

# Neuartiger Prüfstand zur akustischen Untersuchung von Wälz- und Gleitlagern

Radoslaw Kruk<sup>1</sup>, Daniel Thoden<sup>1</sup>, Stefan-Georg Backhaus<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Deutschland,  
Email: 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 frequenz-abhängigen Steifigkeiten und Dämpfungen bestimmt werden können [1].

## Aufbau und Technik des Prüfstandes

Der für die Messungen eingesetzte Lagerprüfstand besteht aus zwei Hauptbaugruppen, dem Antriebsmodul mit der gleitgelagerten Hauptwelle und dem Prüfmodul mit Messobjekt, Messtechnik und Belastungseinrichtungen. Abbildung 1 zeigt ein Foto des Prüfstands.

Das Antriebsmodul ist durch eine Membrankupplung geteilt, damit Motor und Getriebe biegeweich von der Hauptwelle entkoppelt sind und die Körperschallübergang vom Antrieb zum Versuchsobjekt am anderen Ende der Hauptwelle vermieden wird.



Abbildung 1: Gesamtansicht des Prüfstands

Das Prüfmodul ist so konzipiert, das je nach Lagerbauart statische radiale und axiale Belastungen aufgebracht werden können. Die Körperschallanregung erfolgt über einen elektrodynamischen Schwingerreger (Shaker) in radialer Richtung und wird der statischen Belastung überlagert

(Abbildung 2). Neben den Lasten lassen sich die Schmierbedingungen in Form von Lagerbetriebstemperatur und Öldurchflussmenge einstellen.

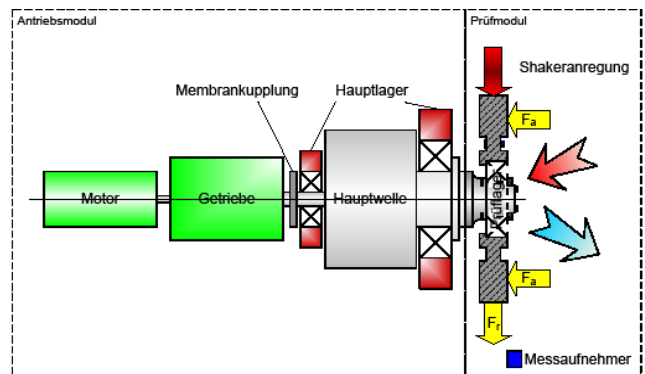


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Prüfstands

Um akustische Eigenschaften von Lagern zu messen, wird das Objekt in eine Platte eingepresst, die als Gehäuse betrachtet wird. Mit unterschiedlichen Ausführungen dieser Lagerplatte kann so der Einfluss von Passung und Umgebungssteifigkeit untersucht werden. Die Anregung durch den Shaker breitet sich als Körperschall in der Platte aus und erreicht die dort angebrachten Sensoren. Der Körperschall wird durch das Prüflager (Außenring, ggf. Wälzelement, Innenring) zur Welle und die darauf angebrachten Sensoren geleitet.

Plattenseitig sind jeweils ein Beschleunigungs- und Dehnungssensor paarweise angebracht, und zwar parallel und senkrecht zur Anregungsrichtung auf beiden Seiten der Platte. Auf der Welle werden die Beschleunigungen stirnseitig und die Dehnungen in eingefrästen Taschen hinter dem Lagersitz gemessen. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Beide Sensorarten liefern bis in den unteren Ultraschallbereich lineare Messsignale

Während einer Messung werden die Betriebsparameter (Drehzahl, Last) und die Messsignale aus jeweils acht Dehnungssensoren und Beschleunigungsaufnehmern digital aufgezeichnet. Die Signalübertragung von der Welle erfolgt dabei über eine Hochleistungstelemetrie. Der eingesetzte Rekorder ermöglicht Echtzeitaufnahme von insgesamt 32 Kanälen mit einer Samplerate bis 102 kHz pro Kanal. Zusätzlich wird bei dem Versuch die Verkippung der Platte mittels Messuhren kontrolliert und protokolliert. Diese Verkippung kann dabei als zusätzlicher Messparameter verwendet werden.

