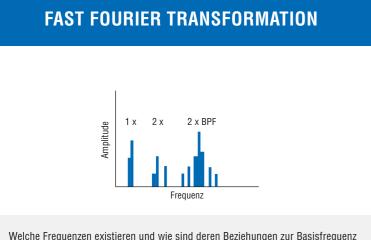


# SYMPTOME UND SCHADENSBILDER IM CONDITION MONITORING





- Welche Frequenzen existieren und wie sind deren Beziehungen zur Basisfrequenz
- Beurteilung der Intensität und deren Beziehung zueinander
- Ausgeprägte Peaks einem Symptom / einer Ursache zuordnen

**REINE UNWUCHT** 

- 180° außer Phase an der gleichen Welle
- Immer präsent bei der einfachen Drehfrequenz Amplitude variiert exponentiell zur Geschwindigkeit
- Gekennzeichnet durch hohe radiale und z.T. auch durch axiale Amplituden

# MESSRICHTUNGEN Radial und Axial

SCHLECHT AUSGERICHTETES LAGER

**UNAUSGEWUCHTETE ÜBERHÄNGENDE MASSE** 

- Amplituden bei einfacher Drehfrequenz in axialer und radialer Richtung vorhanden
- Axiale Messwerte neigen dazu in Phase zu liegen, radiale Messwerte könnten variieren

Ausgeprägte Vibrationen in axialer Richtung, ähnlich denen

Versuche die Kupplung neu auszurichten oder den Läufer auszuwuchten

Bewirkt eine Drehbewegung mit einem Phasenwechsel von ca. 180°

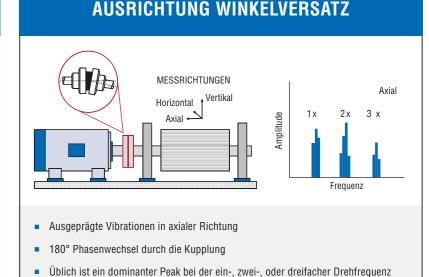
der winkligen Fehlausrichtung

führen zu keiner Lösung

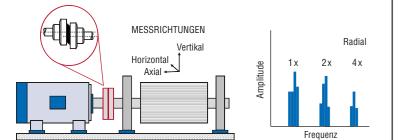
# 1 x Lüfter 1 x Motor

**EXZENTRISCHER LÄUFER** 

- Höchsten Vibrationen bei der einfachen Drehfrequenz in Richtung der rotierenden Welle
- Vergleichbare Phasengänge weichen bei 0° oder 180° von einander ab
- Auswuchten führt zu einer Richtungsverschiebung der Amplituden



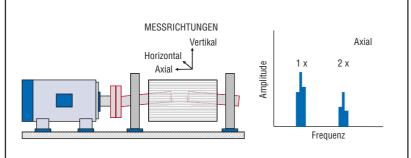
#### **AUSRICHTUNG PARALLELVERSATZ**



- Ausgeprägte Vibrationen in radialer Richtung, bei 180° aus der Phase

# • Amplitude bei zweifacher Drehfrequenz oft höher als bei der Einfachen Kupplungsgeometrie kann Einfluss auf die Form des Spektrums und der Amplituden haben

#### **VERBOGENE WELLE**



- Ausgeprägte Vibrationen in axialer Richtung
- Dominant bei der einfachen Drehfrequenz, wenn die Biegung in der Nähe des Wellenzentrums liegt
- Dominant bei der zweifachen Drehfrequenz, wenn die Biegung in der Nähe des Wellenendes liegt

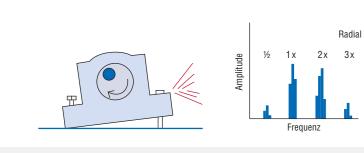
#### ANDERE URSACHEN **DER HOHEN AXIALEN VIBRATION**

- Verbogene Wellen
- Wellen die resonanzbedingte Biegeschwingungen aufweisen
- Wälzlager auf der Welle verspannt
- Resonanzen einiger Komponenten in axialer Richtung
- Verschlissene Lager
- Verschlissene schrägverzahnte Getriebe
- Motor mit Gleitlagern pendelt um seine magnetische Mitte
- Komponente durch eine dynamische Unwucht

