

# Körperschallübertragung von Wälz- und Gleitlagern

Radoslaw Kruk<sup>1</sup>, Daniel Thoden<sup>1</sup>, Armin Lohrengel<sup>1</sup>, Peter Dietz<sup>1</sup>, Günter Schäfer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Deutschland,  
E-Mail: kruk@imw.tu-clausthal.de

## Einleitung

Bei der Schallflussanalyse von Maschinen und Anlagen darf die Rolle von Wälz- und Gleitlagern als dynamische Übertragungselemente nicht unterschätzt werden. Um hierfür präzise Kennwerte zu ermitteln, wurde am Institut für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal im Rahmen eines FVA-Forschungsvorhabens (FVA 404, AiF 13077N) eine neuartige Messstrategie zur Bestimmung des dynamischen Übertragungsverhaltens von Wälz- und Gleitlagern entwickelt. Dieses wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert. Dafür wurde ein Prüfstand aufgebaut, mit dem ein weites Parameterfeld abgedeckt werden kann, und ein Auswerteverfahren entwickelt, mit dem die frequenzabhängigen Steifigkeiten und Dämpfungen bestimmt werden können.

Hier wurden Versuche zum Schwingungsübertragungsverhalten von Lagern durchgeführt. In den Versuchen wurde die Übertragungsfunktion für den stationären Betriebszustand des Versuchslagers bei bestimmten Betriebsparametern ermittelt. Es wurden Versuche mit Wälzlagern und mit Gleitlagern durchgeführt. Die Messergebnisse werden als Steifigkeit und Dämpfung in betriebsparameterabhängige Funktionen umgerechnet. Das gesamte Verfahren ist in [2] beschrieben.

## Messstrategie

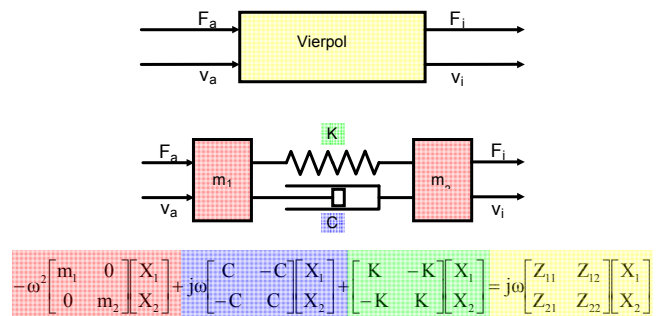
Um das Prüflager als isoliertes Übertragungselement zu betrachten, wird die Vierpoltheorie verwendet [1]. Ihr besonderer Vorteil liegt darin, dass der gesamte untersuchte Übertragungsweg zwischen den Beschleunigungs- und Dehnungssensoren in der Platte ( $\varepsilon_p$ ,  $a_p$ ) bis zu den entsprechenden Wellensensoren ( $\varepsilon_w$ ,  $a_w$ ) als Reihenschaltung von Vierpolen angesehen werden kann (Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Reihenschaltung von Platten-, Lager- und Wellenvierpol zur Isolierung der Übertragungseigenschaften des Prüflings

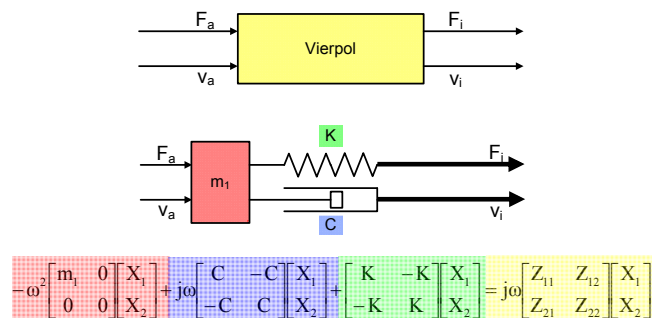
Als Vorbereitung für die Auswertung werden die Referenzvierpole von Gehäuseplatte und Wellenadapter bestimmt. Hierzu werden die eingangs erwähnten Sensoren verwendet. Zusätzlich wird am Lagersitz der Platte über einen Kraftsensor ein mit Beschleunigungsaufnehmern versehenes Gewicht angebracht. Durch diese Konfiguration findet neben dem Ausschluss des Platteneinflusses auch eine Umwandlung der

Plattendehnung in die Eingangsgröße Kraft für den Lagervierpol statt. Für die Referenzbestimmung am Wellenadapter wird ein Hammerschlagwerk verwendet, das mit Kraft- und Beschleunigungssensoren ausgerüstet ist.



**Abbildung 2:** Schema zur Ermittlung von Steifigkeit und Dämpfung aus einem mechanischen Vierpol für Wälzlager

Die Umwandlung der Beschleunigung in Schnelle erfolgt durch Integration im Frequenzbereich während der Messauswertung. Alle Vierpolparameter werden über ein modifiziertes Zwei-Massen-Verfahren bestimmt. Die gewonnenen Vierpol-Matrizen beschreiben das isolierte Übertragungsverhalten des geprüften Lagers unter den eingestellten Betriebsbedingungen. Sie können zum Beispiel bei der Akustikanalyse nach der Netzwerkmethod direkt eingesetzt werden.



