

Condition Monitoring an Nebenaggregaten – technische Grundlagen für ein Lastenheft

0 Motivation zu diesem Text

Wir, die GfM Gesellschaft für Maschinendiagnose mbH als Hersteller von Systemen zum Condition Monitoring und Anbieter entsprechender Services, werden von potentiellen Kunden gelegentlich gebeten, einige technische Parameter als Zuarbeit zu Lastenheften oder ähnlichen firmeninternen Niederschriften zur Einführung von Condition Monitoring beizusteuern. Dieses Ansinnen ist auch absolut nachvollziehbar, und niemandem muss es peinlich sein, diesbezügliche Hilfe in Anspruch zu nehmen. Schließlich spielt die Maschinendiagnostik auch im Jahr 2020 noch eine Nebenrolle in der industriellen Antriebstechnik. Auch wenn die Begriffe inzwischen in vielen Studiengängen genannt werden, werden doch technisches Tiefenwissen und praktische Erfahrung meist kaum vermittelt. Folgerichtig gibt es Berührungspunkte. Diese wollen wir abbauen helfen.

1 Aufgabenstellung

In vielen Produktionsbetrieben gibt es Lüfter, Pumpen, Kompressoren, Gurtförderer und vieles mehr, die gern in der Rubrik Nebenaggregate zusammengefasst werden, weil sie nicht direkt mit dem Hauptprodukt in Verbindung stehen. Fälschlicherweise wird mit dem Begriff Nebenaggregate dann auch gleich assoziiert, dass sie weniger wichtig seien. In der Regel tragen sie aber ebenso zum Unternehmenserfolg bei und verdienen daher auch bei der Instandhaltung die gleiche Aufmerksamkeit, wie die Hauptkomponenten einer Produktionskette.

Oft sind es wälzgelagerte Elektromotoren, die die Nebenaggregate antreiben. Häufig wird die Drehzahl mittels wälzgelagerter Getriebe reduziert, während Drehmomente erhöht werden. Und dann haben die eigentlichen Maschinen meist wenigstens Wälzlager.

Wälzlager werden für eine konkrete Belastung und eine theoretische Lebensdauer konzipiert. Sie unterliegen planmäßig Schädigungseinflüssen. Zahnräder werden heutzutage meist dauerfest gerechnet. Doch da die Einsatzbedingungen oft nicht perfekt sind, kann es auch hier zu Schädigungsprozessen kommen.

Die regelmäßige Sichtkontrolle von Antriebselementen ist aufwändig und zum Teil gar nicht möglich. Temperaturüberwachung reagiert vergleichsweise spät. Bleibt die Schwingungsdiagnose, ein sehr effizientes Werkzeug, das Mitte der 1960er Jahre bereits reichlich beschrieben wurde, sich aber erst mit der digitalen Rechentechnik zu einem allgemein akzeptierten Baustein in der Instandhaltung entwickelt hat.

2 Schwingungsdiagnose

Schwingungsdiagnose ist eigentlich recht simpel. Man misst das Schwingungssignal, das der Antrieb während seines normalen Betriebs erzeugt, und sucht in diesem Signal nach Mustern, die für einen Schaden typisch sind. Wenn solche Muster nicht gefunden werden, ist der Antrieb in Ordnung.

Erfassen kann man Schwingungen mit entsprechenden Sensoren. Meist sind es piezoelektrische Beschleunigungssensoren. Diese werden fest mit dem Antrieb verbunden – per Magnet für mobile Messungen oder mit Epoxidharzkleber bei Dauerüberwachungssystemen. Per Kabel wird der Sensor mit einem Analysator verbunden. Dieser besteht hardwareseitig meist aus einem PC sowie entsprechenden Eingangsmodulen für die Signale. Die Intelligenz des Systems steckt in der Software.

Zusätzlich wird die Drehzahl gemessen.

Die gemessenen Signale werden zunächst gespeichert. Dann werden Spektren und Hüllkurvenspektren berechnet. In den Spektren stellen sich alle energiereichen, sinusförmigen Schwingungen dar, wie sie von Unwucht, Ausrichtfehlern und Verzahnungsdefekten kommen. Im Hüllkurvenspektrum findet man dagegen die energiearmen Stoßanregungen, die bei Wälzlagerdefekten oder Wellenanriss entstehen. In den Spektren kann man die Frequenzen der enthaltenen Schwingungen exakt ablesen.

Um nun aber zu erkennen, ob eine Schwingung mit einer bestimmten Frequenz zu einem Schadensereignis gehört, muss man die kinematischen Frequenzen eines Antriebs kennen. Diese berechnet man auf Basis der Drehzahl und der mechanischen Gegebenheiten in den Wälzlagern und der Zähnezahl bei Getriebestufen.

Alternativ zu Spektrum und Hüllkurvenspektrum kann man Ordnungsspektrum und Hüllkurvenordnungsspektrum berechnen. Dabei wird ein Bezug zur Drehzahl hergestellt, so dass Drehzahländerungen während der Messung keinerlei störenden Einfluss ausüben. Diese Methode ist deutlich treffsicherer und daher zu favorisieren.