# **MECHANISCHE LOCKERUNGEN (A)**

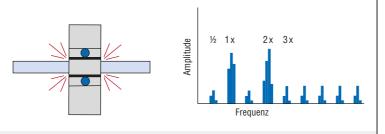
- Vibrationen in radialer Richtung durch strukturelle Schwächen des Maschinenfußes Deformation des Fundaments verursacht Probleme durch einen "soft Foot"
- Phasenanalyse zeigt einen Phasenversatz von circa 180° in vertikaler Richtung zwischen den Komponenten der Grundplatte

#### **MECHANISCHE LOCKERUNGEN (B)**



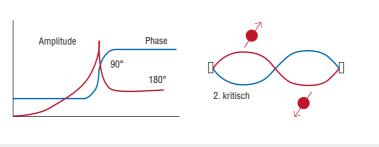
- · Vibrationen in radialer Richtung durch einen losen Lagerbock
- Peaks bei (0,5 / 1 / 2 / 3) facher Drehfrequenz
- Verursacht z.B. durch eine gebrochene Rahmenstruktur oder defekten Lagerbock

#### **MECHANISCHE LOCKERUNGEN (C)**



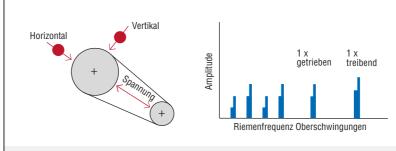
- Phasengang der Amplituden oft instabil
- Weist eine große Anzahl an Oberschwingungen auf
- Verursacht durch lose Lagerführung, überhöhte Lagerluft oder durch ein loses Antriebsrad auf der Welle

#### RESONANZBEREICH



- Tritt auf, wenn die treibende Frequenz mit der natürlichen Frequenz übereinstimmt
- 180° Phasenwechsel wenn Drehfrequenz und Resonanzfrequenz übereinstimmen Hohe Amplituden der Vibration treten auf wenn sich das System im
- Resonanz-Bereich befindet

#### ANTRIEBSRIEMEN (A) VERSCHLISSENE. LOSE ODER UNPASSENDE RIEMEN



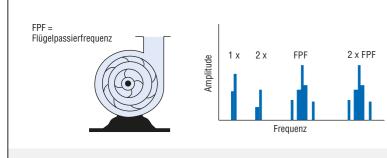
- Die zweifache Drehfrequenz tritt häufig dominant auf
- Amplituden sind normalerweise unstetig, manchmal pulsierend in Abhängigkeit der gefahrenen und getriebenen Drehfrequenz
- Verschleiß oder Fehlanordnung im Riementrieb erzeugt hohe Amplituden der Riemenfrequenz (unterhalb der Drehfrequenz)

# FEHLAUSRICHTUNG ANTRIEBSRIEMEN / RIEMENSCHEIBE

ANTRIEBSRIEMEN (B)

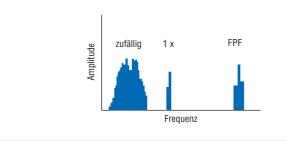
- Hohe axiale Vibrationen bei der einfachen Drehfrequenz, bedingt durch eine Fehlanordnung der Riemenscheiben
- Häufig wird die höchste Amplitude am Motor mit der Drehfrequenz

### HYDRAULISCHE UND AERODYNAMISCHE KRÄFTE



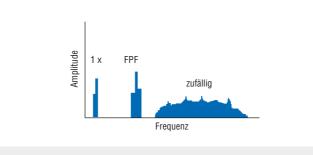
- Bei einem ungleichen Spalt zwischen den Laufschaufeln und dem Gehäuse kann die Flügelpassierfrequenz (FPF) eine hohe Amplitude aufweisen
- Eine hohe FPF bleibt bestehen, wenn der Sitz des Antriebsrades auf der Welle klemmt, oder eine Läuferexzentrizität vorliegt

#### HYDRAULISCHE UND AERODYNAMISCHE KRÄFTE STRÖMUNGSUNRUHE



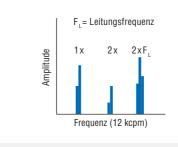
- Aufgrund von Veränderungen im Druck und der Strömungsgeschwindigkeit, treten in Gebläsen oft Strömungsunruhen auf
- Eine Vielzahl an niederfrequenten Vibrationen werden in einem weiten Frequenzbereich erzeugt, möglicherweise im Bereich von 1...40 Hz

