

# Konzeption und Bau eines Prüfstandes zur Ermittlung des Körperschallübertragungsverhaltens von Wälz- und Gleitlagern

Backhaus, S.

*Im Rahmen eines Forschungsprojekts der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA), gefördert von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) wurde am Institut für Maschinenwesen ein Prüfstand zur messtechnischen Ermittlung der Körperschallübertragungseigenschaften von Wälz- und Gleitlagern entwickelt und gebaut.*

*Within the scope of a research project of the Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) funded by the Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) the Institut für Maschinenwesen developed a test bed to identify the transfer functions of journal and rolling element bearings.*

## 1 Problemstellung

In der heutigen Zeit müssen viele Produkte unter dem Aspekt des Lärm- und Geräuschverhaltens optimiert werden. Das Maschinengeräusch kann aber erst in sehr späten Phasen der Produktentstehung lokalisiert und quantifiziert werden. Daher werden in vielen Firmen Simulationsprogramme zur Abschätzung bzw. Berechnung der Schallpegel angewendet, um möglichst frühzeitig und damit kostengünstig eine Ermittlung des Gesamtschallverhaltens vorzunehmen. Aufgrund von oft komplexen Systemzusammenhängen wie beispielsweise in Wälz- und Gleitlagern lassen sich diese Elemente

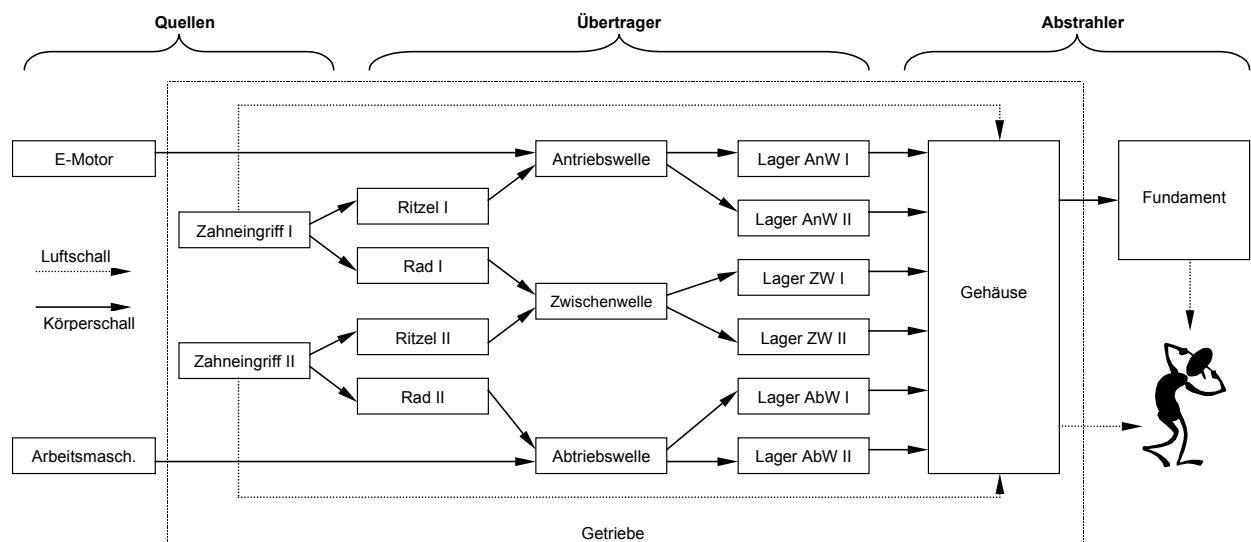
nicht einfach simulieren, sondern müssen durch Übertragungsparameter ersetzt werden.

Die genaue Kenntnis der Übertragungsfunktion der Lager ist von großer Bedeutung, weil diese im direkten Schallfluss von der Quelle (Zahneingriff) zur abstrahlenden Fläche (Gehäuse) liegen. Damit ist ihr Schallübertragungsverhalten maßgeblich für das Gesamtschallverhalten.

