

Einleitung

Herkömmliche Verfahren zur Wälzlagendiagnose nutzen Körperschallmessungen, um anhand empirischer Methoden die Art und den Grad eines vorliegenden Schadens zu erkennen.

Für die vorausschauende Instandhaltung komplexer Maschinen ist es jedoch notwendig, eine Aussage über die Restlebensdauer eines Lagers zu treffen, bevor ein Schaden eintritt. Der Verschleiß eines Wälzlagers äußert sich durch die Änderung der Rauigkeit und Beschaffenheit der Lagerauflflächen. Daher müssen diese Parameter für die vorausschauende Instandhaltung während des Betriebes überwacht werden.

Mit physikalischen Modellen kann die Körperschallemission von rollenden Körpern in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit der Laufflächen, Rollgeschwindigkeit und weiterer Parameter berechnet werden [1]. Für die Umsetzung solcher Modelle an realen Maschinen sind zwei Voraussetzungen unbedingt zu erfüllen: Die Transferimpedanz vom Ort der Anregung zum Ort des Körperschallaufnehmers muss bekannt sein. Zudem muss für die Diagnose sicher gestellt sein, dass das aufgenommene Körperschallsignal vom zu überwachenden Lager dominiert wird. Dieser Beitrag ist Teil eines von der DFG geförderten Projektes, in dem die Modellierung der Körperschallerzeugung von Wälzlagern und die Anwendung solcher Modelle auf Diagnoseverfahren untersucht werden.

Im Folgenden wird ein Verfahren vorgestellt, welches die Bestimmung der Transferimpedanz bei eingebautem Lager exakt nach Betrag und Phase ermöglicht.

Messung von Transferimpedanzen mit Schwingerreger

Der übliche Weg, Transferimpedanzen zu ermitteln, ist der Einsatz eines Schwingerregers (Shaker). Hierbei wird ein Punkt der Maschine mit dem Shaker angeregt und die Beschleunigung an einer anderen Stelle mit einem Sensor gemessen. Gleichzeitig wird die dabei auftretende Kraft am Shaker aufgenommen. Nach Division des Kraftspektrums durch die Beschleunigung (oder Schnelle) erhält man die Transferimpedanz zwischen den beiden Messpunkten.

Soll zur Zustandsanalyse eines Wälzlagers die Körperschallemission der Rollkörper herangezogen werden, muss die Transferimpedanz von der Lauffläche zum Ort des Beschleunigungsaufnehmers möglichst genau bekannt sein. Bei Verwendung eines Shakers wäre es notwendig, das Lager teilweise auszubauen, um die Lauffläche anzuregen. Das mathematisch-physikalische Modell einer jeden Transferimpedanz beruht auf gekoppelten Feder-Masse-Elementen, welche die einzelnen Maschinenkomponenten repräsentieren. Das Hinzufügen oder Entfernen schon eines dieser Elemente ändert somit das Übertragungsverhalten des Gesamtsystems. Daher wird durch das Zerlegen der Maschine die Transferimpedanz stark verfälscht.

Wälzkörper als Schwingerreger

Um die oben erläuterte Problematik zu umgehen, wurde speziell für die hier zu messenden Transferimpedanzen ein Wälzkörper als Schwingerreger umgebaut und ersetzt. Zu diesem

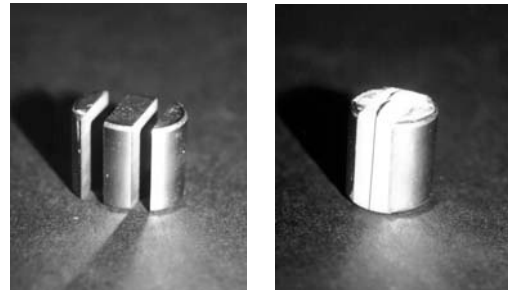


Fig. 1: Geteilter Wälzkörper links, mit eingeklebtem Piezo rechts

Zweck wurde die Zylinderrolle in drei Teile getrennt (Fig.1 links) und das mittlere Teilstück durch zwei antiseriell geschaltete Piezoscheiben ausgetauscht (Fig. 1 rechts). Dadurch können die außenliegenden Wälzkörpersegmente als Masseanschluss und die mittlere, gemeinsame Elektrode als Signalanschluss verwendet werden. Der antiserielle Aufbau bietet den Vorteil gegenüber einer einfachen Piezoscheibe, dass die Isolierung eines der Zylindersegmente gegen die Maschinenmasse überflüssig wird.