Von der Art des Antriebs, vom zu erwartenden Schädigungsverlauf und letztlich auch von der erwarteten Diagnosezuverlässigkeit ist die Diagnosestrategie abhängig. Mit einem mobilen Diagnosesystem kann man wiederkehrende Prüfungen durchführen. Dabei arbeitet ein Mitarbeiter eine zuvor definierte Messroute ab, erfasst die Schwingungen und speichert diese ab. In der Regel im Büro werden diese Schwingungssignale dann analysiert. Bei diesem Ansatz kann man mit einem mobilen System viele Antriebe überwachen. Entsprechend niedrig sind die Investitionskosten. Dem steht natürlich ein gewisser Analyseaufwand entgegen sowie der Nachteil, dass zwischen den Messzeitpunkten eine gewisse Zeit vergeht, für die man keine Informationen speichert. Ein vollautomatisches Online Condition Monitoring System ist dagegen fest am Antrieb installiert. Es analysiert alle paar Minuten die Schwingungen, liefert sofort einen Alarm, wenn Hinweise auf Unregelmäßigkeiten erkannt werden, und weist daher eine höhere Diagnosezuverlässigkeit auf. Der Investitionsaufwand ist umfangreicher, da an jedem Antrieb entsprechende Hardware verbaut wird. Der Betreuungsaufwand, konkret die laufenden Personalkosten für die Betreuung, ist niedriger.

3 Systeme, Installation und Konfiguration

Piezoelektrische Beschleunigungssensoren messen Schwingungen im Bereich von ca. 0,5 Hz bis ca. 20.000 Hz nahezu linear. Die leichte Abweichung von der Linearität ist für maschinen-diagnostische Zwecke unschädlich. Die Sensoren werden bei mobilen Messungen mittels Magnet und bei Permanentmessungen mittels Montagehilfe und Epoxidharzkleber befestigt. Die Befestigungsorte sind die steifen Strukturen bei den Wälzlagerungen in radialer Richtung. An Motoren, Lüftern und Pumpen ist meist die horizontale Richtung geeigneter, weil hier weniger Dämpfung zu erwarten ist. An Getriebestufen richtet sich die Richtung des Sensors nach der Zahneingriffsrichtung. An Kupplungen sollte man zusätzlich einen axialen Sensor installieren – Ausrichtfehler lassen sich so besser diagnostizieren. Daraus ergeben sich beispielhaft folgende Sensorkonfigurationen:

Motor-Lüfter-Baugruppe	<ul style="list-style-type: none"> • jeweils ein Sensor je Motorlager radial horizontal • jeweils ein Sensor je Lüfterlager radial horizontal • ein Sensor an einem kupplungsnahen Lager axial horizontal
Motor-Pumpe-Baugruppe	<ul style="list-style-type: none"> • jeweils ein Sensor je Motorlager radial horizontal • jeweils ein Sensor je Pumpenlager radial horizontal • ein Sensor an einem kupplungsnahen Lager axial horizontal
Motor-Getriebe	<ul style="list-style-type: none"> • jeweils ein Sensor je Motorlager radial horizontal • jeweils ein Sensor je Seite je Getriebewelle radial in Zahneingriffsrichtung • ein Sensor an einem kupplungsnahen Lager axial horizontal • weitere Sensoren nach gleichem Schema an der Arbeitsmaschine

In der Regel werden Beschleunigungssensoren mit einer Empfindlichkeit von 100 mV/g verwendet. An langsam laufenden Lagern finden Sensoren mit einer Empfindlichkeit von 500 mV/g Verwendung. Unter Umständen kann die Verwendung von induktiven Sensoren für die Schwingungsdatenerfassung angeraten sein.

Außerdem muss die Drehzahl erfasst werden. Dies erfolgt vorzugsweise an der schnellsten Welle des Antriebs durch Generierung von einem Impuls pro Umdrehung mittel optischem Sensor für mobile Anwendungen oder induktivem Sensor für die Dauerüberwachung. Die Befestigung eines Drehzahlsensors bedarf in der Regel einer individuellen Montagehilfe.

Die elektrische Verbindung zwischen Sensor und Diagnosesystem für die Stromversorgung und den Signaltransport erfolgt mit speziellen Sensorkabeln. Diese werden bei Festinstallation in Kabelkanal, Schutzrohr oder wenigstens mit geeigneten Fixierungen verlegt, um Bewegungen der Kabel zu minimieren. Bei mobilen Messungen ist sicherzustellen, dass die Kabel möglichst wenig schwingen und natürlich, dass die Arbeitssicherheit gewährleistet ist und sich Kabel nicht in rotierenden Teilen verfangen können.

Das Diagnosesystem, sofern es sich um ein Online Condition Monitoring System handelt, wird an einem beliebigen Ort in der Nähe des Antriebs fest installiert. Die Sensorkabel werden auf die entsprechenden Eingänge aufgelegt, wobei auch das fachgerechte Auflegen des Kabelschirms sicherzustellen ist. Netzwerkanschluss und Stromversorgung werden realisiert.