#### HYDRAULISCHE UND AERODYNAMISCHE KRÄFTE KAVITATION



- Kavitation erzeugt zufällige Anregungen im kHz-Bereich, überlagert mit harmonischen FPF
- Deutet im Normalfall auf mangelhaften Saugdruck (NSPH)
- Erosion des Antriebsrades und des Pumpengehäuses kann auftreten, wenn die Kavitation unbeachtet bleibt

#### **ELEKTRISCHE PROBLEME** STATOR EXZENTRIZITÄT, GEKÜRZTE LAMELLEN UND LOSES BLECHPAKET

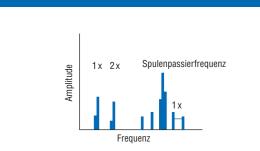


- Stator Probleme erzeugen hohe Amplituden bei 2FL (2x Netzfrequenz)
- Stator Exzentrizität produziert einen stationären unebenen Luftspalt, Vibration ist stark richtungsabhängig
- Ein "Soft Foot" (s. Mechanische Lockerungen (A)) sorgt für einen exzentrischen Stator

E-MOTOR FREQUENZEN

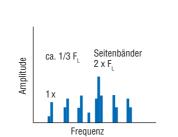
- Elektrische Netzfrequenz ( F, ) 50 Hz = 3000 U/min, 60Hz = 3600 U/min
- Anzahl der Pole (P)
- Läuferstabpassfrequenz ( F<sub>b</sub> ) Anzahl der Läuferstäbe x Läufer U/min
- Synchrondrehzahl ( $N_s$ ) =  $\frac{2 \times F_L}{}$
- Schlupffrequenz (F<sub>s</sub>) Synchrondrehzahl – Läufer U/min
- Polpassfrequenz (F<sub>P</sub>)
- Schlupffrequenz x Anzahl der Pole

#### **ELEKTRISCHE PROBLEME** SYNCHRONMOTOR (LOSE STATORENTWICKLUNG)



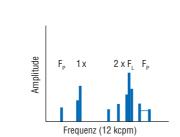
- Lose Statorwicklungen in Synchronmotoren erzeugen hohe Amplituden
- in der Wicklungspassfrequenz

#### **ELEKTRISCHE PROBLEME** STROMVERSORGUNG PHASENPROBLEME (LOSE VERBINDUNGEN)



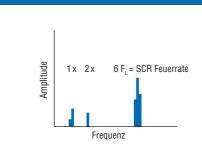
- Synchronisierungsprobleme können exzessive Vibrationen
- der 2 F, mit den 1/3 F, Seitenbändern bewirken ■ Die Levels bei 2 F, können 25 mm/s überschreiten
- Ein besonderes Problem entsteht, wenn der defekte Anschluss intermittierenden Kontakt hat

#### **ELEKTRISCHE PROBLEME** EXZENTRISCHER LÄUFER (VARIABLER LUFTSPALT)



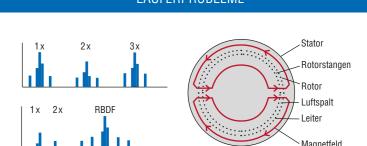
- Exzentrische Läufer produzieren einen rotierenden variablen Luftspalt, dieser sorgt für die Entstehung von pulsierenden Vibrationen
- Oft ist es notwendig das Spektrum zu vergrößern,
- um 2 F, und die drehfrequenten Oberschwingungen zu trennen Häufige Werte von F<sub>p</sub> reichen von 20 − 120 RPM

#### **ELEKTRISCHE PROBLEME GLEICHSTROMMOTORPROBLEME**



- Probleme an Gleichstrommotoren erkennt man an höheren, als normal üblichen,
- Amplituden der "SCR firing rate" (Vollbrücke 3 ~ 6x) Ursachen können hier u.a gebrochene Feldwicklungen sein
- Probleme mit Sicherungen und Steuerkarten können hohe Amplitudenspitzen bei Frequenzen von 1 ... 5 x Netzfrequenz verursachen

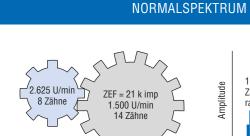
#### **ELEKTRISCHE PROBLEME** LÄUFERPROBLEME



- 1 x, 2 x, 3 x der Drehfrequenz mit Polpassfrequenten Seitenbändern deuten auf Läuferstabprobleme hin
- Zweifache netzfrequente Seitenbänder an der Läuferstabpassfrequenz (RBPF) deuten auf lose Läuferstäbe hin

