

Hören, was das Lager sagt - Praktische Lagerdiagnose in der Maschinenakustik-Ausbildung

Armin Lohrengel, Daniel Thoden, Rico Schmelter

Institut für Maschinenwesen, 38678 Clausthal-Zellerfeld, E-Mail: lohrengel@imw.tu-clausthal.de,
thoden@imw.tu-clausthal.de, schmelter@imw.tu-clausthal.de

Einleitung

Die frühzeitige Erkennung von Maschinenschäden ist ein immer wichtigeres Arbeitsfeld in der Akustik. Oftmals kommt es dabei auf eine geschickte Bildung von Kennwerten und einer exakten Interpretation dieser an. Um den Studierenden des Faches Maschinenakustik am Institut für Maschinenwesen (IMW) der TU-Clausthal diese Sachverhalte näher zu bringen, existiert seit kurzem ein Lagerprüfstand für Wälzlager, in dem Wälzlager innerhalb kurzer Zeit bis zum Versagen gefahren werden können. Als Bestandteil der Praktischen Auswertung müssen die Studierenden am Prüfstand gemessene Zeitsignale auswerten und einen Bezug zur Lagerschädigung herstellen.

Maschinenakustik am IMW

Seit dem Sommersemester 2009 wird am IMW der TU-Clausthal die Vorlesung Maschinenakustik im Hauptstudiengang Maschinenbau in der derzeitigen Form angeboten. Dabei liegt der Wert nicht nur auf der theoretischen Ausbildung der Studierenden, sondern ebenfalls auf einer sehr praxisorientierten Ausbildung. Gelehrt werden dabei neben den Grundlagen von Schall, Schallentstehung und -ausbreitung sowie der Messung und Berechnung von akustischen Größen auch, wie der Bezug zur Maschine oder des akustischen Systems her zu stellen ist, da letztendlich ein technisches System immer im Mittelpunkt für eine akustische Auslegung, Optimierung oder Überwachung steht. Um das zu erreichen, Unterteilt sich die Vorlesung in ca. 60% Theorie und 40% praktische Ausbildung. Im praktischen Teil der Ausbildung müssen die Studierenden erst unter Anleitung, im Abschlussprojekt eigenständig Messaufgaben planen und durchführen. Die Auswertung, z.B. der Schalleistungsbestimmung einer Maschine, erfolgt dann in Heimarbeit.

Seit dem Wintersemester 2010 wird der praktische Ausbildungsteil durch einen Versuch zur Zustandsbeurteilung von Wälzlagern mit akustischen Mitteln erweitert. Dazu wurde im Rahmen einer Studienarbeit [1] ein, aus Studienbeitragsmitteln finanzierter, Lagerprüfstand für handelsübliche Wälzlager der Bohrkennzahl 05 entwickelt und aufgebaut (Abbildung 1). In diesem kann ein Prüflager axial und radial belastet werden. Dabei treten aufgrund des einfachen Aufbaus und der wenigen, enthaltenen Komponenten geringe Störungen im Signal auf, was die Auswertung für einen Praktikumsversuch verringert und die Ergebnisgüte erhöht.

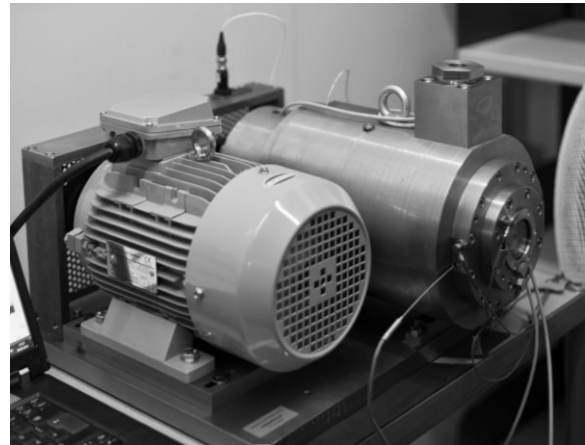


Abbildung 1: Lagerprüfstand am IMW für Wälzlager der Bohrkennzahl 05 zur Ausbildung von Studierenden.