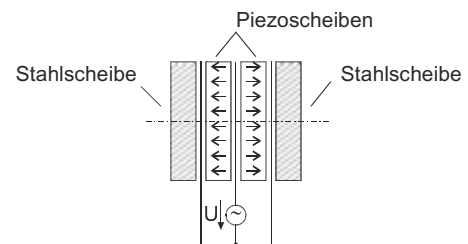


Fig. 2: Antiseriell angeordneter Piezoschallsender

Der so präparierte Schallsender wurde schließlich in ein Wälzlager integriert. Dieses „Messwälzlager“ wurde für die Messungen der Transferimpedanzen in die zu untersuchende Maschine anstelle eines normalen Lagers eingesetzt.

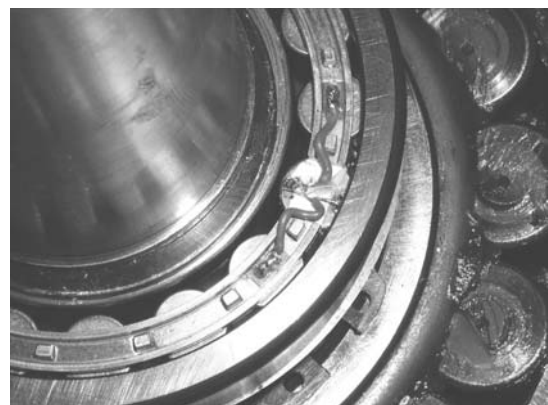


Fig. 3: In die Maschine eingebautes Messwälzlager

Mit dieser Anordnung ist es nun möglich, Übertragungsfunktionen von beliebigen Punkten der Lagerlaufbahn zu verschiedenen Messpunkten auf der Maschinenoberfläche zu bestimmen, ohne durch die Messanordnung die gesuchte Transferimpedanz zu verfälschen.

Transferimpedanzmessung an einem Prüfstand

Diese Methode zur Transferimpedanzmessung wurde auf einem Prüfstand für die Wälzlagerdiagnose angewandt. Fig. 4 zeigt den offenen Prüfstandsblock bei der Montage des Messlagers.

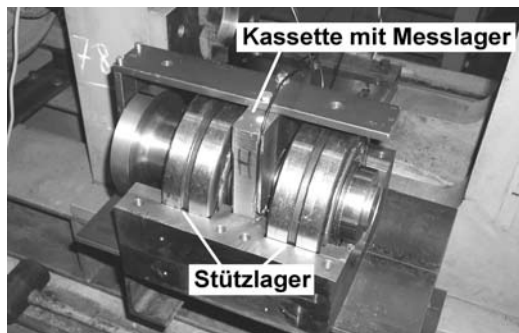


Fig. 4: Wälzlagerprüfstand am Institut für Bergwerks- und Hüttenmaschinenkunde, RWTH Aachen

Es wurden zwei Beschleunigungsaufnehmer auf der Kassette angebracht. Die Messungen erfolgten unter verschiedenen Lagerradiallasten bei 128-facher Mittelung. Fig. 5 zeigt einen typischen Frequenzgang der Oberflächenbeschleunigung von zwei Sensoren. Gut zu erkennen ist die mit der Frequenz ansteigende Modendichte sowie der für die zwei Messpunkte jeweils charakteristische Verlauf der Kurven.

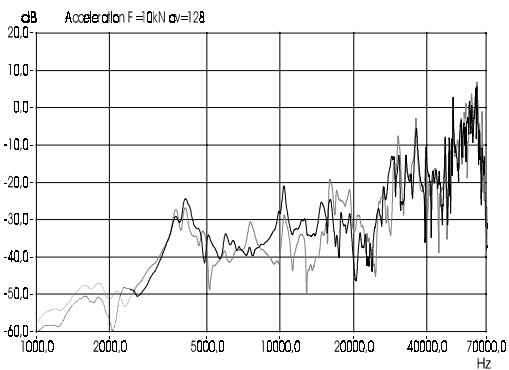


Fig. 5: Oberflächenbeschleunigung für zwei Messpunkte auf der Wälzlagerkassette

Ein vollständiger Datensatz für die Wälzlagerdiagnose enthält Transferimpedanzmessungen mit verschiedenen Lagerradialkräften und Einbauwinkeln des Schwingerregers.

