TECHNISCHE NOTIZ

Schwingungsanalyse: was sie über eine Maschine sagen kann und was nicht

Bei der Schwingungsüberwachung wird viel versprochen und wenig erklärt. Diese Notiz führt die technischen Voraussetzungen auf, unter denen eine Messung belastbar ist, die Fälle in denen sie es nicht ist, und die Fragen, die man einem Anbieter vor der Unterschrift stellen sollte.

Bludocknet Srl · September 2026

Wer ein System für vorausschauende Instandhaltung bewertet, bekommt fast immer dasselbe Verkaufsmaterial zu sehen: einen Sensor, ein Dashboard und das Versprechen, im Voraus zu wissen, welches Bauteil ausfallen wird. Das Versprechen ist technisch möglich, aber nur unter bestimmten Bedingungen, und in einer Produktionshalle sind diese Bedingungen häufig nicht gegeben.

Das Ergebnis ist absehbar. Die Anlage wird installiert, erzeugt Alarme, die niemand deuten kann, und nach einigen Monaten öffnet niemand mehr das Dashboard. Nicht weil die Technik nicht funktioniert, sondern weil sie an einer Maschine eingesetzt wurde, die die Voraussetzungen nicht erfüllt.

Diese Notiz richtet sich an diejenigen, die entscheiden müssen. Sie enthält keine Leistungszahlen und keine Kundenbeispiele: sie beschreibt die physikalischen Randbedingungen des Problems, die für jeden Anbieter dieselben sind.

Was ein Beschleunigungssensor tatsächlich misst

Ein auf einem Gehäuse montierter Beschleunigungssensor misst die Beschleunigung dieses Punktes entlang einer oder mehrerer Achsen. Er misst nicht den Zustand eines Lagers, eines Getriebes oder eines Riemens: er misst die Bewegung eines Metallteils, auf das summiert alle Kräfte wirken, die von der Maschine und von ihrer Umgebung erzeugt werden.

Aus dem Signal wird in der Regel ein Gesamtkennwert der Schwingstärke abgeleitet, typischerweise die Effektivwertgeschwindigkeit im Band 10-1000 Hz gemäß der Normenreihe ISO 20816 (die ISO 10816 abgelöst hat), sowie ein durch Transformation gewonnenes Frequenzspektrum. Der Gesamtkennwert sagt, *wie stark* etwas schwingt. Im Spektrum sollte sich zeigen, *warum*.

Zwei Wege, die nicht dasselbe sind

Unter dem Begriff „vorausschauende Instandhaltung“ existieren zwei sehr unterschiedliche Ansätze nebeneinander, und ihre Verwechslung ist die Ursache der meisten Enttäuschungen.

Bauteildiagnose

Das ist der klassische Ansatz der Schwingungsanalyse. Geometrie und Kinematik der Maschine sind bekannt, die charakteristischen Schadensfrequenzen werden berechnet und im Spektrum gesucht. Ein Wälzlager hat vier in der Literatur bekannte Frequenzen für Schäden an Außenring, Innenring, Wälzkörper und Käfig, die von Anzahl und Durchmesser der Wälzkörper, vom Teilkreisdurchmesser und vom Druckwinkel abhängen. Ein Zahnrad erzeugt eine Harmonische beim Produkt aus Zähnezahl und Drehzahl. Unwucht zeigt sich in der ersten Ordnung, Fluchtungsfehler typischerweise in der zweiten.

Wenn diese Linien auftreten und wachsen, lässt sich sagen, welches Bauteil sich verschlechtert. Das ist echte Diagnose.

Anomalieerkennung

Das ist ein anderer Ansatz, und er setzt keine Kenntnis der Maschine voraus. Man erfasst, wie sie schwingt, wenn sie gut läuft, bildet daraus eine Referenz und meldet, wenn sich das Verhalten statistisch signifikant von dieser Referenz entfernt.

Er sagt nicht, welches Bauteil. Er sagt, dass sich etwas verändert hat, wann es sich verändert hat und auf welcher Achse oder in welchem Frequenzband.

> **DER ENTSCHEIDENDE PUNKT**
>
> Die Bauteildiagnose ist aussagekräftiger, hat aber strenge Voraussetzungen. Die Anomalieerkennung ist weniger aussagekräftig, hält aber realen Bedingungen stand. Ein Anbieter, der die erste an einer Maschine verspricht, welche die Voraussetzungen nicht erfüllt, kennt sie entweder nicht oder verschweigt sie.