In der derzeitigen Konfiguration können zwei Größen an Wälzlagern und eine Gleitlagergröße gemessen werden. Durch den modularen Aufbau ist es aber jederzeit möglich, den Prüfstand auf andere Lagergeometrien umzurüsten,

hierbei muss nur darauf geachtet werden, dass die Sensoren noch angebracht werden können. Die Eckdaten des Prüfstands sind Tabelle 1 zu entnehmen.

**Tabelle 1:** Technische Daten des Prüfstands

Antriebsleistung:	75 kW
max. Radialkraft:	80 kN
max. Axialkraft:	40 kN
max. Anregungskraft:	200 N
max. Anregungsfrequenz:	9000 Hz
max. Prüfdrehzahl:	5000 U/min
Prüflagergrößen:	bis 100 mm

**Messstrategie**

Um das Prüflager als isoliertes Übertragungselement zu betrachten, wird die Vierpoltheorie verwendet [2]. Ihr besonderer Vorteil liegt darin, dass der gesamte untersuchte Übertragungsweg zwischen den Beschleunigungs- und Dehnungssensoren in der Platte ( $\epsilon_p, a_p$ ) bis zu den entsprechenden Wellensensoren ( $\epsilon_w, a_w$ ) als Reihenschaltung von Vierpolen angesehen werden kann (Abbildung 3).

Als Vorbereitung für die Auswertung werden die Referenzvierpole von Lagerplatte und Wellenadapter bestimmt. Hierzu werden die eingangs erwähnten Sensoren verwendet. Zusätzlich wird am Lagersitz der Platte über eine Kraftmessdose ein mit Beschleunigungsaufnehmer 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.

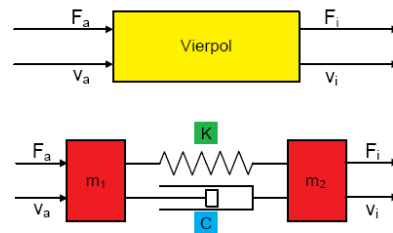
Die Umwandlung der Beschleunigung in Schnelle erfolgt durch Integration im Frequenzbereich während der Messauswertung. Alle Vierpolparameter werden über ein modifiziertes Zwei-Massen-Verfahren bestimmt. Die gewonnenen Vierpol-Matrizen beschreiben das isolierte Übertragungsverhalten des geprüften Lagers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



**Abbildung 3:** Reihenschaltung von Platten-, Lager- und Wellenvierpol zur Isolierung der Übertragungseigenschaften des Prüflings

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.



$$-\omega^2 \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + j\omega \begin{bmatrix} C & -C \\ -C & C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}$$

**Abbildung 4:** Schema zur Ermittlung von Steifigkeit und Dämpfung aus einem mechanischen Vierpol

Dieses geschieht über die Bewegungsdifferentialgleichungen eines Kelvin-Voigt-Modells mit zwei Massen, Feder und Dämpfer. Die Massen werden durch den Lagerinnen- und -außenring repräsentiert, Feder und Dämpfer stellen das System der Schmierpalte und Passfugen sowie gegebenenfalls der Wälzkörper dar. Durch Gleichsetzen der Differentialgleichungen mit der Kettenform der Vierpoldarstellung werden die frequenzabhängigen Steifigkeiten und Dämpfungen bestimmt (Abbildung 4).

**Zusammenfassung**

Das neuartige Verfahren eröffnet die Möglichkeit, parameterabhängige Übertragungseigenschaften von Wälz- und Gleitlagern zu ermitteln. Diese können dann als Eingangsdaten für genauere Schallflusssimulationen verwendet werden.

Durch den modularen Aufbau ist die Verwendung des Prüfstands auch für die akustische Untersuchung anderer rotierender Maschinenelemente denkbar. Neben dem Übertragungsverhalten können dabei auch Untersuchungen zum Eigengeräusch gemacht werden.

**Literatur**

- [1] Backhaus, S.-G.: Eine Messstrategie zur Bestimmung des dynamischen Übertragungsverhaltens von Wälzlagern. Dissertation, TU Clausthal, 2007.
- [2] 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.
- [3] Kollmann, F.G., Angert, R. und Schösser, T. F.: Praktische Maschinenakustik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [4] Cremer, L. und Heckl, M.: Körperschall: physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996.