Lagerprüfstand

Das Prüflager ist am elastischen Ende einer sonst sehr steifen, durch zwei Zylinderrollenlager und ein Vierpunktlager abgestützten, Welle eingebaut (vgl. Abbildung 2). Die Belastung des Prüflagers in radialer und axialer Richtung erfolgt jeweils durch ein, mittels Gewinde vorgespanntes, Tellerfederpaket. Der Prüfstand ist für Lagerbelastungen von 10 kN in beiden Richtungen ausgelegt. Der Antrieb ist durch einen frequenzgesteuerten Asynchronmotor mit Riementrieb realisiert, womit Drehzahlen am Prüflager bis 6000 min^{-1} eingestellt werden können. Der Antriebsmotor selbst hat eine Leistung von 3000 W bei 2850 min^{-1} .

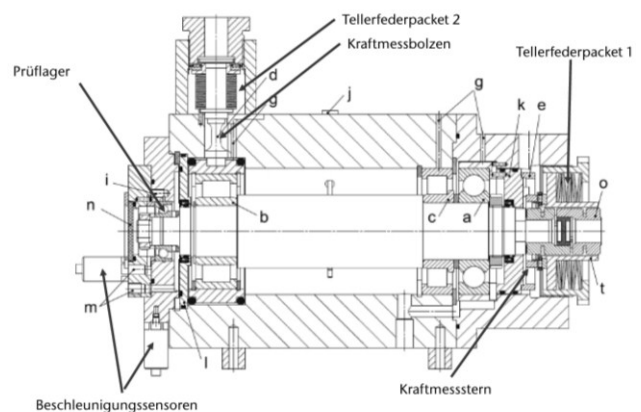


Abbildung 2: Schnittbild Lagerprüfstand [1].

Messtechnik

Am Lagerprüfstand können im Betrieb verschiedene Messgrößen und Parameter erfasst werden. Dazu zählen die

Beschleunigungen am Prüflager, die Drehzahl aber auch die Lagerbelastung und Prüflagertemperatur.

Die Messung der Beschleunigungen an der Lagerstelle des Prüflagers kann in drei Raumrichtungen mit handelsüblichen Beschleunigungsaufnehmern an dafür vorgesehenen Positionen erfolgen. Diese sind so gewählt, dass eine möglichst steife, verlustarme Übertragung der lagerinduzierten Schwingungen auf das Gehäuse stattfindet. Die Ankopplung der Sensoren erfolgt dabei mittels Schraubverbindung.

Die Belastungsmessung in axialer Richtung am Prüflager ist durch eine DMS-Halbbrücke auf dem Druckbolzen des Tellerfederpakets realisiert. Die Messung der Axialkraft erfolgt über einen Kraftmessstern (Abbildung 3) mit einer DMS-Vollbrücke.

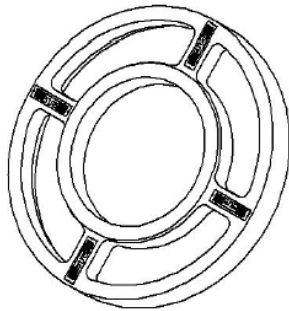


Abbildung 3: Kraftmessstern mit DMS-Vollbrücke zur Erfassung der axialen Lagerbelastung [1].

Die Prüflagertemperatur am Außenring ein Thermoelement erfasst werden. Die Drehzahlmessung erfolgt mit einem Lasertachometer.

Aufgezeichnet werden die Messwerte mit einem IMC[®] Cronos PL. Die Ausstattung dieses Messsystems mit Online-Famos ermöglicht es, einfachere Kennwerte direkt auf dem Messrechner während der Messung anzuzeigen und ggf. den Prüfstand bei Grenzwertüberschreitung zu stoppen.

Arbeitsumfang im Praktikum

Im Praktikum zur Lagerdiagnose bekommen die Studierenden entsprechend des Messaufbaus Datensätze über der Laufzeit eines vorher getesteten Lagers zur Verfügung gestellt. An diesen Datensätzen sollen sie Kennwerte wie die effektive Schwinggeschwindigkeit nach ISO 10816-1 [2], Crest- und Kurtosisfaktor (Abbildung 4) [3] sowie den Verlauf der Amplituden lagertypischer Schadensfrequenzen im Spektrum und Hüllkurvenspektrum ermitteln und vergleichend auswerten. Weiterhin soll anhand eines Datensatzes aus dem Versuchsanfang und dem Versuchsende vergleichend ein Spektrogramm erstellt werden, an dem die typische impulshaltige Anregung aus Schäden der Wälzkörper oder Laufbahnen demonstriert wird.