Sieben Randbedingungen, die über die Belastbarkeit einer Messung entscheiden

1. Konstante Drehzahl

Die Frequenzanalyse setzt voraus, dass die Maschine stets mit derselben Drehzahl läuft. Ändert sich die Drehzahl, verschiebt und verbreitert sich jede Linie im Spektrum, und die charakteristischen Frequenzen werden unlesbar. Es gibt ein Mittel: Man erfasst ein Referenzsignal der Drehung und geht von der Frequenz- zur Ordnungsanalyse über. Dieses Signal muss jedoch vorhanden sein, und an einer bestehenden Maschine ist es ohne zusätzlichen Eingriff oft nicht verfügbar.

Viele moderne Produktionsmaschinen laufen umrichtergeregelt, mit fortlaufenden Rampen und Drehzahlwechseln. Das ist der erste Grund, warum eine aus dem Turbomaschinenbau übernommene Diagnoseanalyse in der Fertigung nicht funktioniert.

2. Wiederholbare Lastbedingungen

Eine Maschine, die unterschiedliche Produkte fertigt, schwingt unterschiedlich, und das zu Recht. Ein Wechsel von Format, Werkzeug, Rezeptur oder Material verschiebt die Referenz.

Kann das System den Rüstwechsel nicht von einer Verschlechterung unterscheiden, erzeugt es bei jedem Artikelwechsel Alarme, und nach wenigen Wochen sieht der Bediener nicht mehr hin.

Die Lösung besteht darin, für jeden Betriebszustand eine eigene Referenz zu bilden, nicht nur eine einzige. Das setzt voraus, den Zustand der Maschine lesen zu können und nicht nur ihre Schwingung: deshalb liefert der Schwingungswert allein, ohne Prozesskontext, deutlich weniger als er könnte.

3. Sensormontage

Das ist die am meisten unterschätzte Randbedingung und die am leichtesten falsch gemachte. Die Art der Befestigung bestimmt das nutzbare Frequenzband, und der Unterschied zwischen den Montagearten beträgt eine Größenordnung:

BEFESTIGUNG	NUTZBARES BAND	ANMERKUNGEN
Gewindebolzen auf plangefräster Fläche	Am größten	Qualitätsmaßstab, erfordert Bearbeitung
Verklebung mit steifem Klebstoff	Gut	Häufiger Kompromiss, klebstoffabhängig
Magnetfuß	Eingeschränkt	Praktisch, schneidet aber hohe Frequenzen ab
Handsonde	Stark eingeschränkt	Nur für grobe Vergleichsmessungen

Lagerschäden im Anfangsstadium zeigen sich gerade bei hohen Frequenzen. Ein Sensor auf Magnetfuß erkennt sie kaum, bevor sie ohnehin deutlich sind, und dann ist die Vorwarnzeit bereits geschrumpft.

4. Messstelle

Der Sensor gehört so nah wie möglich an das zu überwachende Lager, auf dem steifsten Weg dorthin. Jede Fügestelle, jede Abdeckung und jedes zwischenliegende Blech dämpft das Signal und verändert seinen Inhalt. Ein auf einer Schutzabdeckung montierter Sensor misst vor allem die Resonanz dieser Abdeckung.

5. Spektrale Auflösung gegen Batterielaufzeit

Zwei dicht beieinander liegende Linien im Spektrum zu trennen erfordert ein langes Messfenster: die Frequenzauflösung ist der Kehrwert der Messdauer. Lange Messungen sind nötig, um etwa die Drehfrequenz von den Seitenbändern zu trennen, die auf eine Modulation hinweisen.

Bei einem batteriebetriebenen Sensor steht das im direkten Konflikt mit der Laufzeit: je mehr gemessen und gesendet wird, desto kürzer hält sie. Das ist ein ingenieurtechnischer Zielkonflikt und kein kommerzielles Detail, und er sollte vor der Installation geklärt werden, nicht danach.

6. Störpegel in der Halle

Eine starr auf einer gemeinsamen Bodenplatte verschraubte Maschine nimmt die Schwingungen benachbarter Maschinen auf. In einer dicht belegten Halle gehört ein Teil dessen, was der Sensor aufzeichnet, nicht zu der Maschine, auf der er montiert ist. Das verhindert die Überwachung nicht, hebt aber die Schwelle an, unterhalb derer nichts mehr unterscheidbar ist.