• Oft hohe Amplituden bei zweifacher und dreifacher Läuferstabpassfrequenz

## **GETRIEBE**



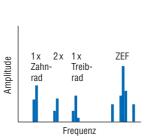
ZEF 1x 2x 1x rad

1 x Zahnrad

Frequenz

- Normales Spektrum zeigt einfache und zweifache Zahneingriffsfrequenz ZEF
- ZEF hat üblicherweise Seitenbänder aus der Drehfrequenz
- Alle Peaks weisen eine flache Amplitude auf und es sind keine natürlichen Frequenzen vorhanden

#### **GETRIEBE** ZAHNLAST



**GETRIEBE** 

NACHLAUFENDER ZAHN

(TZAHNRAD) (TRITZEL)

Fehler können durch fehlerhafte Herstellung oder falsche Handhabung entstehen

- Zahneingriffsfrequenzen werden oft durch die Last erregt
- Hohe ZEF Amplituden deuten nicht notwendigerweise auf ein Problem hin
- Jede Analyse sollte durchgeführt werden, wenn das System bei maximaler Last arbeitet

#### GETRIEBE ZAHNVERSCHLEISS



1x 2x 1x

- Verschleiß macht sich durch Anregung der natürlichen Frequenzen mitsamt der Seitenbänder, bei einfacher Drehfrequenz des schlechten Zahnrades bemerkbar
- Seitenbänder sind ein besserer Verschleißindikator als die ZEF
- ZEF muss sich nicht unbedingt in der Amplitude verändern, wenn der Verschleiß auftritt

## GETRIEBE EXZENTRIZITÄT UND SPIEL

1x 2x 1x

Zahn-rad

 Ziemlich hohe Amplitude der Seitenbänder um ZEF deutet auf Exzentrizität, Spiel oder auf nicht parallel angeordnete Wellen hin

ZONE A

1x 2x 3x

oder Shock Impulse

 Das problematische Zahnrad wird die Seitenbänder modulieren Unzulässiges Spiel regt normalerweise die natürliche Frequenz an

# GETRIEBE ZAHNRADFEHLANORDNUNG 2 x ZEF

WÄLZLAGER

STUFE 2 SCHADENSART

ZONE C

ZONE B

 Die Zahnradfehlanordnung regt fast immer nebensächliche oder höhere Oberschwingungen mit den Seitenbändern bei Drehfrequenz an

Kleine Amplitude bei einfacher ZEF, höhere Stufen bei zweifacher

Es ist wichtig F<sub>max</sub> hoch genug anzusetzen, um wenigstens

und dreifacher ZEF

zweifache ZEF zu erfassen

ZONE A

1x 2x 3x

die natürliche Frequenz bemerkbar

und unter der natürlichen Frequenz auf

Erste geringfügige Schäden machen sich am Lagerring über

Am Ende der Schadstufe 2, treten die Seitenbandfrequenzen über

■ Diese Frequenzen sind im Spektrum zwischen 500 ... 2.000 Hz zu messen

### **GETRIEBE** ANGEBROCHENER / GEBROCHENER ZAHN



- Ein angebrochener oder gebrochener Zahn erzeugt eine hohe Amplitude
- bei einfacher Drehfrequenz des Getriebes Es wird die einfache Drehfrequenz mit den Seitenbändern, bei normaler
- Drehfrequenz angeregt Lässt sich am besten mit dem Zeitsignal herausfiltern

einhergehend mit einer Erhöhung der Seitenbänder

• Verschleiß ist jetzt sichtbar und kann sich auf den Lagersitz ausbreiten

Spike Energy™ erhöht sich und liegt dann zwischen 0,5 – 1,0 gSE

#### • Vibration tritt bei geringer Drehzahl auf und kann auf Grund dieser Tatsache oft übersehen warden (ggf. brummender Ton) Der Effekt tritt auf, wenn das fehlerhafte Zahnrad und die fehlerhaften Zähne

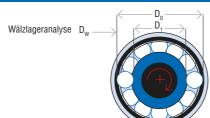
des Zahnrads gleichzeitig in Eingriff kommen