## 2 Zielsetzung

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Erweiterung des Stands der Technik im Bereich der Körperschallübertragung von Getriebelagern. Durch die experimentelle Ermittlung der Übertragungsfunktion von der Welle über das Lager in das Gehäuse soll das Gesamtschallverhalten von Antriebskomponenten wie Getrieben besser abgeschätzt und einer Modellrechnung zugeführt werden können.

Das Vorhaben sieht Untersuchungen an unterschiedlichen Wälz- und Gleitlagerbauarten unter verschiedenen Randbedingungen vor. Ausgehend von den theoretischen Grundlagen soll nach parameterorientierten Versuchen und anschließender Auswertung eine umfassende Zusammenstellung dieser Übertragungsfunktionen für verschiedene Lagertypen und Betriebsparameter vorliegen. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der experimentellen Erfassung der Übertragungsfunktionen nach



**Bild 1:** Schallflussdiagramm eines zweistufigen Getriebes mit An- und Abtrieb

der Vierpolsystematik. Damit ist es messtechnisch möglich, Übertragungsmatrizen für Kraft und Schnelle zu ermitteln, die alle Einflussgrößen wie zum Beispiel Drehzahl, Vorlast, Schmierung, Einspannsteifigkeit etc. erfassen.

### 3 Prüfstandskonzept

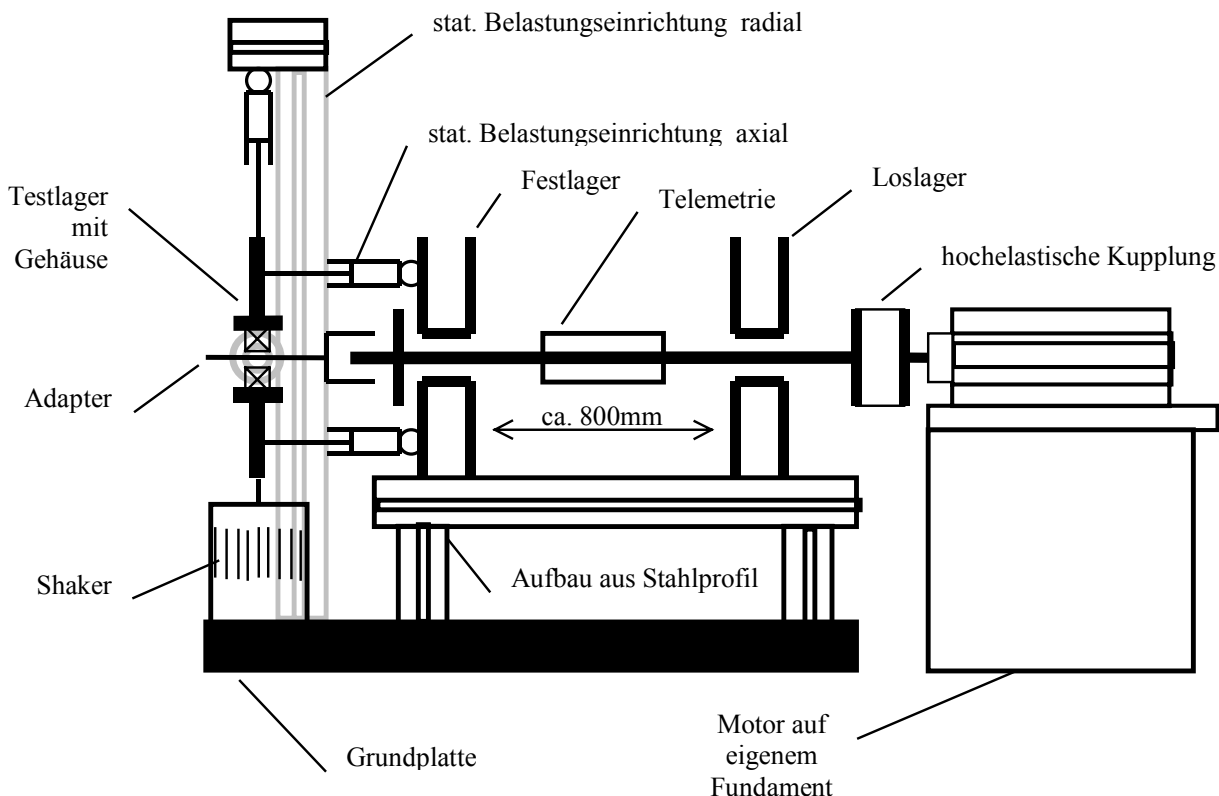
Um einen guten Überblick über die Körperschallübertragungseigenschaften von Lagern zu bekommen, muss es möglich sein, verschiedene Arten und Größen von sowohl Wälz- als auch Gleitlagern untersuchen zu können. Aus diesem Grund wurde der Versuchsstand so konzipiert, dass die zu untersuchenden Lager auf einem auswechselbaren Wellenadapter montiert werden, der wiederum überkragend an der Hauptwelle des Prüfstandes angebracht wird. So wird eine gute Zugänglichkeit zu den Lagern gewährleistet und sichergestellt, dass sie schnell und sicher ausgewechselt werden können, vergleiche **Bild 2**. Darüber hinaus ist man durch die Austauschbarkeit des überkragenden Wellenadapters flexibel bei der Lagerauswahl. Je nach Bedarf können verschiedene Wellenadapter für verschiedene Lager eingesetzt werden.