7. Die für die Diagnose nötigen Daten existieren oft nicht

Zur Berechnung der Schadensfrequenzen eines Lagers werden dessen geometrische Daten benötigt. An einer fünfzehn Jahre alten, womöglich umgebauten Maschine, mit einem Lager, das ein Instandhalter durch ein Äquivalent einer anderen Marke ersetzt hat, sind diese Daten nicht vorhanden. Keine Auswertung kann sie aus dem Signal zurückgewinnen.

Deshalb ist die Diagnose auf Bauteilebene bei dokumentierten kritischen Anlagen realistisch und bei einem heterogenen Maschinenpark deutlich weniger.

Wann es sich ohnehin nicht lohnt: die redundante Maschine

Es gibt eine Bedingung, die eine Überwachung selbst dann sinnlos macht, wenn alles andere stimmt, und sie ist nicht technischer Natur.

Steht eine Maschine still und verteilt sich die Produktion ohne nennenswerten Verlust auf andere Maschinen, ist die Vorwarnung nichts wert. Zehn Tage im Voraus zu wissen, dass sich ein Motor verschlechtern wird, ändert keine Entscheidung, denn die Entscheidung — anhalten und tauschen — lässt sich ohnehin dann treffen, wenn es eintritt.

Zustandsüberwachung hat dort wirtschaftlichen Wert, wo der Stillstand einer Maschine etwas Nachgelagertes anhält: eine getaktete Linie, einen kontinuierlichen Prozess, einen Engpass. Das ist die erste Frage, noch vor jeder technischen Bewertung.

Fragen an einen Anbieter

Keine davon ist eine unfreundliche Frage. Es sind die Fragen, die ein seriöser Anbieter erwartet und gerne beantwortet.

- **Führt das System eine Bauteildiagnose oder eine Anomalieerkennung durch?** Lautet die Antwort auf das Erste, fragen Sie, welche kinematischen Daten benötigt werden und wer sie liefert.
- **Wie wird mit variabler Drehzahl umgegangen?** Läuft die Maschine umrichtergeregelt, muss geklärt sein, ob eine Drehzahlreferenz vorliegt oder nur Gesamtkennwerte verwendet werden.
- **Was geschieht beim Produktwechsel?** Eine einzige Referenz an einer Maschine mit wechselnden Artikeln erzeugt Fehlalarme.
- **Welche Befestigung ist vorgesehen, und welches Frequenzband gewährleistet sie?**
- **Wie oft wird das Signal erfasst, und wie lange?** Und mit welcher Laufzeit bei Batteriebetrieb.

- **Wie lange dauert die Lernphase, bis die Alarme belastbar sind?**
- **Wer erhält den Alarm und was tut er damit?** Ein Alarm in einem Postfach, das niemand liest, ist ein Kostenfaktor und keine Leistung.
- **Wo liegen die Daten und wem gehören sie?** Diese Frage gehört an den Anfang, denn nach Vertragsabschluss ist sie nicht mehr verhandelbar.

Kurz gefasst

Die Schwingungsanalyse ist innerhalb ihres Anwendungsbereichs ein ausgereiftes und verlässliches Werkzeug. Dieser Bereich ist enger, als üblicherweise dargestellt wird, und der schnellste Weg, eine Investition zu verschwenden, besteht darin, sie dort einzusetzen, wo die Voraussetzungen fehlen.

An einer kritischen, nicht redundanten Maschine mit wiederholbaren Betriebsbedingungen und gut montiertem Sensor erhält man eine Vorwarnzeit, die etwas wert ist. Bei einem heterogenen Maschinenpark mit variabler Drehzahl besteht das realistische Ziel nicht darin zu wissen, welches Lager ausfallen wird: es besteht darin zu bemerken, dass sich eine Maschine anders verhält als zuvor, und nachzusehen.

Das ist ein weniger spektakuläres Ziel. Es ist auch das einzige, das auf Dauer trägt.

Woher diese Notiz stammt

Verfasst hat sie Bludocknet, Entwickler von Box4AI, einer Plattform für industrielle Überwachung. Unser Modul zur Schwingungsüberwachung arbeitet mit Anomalieerkennung: es lernt, wie eine Maschine schwingt, wenn sie gut läuft, und meldet, wenn sich dieses Verhalten ändert. Es führt keine Diagnose auf Bauteilebene durch, und oben haben wir erläutert, warum es in vielen realen Fällen nicht redlich wäre, das Gegenteil zu behaupten.

Wenn Sie ein Projekt prüfen und eine Einschätzung wünschen, ob Ihre Maschine die Voraussetzungen erfüllt, schreiben Sie uns: info@bludocknet.com