Anwendung in der Praxis

Sind die gesuchten Transferimpedanzen bekannt, so können diese dazu verwendet werden, um an der laufenden Maschine die entsprechenden Wälzlager zu überwachen. Eine Änderung des Körperschallverlaufs ermöglicht nun Rückschlüsse auf die Oberflächenbeschaffenheit der Rollkontaktpartner. Besondere Schwierigkeiten entstehen jedoch dadurch, dass die mit den Beschleunigungsaufnehmern gemessenen Signale nicht nur aus dem gesuchten Anregungssignal des zu diagnostizierenden Wälzlagers bestehen (Fig. 6), sondern auch aus Störgeräuschen anderer Maschinenteile (hier mit Z bezeichnet).

Über die Transferimpedanzen T_{1i} und die mit den Sensoren gemessenen Beschleunigungen S_i , kann auf das Quellsignal F_1 zurückgerechnet werden (Gl. 1).

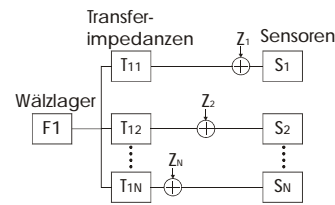


Fig. 6: Modell der Signalübertragung in einer Maschine

$$F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{1i} (S_i - Z_i) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_1 - T_{1i} Z_i = F_1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{1i} Z_i \quad (\text{Gl. 1})$$

Werden N Körperschallsignale aufgezeichnet und gemittelt, so vergrößert sich der Pegel des Nutzsignals mit $6\text{ dB} \cdot \lg(N)$, der des Störsignals jedoch nur mit $3\text{ dB} \cdot \lg(N)$. Weil die Störsignale Z_i im allgemeinen nicht miteinander korreliert sind, gewinnt man bei jeder linearen Überlagerung zweier pegelgleicher Messungen 3 dB Signal/Störabstand. Ein weiterer Vorteil der parallelen Messerfassung mit mehreren Beschleunigungsaufnehmern liegt in der Kontrolle, ob das aufgenommene Körperschallsignal auch wirklich zum untersuchten Lager gehört oder überwiegend aus Störsignalen besteht. Werden beispielsweise zwei Sensoren eingesetzt, so kann man die Frequenzbereiche, bei denen nach linearer Superposition 6 dB Pegelanstieg auftritt, mit Sicherheit für weitere Berechnungen verwenden, da hier das zu überwachende Wälzlager gegenüber den Störgeräuschen dominant ist. Bereiche, die deutlich weniger als 6 dB Pegelerhöhung zeigen, sind für die Diagnose nicht zu verwenden, da das Störgeräusch überwiegt.

Fazit

Es wurde ein Verfahren beschrieben, mit dem für die Maschinendiagnose Transferimpedanzen bestimmt werden können. Weil der Schwingerreger als Teil der Maschine ausgeführt wurde (hier ein Wälzkörper), kann die Transferimpedanz an der unveränderten Maschine gemessen werden. Diese Methode vermeidet den systematischen Fehler, der entsteht, wenn für die Messung Teile der Maschine ausgebaut und damit Teilsysteme entkoppelt werden. Damit stellt diese Methode für die Modellierung der Körperschallübertragung in Maschinen ein wichtiges messtechnisches Werkzeug dar.

Als Anwendung wurde die Kontrolle des an der laufenden Maschine aufgenommenen Körperschallsignals beschrieben. Mit Hilfe der Transferimpedanzen kann verifiziert werden, ob das Signal für die weitere Diagnose zu verwenden ist. Des weiteren besteht die Möglichkeit, durch die Nutzung zusätzlicher Sensoren das Signal/Rauschverhältnis zu verbessern.

Schließlich ist noch zu erwähnen, dass dieses Verfahren für nahezu beliebige zu diagnostizierende Komponenten anwendbar ist.

Diese Arbeit wurde dankenswerterweise von der DFG gefördert.

Literaturverzeichnis

- [1] LOHMANN, BERNARD: Untersuchung der Schallemission in schadhafte Wälzlagern, Diplomarbeit, RWTH, 1999