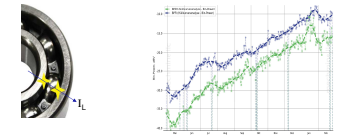


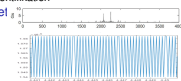
- ▶ Einführung in das Thema
- ▶ Motivation für einen neuen Kennwert
- ▶ Erklärung des Kennwertes
- ▶ 6 Beispiele aus der Praxis
- ▶ Zusammenfassung

- ▶ Strategien bei der Wartung
  - ▶ Reaktiv - Reparatur nach Schaden
  - ▶ Zustandsbasiert - regelmäßige Inspektion
  - ▶ Präventiv - nach Betriebsstunden
  - ▶ Prädikativ - auf Vorhersage
- ▶ Anlagenprobleme
  - ▶ **Maschinenfehler** – kann korrigiert werden
    - ▶ Unwucht, Ausrichtfehler, lose Befestigung, Schmierproblem
  - ▶ **Maschinenschaden** – muss repariert werden
    - ▶ Wälzlager oder Getriebezahrad Defekt, Wellenniss

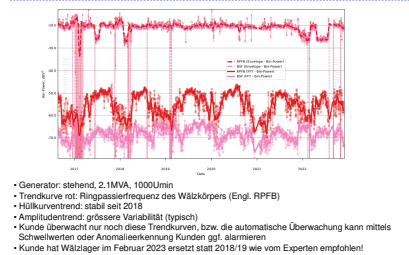
- ▶ Ermöglichen auch die Identifikation der Ursache von Defekten
- ▶ Beispiele: Detektion von Lagerstößen bei Elektromotoren, Phasensmessung
- ▶ Wenn BPFI (Ball Pass Frequency of Inner-ring) und BPFO (Ball Pass Frequency Outer-race) Trend parallel ansteigen, dann ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Ursache des Lagerdefekts Lagerströme sind!



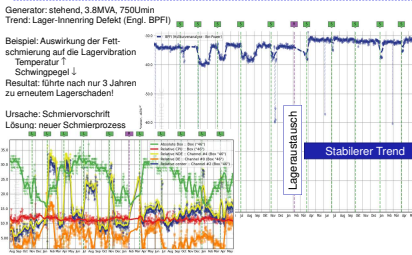
- ▶ Für KI Training: Massenherstellung „realer“ synthetischer Daten
  - ▶ Wie vergleicht man „Qualität“ - Felddaten vs. synthetische Daten
- ▶ Vergleich von publizierten Resultaten fast unmöglich
- ▶ Öffentliche Datensätze: CWRU, NASA, PHM, Paderborn, opendata, UC-Berkeley, zandoo, mendelley, KAU etc.
- ▶ Definition von „Schaden“ nicht praxisnah, z.B.  $a > 20g$
- ▶ Hohe Beschleunigungswerte → triviale Identifikation
- ▶ „Qualität“ der Daten nicht gewährleistet
  - ▶ z.B. unerkannter Sampling-jitter
- ▶ Begriff „Datenqualität“ ist hier schwer definierbar weil sehr komplex!



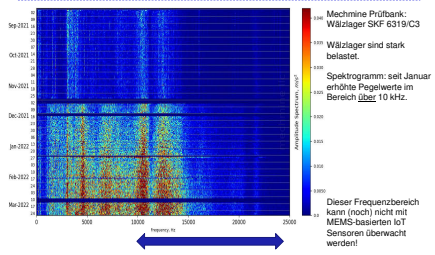
- ▶ Ziel: Eine Kennzahl zur Maschinen Zustandsbeschreibung (Komponentendefekten, Maschinenfehlern), aber auch hilfreich für die Beschreibung von Vibrationsdaten (Charakteristik) und den Vergleich von Analyseverfahren (Resultaten)



- Generator: stehend, 2.1MVA, 1000U/min
- Trendkurve rot: Ringassesserfrequenz des Wälzkörpers (Engl. RPFB)
- Hüllkurventrend: stabil seit 2018
- Amplitudentrend: größere Variabilität (typisch)
- Kunde überwacht nur noch diese Trendkurven, bzw. die automatische Überwachung kann mittels Schwellwerten oder Anomalieerkennung Kunden ggf. alarmieren
- Kunde hat Wälzlager im Februar 2023 ersetzt statt 2018/19 wie von Experten empfohlen!