**Abbildung 3:** Schema zur Ermittlung von Steifigkeit und Dämpfung aus einem mechanischen Vierpol für Gleitlager

Darüber hinaus wurde eine Methode entwickelt, mit der die gewonnenen Messwerte auch in Simulationsprogrammen verwendet werden können, die das Übertragungsverhalten über frequenzabhängige Steifigkeiten und Dämpfungen abbilden. Dieses geschieht über die Bewegungsdifferentialgleichungen eines Kelvin-Voigt-Modells mit zwei Massen, Feder und Dämpfer. Die Massen werden durch den Lagerinnen- und -außenring bzw. für Gleitlager nur durch die Lager- schale und eine fiktive, sehr kleine Masse repräsentiert, Feder und Dämpfer stellen das System der Schmierpalte und Passfugen sowie gegebenenfalls der Wälzkörper dar. Durch Gleichsetzen der Differentialgleichungen mit der

Kettenform der Vierpolarstellung werden die frequenzabhängigen Steifigkeiten und Dämpfungen bestimmt (Abbildung 2). Das analoge Modell für Gleitlager ist in der Abbildung 3 zu sehen. Hier wird nun ein Einmassenschwinger für die Berechnung der Steifigkeit und Dämpfung angewendet.

## Messprogramm

Folgende Parameter können auf dem vorhandenen Prüfstand untersucht werden.

### Wälzlager

- Drehzahl
- Statische Last, Lastrichtung (axial, radial)
- Schmierung (verschiedene Schmierstoffe, verschiedene Betriebstemperaturen)
- Einspannsteifigkeit/Gehäusemasse (Massive Platte, Geschweißte Platte – Leichtbau Konstruktion)
- Lagereinbauspiel (Presspassung, Übergangspassung)
- Lagertyp, Geometrieinfluss (verschiedene Hersteller, verschieden Durchmesser)
- Verkippung zwischen Lagerinnen- und -außenring (ohne Verkippung, mit 5° Verkippung)

### Gleitlager

- Drehzahl
- Statische Last
- Schmierung (verschieden Schmierstoffe, verschiedenen Öltemperaturen)
- Einbauspiel (Presspassung, Übergangspassung)
- Lagerspiel
- Lagertyp (verschiedene Bohrungen, verschiedene Durchmesser)

## Auswertung der Messdaten

Die aufgezeichneten Signale wurden für jede Messung in Frequenzbereich analysiert und zur Ermittlung von Durchgangsdämmmaß für Beschleunigung und Dehnung bzw. Übertragungsfunktion angewendet. Diese gewonnenen Kenngrößen können bei der Simulation von neu entwickelten Maschinen eingesetzt werden.

## Statistische Varianzanalyse ANOVA

Ein Vergleich von ermittelten Daten aus mehreren unterschiedlichen Versuchen liefert die Anwendung von statistischen Werkzeugen. Damit können bestimmte Aussagen aus den Experimenten über die Einflussparameter identifiziert werden. Ein solches Werkzeug ist Varianzanalyse - ANOVA, die sich für solche Auswertungen eignet. In dieser ANOVA-Methode wird die Streuung der beobachteten Messwerte entsprechend den im Modell betrachteten Faktoren in einzelne Komponenten zerlegt.

Für solche Auswertungen wird vorausgesetzt, dass die untersuchten Parameter normalverteilt sind. Diese Methode ist mit der folgenden Formel zu beschreiben:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

Die Werte  $Y_{ij}$  stellen Realisierungen der beobachtbaren Zufallsvariablen der Messergebnisse  $y_{ij}$  vor. Aus  $y_{ij}$  wird der Gesamtmittelwert  $\mu$  des Experiments ermittelt. Der Wert  $\alpha_i$  stellt den additiven Einfluss der Stufe  $i$  des betrachteten Parameters dar und der Wert  $\varepsilon_{ij}$  wird als additiver Zufallanteil berücksichtigt [3].

Die Analyse wurde für den gesamten Datensatz mit Hilfe des Programms MINITAB durchgeführt.

## Zusammenfassung

Das abgeschlossene Vorhaben liefert umfangreiche experimentell ermittelte Ergebnisse, die für die Auslegung lärmärmer Maschinen genutzt werden können. Es ist denkbar den Prüfstand für genauere Verifikation von theoretischen Modellen für weitere Forschungsvorhaben einzusetzen, um die Berechnungswerkzeuge weiter zu optimieren. Es ist auch möglich weitere Lagertypen (Form, Größe) und auch andere Schmierstoffe (Öltemperaturen, Viskositätsklassen, Ölaufbau und Additivierung) zu untersuchen.

## Literatur

- [1] Seidel, E.: Wirksamkeit von Konstruktionen zur Schwingungs- und Körperschalldämmung in Maschinen und Geräten: Grundlagen, Messverfahren, Zusammenstellung typischer Bauelemente. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Forschung; Fb. 1999, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven.
- [2] Backhaus, S.-G., Eine Messstrategie zur Bestimmung des dynamischen Übertragungsverhaltens von Wälzlagern, in Institut für Maschinenwesen. 2007, TU Clausthal: Clausthal.
- [3] Dietrich, E.; Schulze, A.: Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation, Hanser, 2003.
- [4] Cremer, L. und Heckl, M.: Körperschall: physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996.
- [5] Richter, H.-P., Theoretische und Experimentelle Untersuchungen zur Körperschalleitung von Wälzlagern in Maschinen, in Fachbereich Maschinenbau. 1989, TU Darmstadt: Darmstadt.
- [6] Klumpers, K., Experimentelle und theoretische Bestimmung der Dämpfungskennwerte von Wälzlagern und Wälzlagersystemen, in FVA-Forschungsheft. 1979, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V.: Frankfurt.
- [7] Opehy, L., Dämpfungs- und Steifigkeitseigenschaften vorgespannter Schrägkugellager. Als Ms. gedr ed. Fortschrittberichte VDI 1. 1986, Düsseldorf: VDI-Verl. V.