Die Konfiguration erfolgt an einem beliebigen PC, der mit dem System im Netzwerk verbunden ist. Während der Konfiguration werden dem Online Condition Monitoring System einmalig die kinematischen Zusammenhänge des Antriebs sowie ein paar administrative Festlegungen mitgeteilt.

Die Installation eines Online Condition Monitoring System ist im Wesentlichen reine Elektrikerarbeit. Auch ist der Aufwand überschaubar. Das Anbringen der Sensoren an der Maschine ist meist in wenigen Stunden erledigt, das Auflegen der Sensorkabel am Online Condition Monitoring System ebenfalls. Dagegen ist – abhängig von den tatsächlichen Vor-Ort-Bedingungen – meist die fachgerechte Kabelführung aufwändig. Gegebenenfalls müssen zuvor Kabeltrassen, Kabelkanäle oder Schutzrohre installiert werden.

Die Installationsarbeiten können durch den Anlagenbetreiber selbst, durch die GfM oder durch einen Dritten ausgeführt werden. Gleiches gilt für das Erstellen einer Überwachungskonfiguration. Dafür ist die Kenntnis des prinzipiellen Aufbaus des Antriebs, der Solldrehzahl, der Zähnezahlen der Getriebestufen sowie der Wälzlagerfabrikate und -typen erforderlich.

4 Überwachungsservice

Das Online Condition Monitoring System überwacht gemessene Signale vollautomatisch auf Schwingungen, deren Frequenzmuster typisch für sich entwickelnde Schäden ist. Wird solch ein Schadensmuster erkannt, sprechen wir von einer Detektion. Eine einzelne Detektion muss nicht zwingend einen Schädigungszustand repräsentieren. Wir wollen ja Fehlalarme vermeiden. Wenn aber tatsächlich ein Schaden vorliegt, wird es bei der folgenden Messung wieder eine Detektion geben. Während der Konfiguration wurde festgelegt, wie viele Detektionen erforderlich sind, um einen Alarm zu generieren.

Ein Alarm wird am Überwachungs-PC angezeigt. Hier tritt nun das erste Mal der Mensch in Aktion, der diesen Alarm überprüfen kann und zunächst quittieren sollte. Mit der Quittierung wird die Alarmschwelle für diesen einen Schaden heraufgesetzt, so dass es in naher Zukunft keinen neuen identischen Alarm geben wird. Wenn aber der Schaden wächst, sich folglich auch die Schwingungswerte erhöhen, wird es zu einem erneuten Alarm kommen, der wieder verifiziert und quittiert werden muss. Nun spätestens liegt es im Ermessen des zuständigen Instandhaltungsmitarbeiters, Entscheidungen für das weitere Vorgehen zu treffen. Das unternehmerische Risiko für den Antrieb kann schließlich das auch beste Condition Monitoring System nicht übernehmen.

Wir der Antrieb später instandgesetzt, werden die Alarmschwellen auf die Standardwerte zurückgesetzt.

Den Überwachungsservice kann der Anlagenbetreiber selbst übernehmen oder damit die GfM beauftragen. Selbstverständlich kann der Überwachungsservice durch einen vom Auftraggeber benannten Dritten durchgeführt werden. Auch ein Modell dahingehend ist möglich, dass zu Beginn die GfM überwacht und diese Tätigkeit nach einer gewissen Zeit übertragen wird.

Unabhängig von der Verantwortung für die Überwachung, können alle gemessenen Daten und Diagnoseergebnisse an verschiedenen Stellen sichtbar gemacht werden. So kann der Anlagenbetreiber beispielsweise mitlesen, auch wenn GfM den Überwachungsservice verantwortet.

5 Erfolg

Ob Condition Monitoring zu einem Nutzen führt, hängt von der überwachten Produktionsanlage ab. Wenn

- Ersatzteile nicht vorrätig sind und erst beschafft oder gar erst gefertigt werden müssen,
- Produktionsanlagen für Instandsetzungsmaßnahmen nicht mal eben heruntergefahren und wieder in Betrieb genommen werden können,
- die Instandsetzung mit erheblichen technischen Aufwänden, zum Beispiel dem Einsatz von Hebezeugen oder dem Öffnen von Dächern verbunden sind,
- für die Instandsetzung Personal beschafft werden muss oder
- wenn ein unerwarteter Anlagenstillstand Menschen in Gefahr bringt

lohnt sich Condition Monitoring. Teilweise gibt es weitere Effekte, wie etwa günstigere Versicherungsprämien.

In der Regel gilt aber, dass sich bereits mit einem einzigen rechtzeitig erkannten Schaden ein Condition Monitoring System mehrfach amortisiert. Die Kosten für Condition Monitoring sind regelmäßig um Größenordnungen niedriger als potentielle Produktionsausfallkosten.