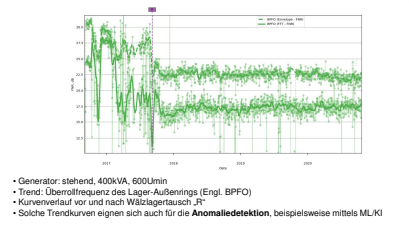


- Generator: stehend, 3.2MVA, 750U/min  
 Trend: Lager-Innenring Defekt (Engl. BPFI)
- Beispiel: Auswirkung der Fettschmierung auf die Lagervibration  
 Temperatur ↑  
 Schwingpegel ↓  
 Resultat: führte nach nur 3 Jahren zu erneutem Lagerschaden!
- Ursache: Schmierverschleiß  
 Lösung: neuer Schmierprozess

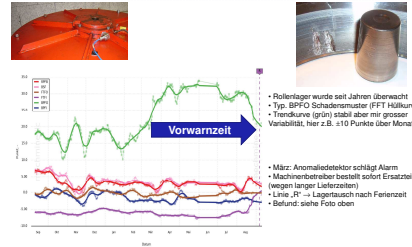


- Mechmine Prüfbank:  
 Wälzlager SKF 6319/C3  
 Wälzlager sind stark belastet.  
 Spektrogramm: seit Januar erhöhte Pegelwerte im Bereich über 10 kHz.  
 Dieser Frequenzbereich kann (noch) nicht mit MEMS-basierten IoT Sensoren überwacht werden!

- ▶ Produktionsverluste: installierte Schwingungsüberwachung (Schwinggeschwindigkeit) verursacht Notabschaltungen wenn  $v > 25 \text{ mm/s}$
- ▶ Dauerüberwachung, parallel lückenlose Datenakquise mit 52.5 ksp/s
- ▶ Messung: keine  $v$ -Werte  $> 4.5 \text{ mm/s}$ , kein mechanischer Schaden oder Fehler entdeckt (Gewissheit dank hochaufgelöster Daten und Trends)
- ▶ Ursache: Sensoren (Messbandbreite entsprach u.a. nicht der Norm)
- ▶ Neue Sensoren: Anlage produziert nun unterbrechungsfrei Strom, und eine Fettschmierung führt auch nicht mehr zur Maschinenabschaltung



- Generator: stehend, 400kVA, 600U/min
- Trend: Überrollfrequenz des Lager-Außenrings (Engl. BPFO)
- Kurvenverlauf vor und nach Wälzlageraustausch JT
- Solche Trendkurven eignen sich auch für die Anomaliedetektion, beispielsweise mittels MLKI



- Rollenlager wurde seit Jahren überwacht
- Typ. BPFO Schalenmaterial (FFT Hüllkurve)
- Trendkurve (grün) stabil aber mit grosser Variabilität; hier z.B.  $\pm 10$  Punkte über Monate
- März: Anomaliedetektor schlägt Alarm
- Maschinenbetreiber bestellt sofort Ersatzteile (wegen langer Lieferzeiten)
- Linie JT → Lageraustausch nach Ferienzeit
- Befragung: siehe Foto oben

- ▶ Ein Vergleich von publizierten Resultaten und Verfahren ist heute sehr schwierig.
- ▶ Viele Maschinenkomponenten generieren deterministische Frequenzen, Beispiel Zahneingriffsfrequenz.
- ▶ Die Schwere eines Komponentendefektes lässt sich mit der vorgestellten Methode eingrenzen bzw. quantifizieren.
- ▶ Hochaufgelöste Daten, d.h.  $f_s > 25 \text{ kHz}$ , sind dafür notwendig. Glücklicherweise sind solche high-resolution Systeme heute erschwinglich.
- ▶ Eine einheitliche Notation bzw. Kennwert in diesem zukunftsreichen und praxisorientierten Forschungsbereich wäre für alle Beteiligten ein Gewinn.
- ▶ FNR ist nachvollziehbar und wäre auch zertifizierbar, z.B. für den Einsatz in regulierten Branchen.