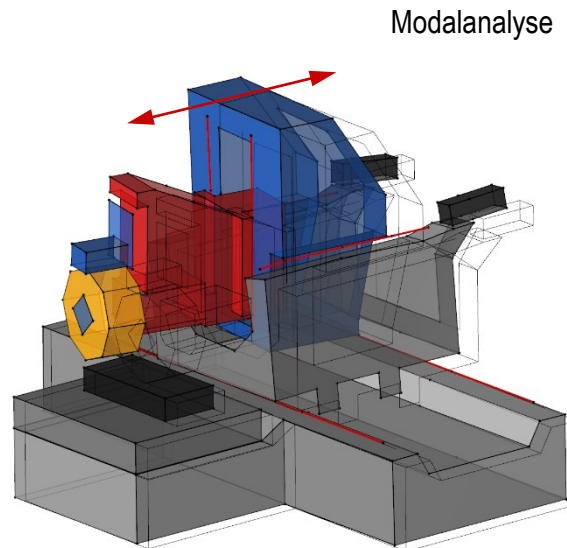
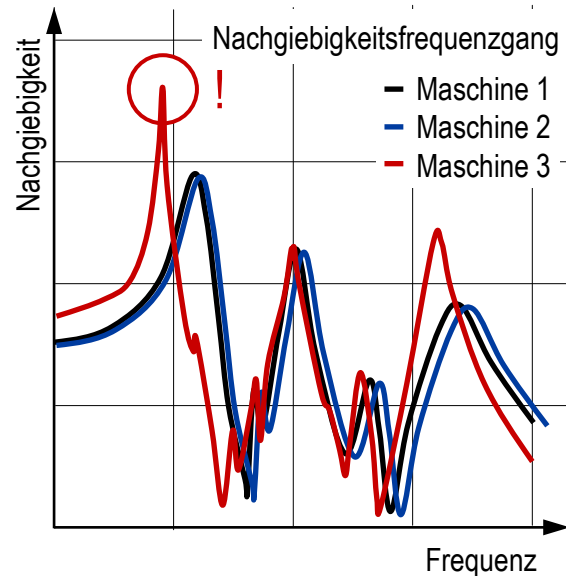
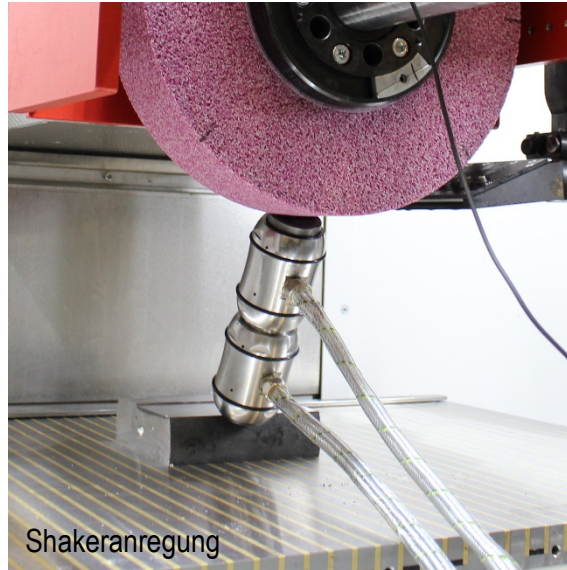


## Anlagenüberblick / tägliche Berichte:

- **Stufe 1:** Die hohe Abtastrate und Messstellenzahl führt beim Condition Monitoring zu hohen Datenmengen.
- **Stufe 2:** Notwendig ist eine sinnvolle Reduktion der Daten auf die interessierenden Schwingungsereignisse.
- **Stufe 3:** Eine kompakte und anschauliche Darstellung des Schwingungszustands ist die Voraussetzung für einen optimalen Anlagenüberblick.

## Was wir bieten:

- Umsetzung kundenspezifischer Auswertungen in Form von automatisch generierten täglichen Statusberichten.
- Unterstützung bei der Interpretation von Schwingungsereignissen, Kennwertanstiegen, Frequenz- und Hüllkurvenspektren.



## Spezielle Schwingungsprobleme:

- Nicht jedes Schwingungsproblem lässt sich auf beginnende Komponentenschäden zurückführen.
- Problematisch können Resonanzerscheinungen an Maschinenstrukturen, schnellrotierenden Wellen, Werkzeugen und Werkstücken sein, die zum frühzeitigen Verschleiß der Bauteile oder dem Ausfall der Anlage führen können.
- Ein Austausch von Bauteilen ist dabei nicht erfolgreich, da Resonanzprobleme konzeptbedingt sind.
- Die richtige Interpretation der resultierenden Schwingung ist mit einfachen Schwingungssensoren des CMS meist nicht hinreichend möglich.
- Erforderlich ist eine Untersuchung des statischen und dynamischen Steifigkeitsverhaltens sowie der Eigenschwingungsformen des problematischen Anlagenteils.

## Nutzen Sie unsere Erfahrung in der Ursachenanalyse:

- Unser Spezialgebiet ist die Schwingungsanalyse bei Resonanzproblemen von Maschinenstrukturen.
- Messtechnische Betriebsschwingungs-, Steifigkeits- und Modalanalysen ermöglichen uns eine schnelle Ermittlung der Problemursache mit Ableitung von Verbesserungsvorschlägen
- Berechnungen / Simulationen mit Hilfe der FEM helfen uns beim Nachweis des Verbesserungspotentials der vorgeschlagenen Maßnahmen.

**Ihr Kontakt**

planlauf GmbH

Gereonstr. 1

52428 Jülich

[www.planlauf.com](http://www.planlauf.com)

**Ihr Ansprechpartner**

Dr.-Ing. Severin Hannig

Telefon 02461 / 3169 565

[s.hannig@planlauf.com](mailto:s.hannig@planlauf.com)