 $_{L} = (U/MIN) NA$ 



- Wälzlager Schadfrequenzen und Oberschwingungen tauchen auf Breitbandanregungen in Form einer "Frequenzwolke" ersetzt Deutlicher Anstieg der Oberschwingungen bei zunehmendem Verschleiß,
  - Gegen Ende der Stufe 4, ist die Amplitude bei einfacher Drehfrequenz
  - Hochfrequente-, Breitbandamplituden und Spike Energy können sich vermindern Kurz vor dem Lagerausfall, deutliche Amplitudenerhöhung beim qSE

#### WÄLZLAGER BERECHNUNG DER SCHADENSFREQUENZEN AN WÄLZLAGERN



- fKä Rotationsfrequenz Käfig Überrollfreguenz Außenring Überrollfreguenz Innenring Wälzkörperrotationsfrequenz Wälzkörperdurchmesser Teilkreisdurchmesser Drehfrequenz der Welle
- $fA = fn/2 * z * (1 Dw/DT * cos \alpha B)$ 
  - - Erste Hinweise auf Wälzlagerschäden lassen sich im Ultraschallbereich messen
    - Für diese Stufe dürfte die Amplitude der Spike Energy™ erst bei circa 0,25 gSE liegen

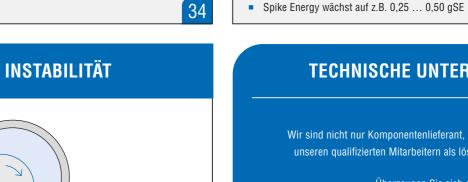
In der Literatur u.a. zu finden unter den Begriffen Spike Energy™, gSE, HFD(g)

WÄLZLAGER

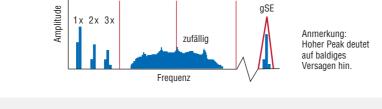
STUFE 1 SCHADENSART

ZONE C

ZONE B



#### WÄLZLAGER WÄLZLAGER STUFE 3 SCHADENSART ZONE C



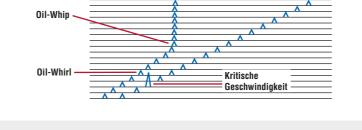
- Dezente Wälzlager Schadfrequenzen verschwinden und werden durch zufällige Bei Übereinstimmung der oil-whirl-Frequenz und einer mechanischen Eigenfrequenz kommt es zu auffallend stark erhöhten lastabhängigen Schwingungen (oil-whip)

# OIL-WHIP INSTABILITÄT

 $fI = fn/2 * z * (1 + Dw/DT * cos \alpha B)$ 

 $fK\ddot{a} = fn/2 * (1 - Dw/DT * cos \alpha B)$ 

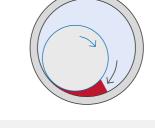
 $fwk = fn/2 * DT/DW * z * [1 - (Dw/DT * cos \alpha B)^2]$ 



• Wenn der Läufer mit zweifach kritischer Frequenz betrieben wird, ist der oil-whirl nah im kritischen Zustand und die exzessive Vibration wird dafür sorgen, das der Ölfilm die Welle nicht mehr richtig schmiert

# • Wenn die Drehzahl erhöht wird, wird sich die Whipfrequenz nicht erhöhen

## OIL-WHIRL INSTABILITÄT



- Das Vorstadium einer Gleitlagerinstabilität tritt meist mit mäßigen Amplituden und einer Frequenz unterhalb der halben Drehfrequenz auf (oil-whirl)
- Tritt normalerweise bei 42 48 % der Drehfrequenz auf • Der Oil-Whirl ist von Natur aus instabil, bedingt dadurch, dass die Zentrifugalkräfte sich mit der Drehzahl erhöhen, welche wiederum dafür sorgen das sich die Strudelkräfte verstärken

## TECHNISCHE UNTERSTÜTZUNG Wir sind nicht nur Komponentenlieferant, sondern verstehen uns mit unseren qualifizierten Mitarbeitern als lösungsorientierter Partner. Überzeugen Sie sich selbst! Die PCB-Mitarbeiter freuen sich darauf Sie zu beraten! Weitere Informationen und Neuigkeiten zu unseren Produkten finden Sie unter www.pcbpiezotronics.de **®PCB PIEZOTRONICS ®ENDEVCO**

# **PCB Piezotronics GmbH** | Porschestraße 20 – 30 | 41836 Hückelhoven | Tel.: 0 24 33/44 44 40 – 0 | info.de@pcb.com | www.pcbpiezotronics.de