Über den Vergleich der ermittelten Kennwertverläufe wird den Studierenden vermittelt, welche Kennwerte mehr oder weniger für die Diagnose von Lagerschäden unter verschiedenen Aspekten der Betrachtung geeignet sind und welcher Aufwand in welcher Relation zu einem brauchbaren Ergebnis steht. Außerdem werden dadurch die Grenzen und die Stabilität der verschiedenen Kennwerte aufgezeigt.

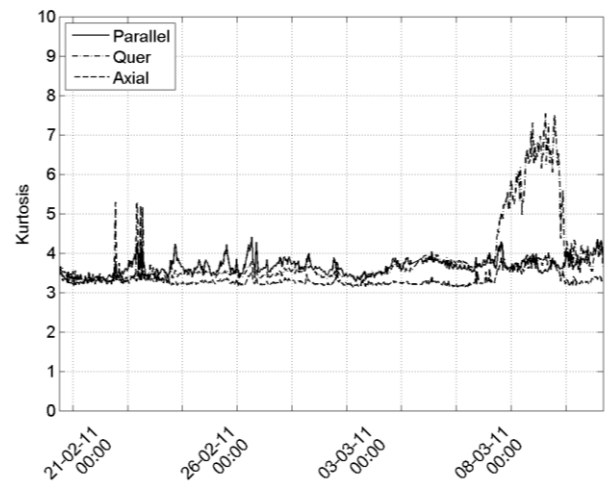


Abbildung 4: Kurtosis der Schwingbeschleunigung am Lagersitz.

Ein weiterer, wichtiger Punkt stellt das Identifizieren lagertypischer Schadensfrequenzen im Spektrum dar, womit auch eine Prognose zum geschädigten Lagerbauteil abverlangt wird. Dabei lernen die Studierenden das Lesen in Spektren sowie die Deutung einzelner Frequenzpeaks. Die Deutung ist dabei wieder ein Hauptbestandteil der Ausbildung, da bewusst einige lagertypischer Schadensfrequenzen in Nähe der Drehfrequenzen der Prüfwelle liegen.

Fazit und Ausblick

Die Erweiterung der praktischen Maschinenakustik-Ausbildung am IMW mit dem Lagerprüfstand ist seitens der Studierenden sehr gut aufgenommen worden. Durch die Anwendung der theoretisch vermittelten Kennwerte in der Praxis wird erstmals ein Gefühl für die Schwierigkeiten der Kennwertermittlung sowie der korrekten Deutung vermittelt. Der Arbeitsaufwand für die Versuchsauswertung wird zwar als relativ hoch eingeschätzt, dieses wird allerdings durch den Wissensgewinn wettgemacht.

In Zukunft soll ein MATLAB-Softwarepaket erstellt werden, um den Studierenden die Messdatenaufbereitung zu erleichtern und den Fokus des Versuchs weiter auf die Auswertung zu verschieben. Darüber hinaus ist es Studierenden möglich, im Rahmen von Projekt- und Abschlussarbeiten tiefer in die Maschinendiagnose einzusteigen. Am Prüfstand ist geplant, den Prüfstand auf die Aufbringung von dynamischen Lasten in radialer Richtung zu erweitern.

Literatur

- [1] Martin, C.: Entwurf eines Wälzlagerprüfstandes zur akustischen Lagerdiagnose, Studienarbeit, TU Clausthal, Institut für Maschinenwesen, 2010
- [2] ISO 10816-1: Mechanische Schwingungen - Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen - Teil 1: Allgemeine Anleitungen. Beuth Verlag, Berlin, 1995.
- [3] Kolerus, J.; Wassermann, J.: Zustandsüberwachung von Maschinen. expert verlag, Renningen, 4. Auflage, 2008.