Um die Wälz- und Gleitlager bei betriebsnahen Bedingungen untersuchen zu können, ist es wichtig, ein weites Spektrum möglicher Betriebszustände zu realisieren. Aus diesem Grund wurde der Prüfstand

so konzipiert, dass die Lager mit bis zu 80 kN radial und mit bis zu 40 kN axial statisch belastet werden können. Die Drehzahl der Prüflager sollte in einem Bereich zwischen 50 und 6000  $\text{min}^{-1}$  stufenlos verstellbar sein.

Um einen möglichst anregungsarmen und damit eigengeräuscharmen Lauf des Prüfstandes zu gewährleisten, wurden die Hauptlager als hydrodynamische Gleitlager mit hydrostatischer Unterstützung ausgelegt. So wird das gesamte zu untersuchende Drehzahlband bei maximaler Belastung der Prüflager gewährleistet. Das ist notwendig, um die von der Betriebslast und der Drehzahl abhängigen Lagergeräusche des Testmusters ohne Störungen aus der Umgebung zu erfassen.

Zur Einkoppelung der Körperschallanregung wurden mehrere Möglichkeiten diskutiert. Eine direkte Erregung der Welle mit einem Shaker würde der Realität am nächsten kommen, da das dem natürlichen Schallflussweg entspricht, siehe **Bild 1**, bei dem der Schall von der Welle durch die Lager auf das Getriebegehäuse geleitet wird. Es erwies sich jedoch als zu aufwändig ein drittes Gleitlager auf der Prüfstandshauptwelle zu montieren, das die Anregung des stationären Shakers an die Welle ankoppelt. Zusätzlich steht dem eine prinzipielle Beschränkung durch die Mechanik zugrunde: die hohe



**Bild 2:** Konzeptskizze des Prüfstandes

Masse, die dieses Gleitlager aufgrund des großen Wellendurchmessers haben müsste, wirkt als Impedanzsprung und reduziert mit der entstehenden Tiefpasseigenschaft die Kraftamplitude für hohe Frequenzen. Zusätzlich würde der Fluidfilm eine weitere unerwünschte Dämpfung der Erregung hervorrufen.

Aus diesem Grund wird der umgekehrte Weg, unter Zugrundelegung linearen Übertragungsverhaltens der Prüflager in beiden Richtungen, also vom Innenring zum Außenring und umgekehrt, eingeschlagen. Trifft diese Bedingung zu, ist es möglich, das Gehäuse (hier die Lagerplatte) anzuregen, in dem das Testlager befestigt ist, und die Übertragungsfunktion als inversen Quotienten aus der Gehäuseantwort zur Wellenanregung zu berechnen.

#### 4 Realisation

Um einen besonders "fremd"-schwingungsarmen Betrieb während der Messung der Übertragungseigenschaften der zu untersuchenden Lager zu gewährleisten wurde der Prüfstand als stehende Konstruktion auf zwei getrennt voneinander elastisch

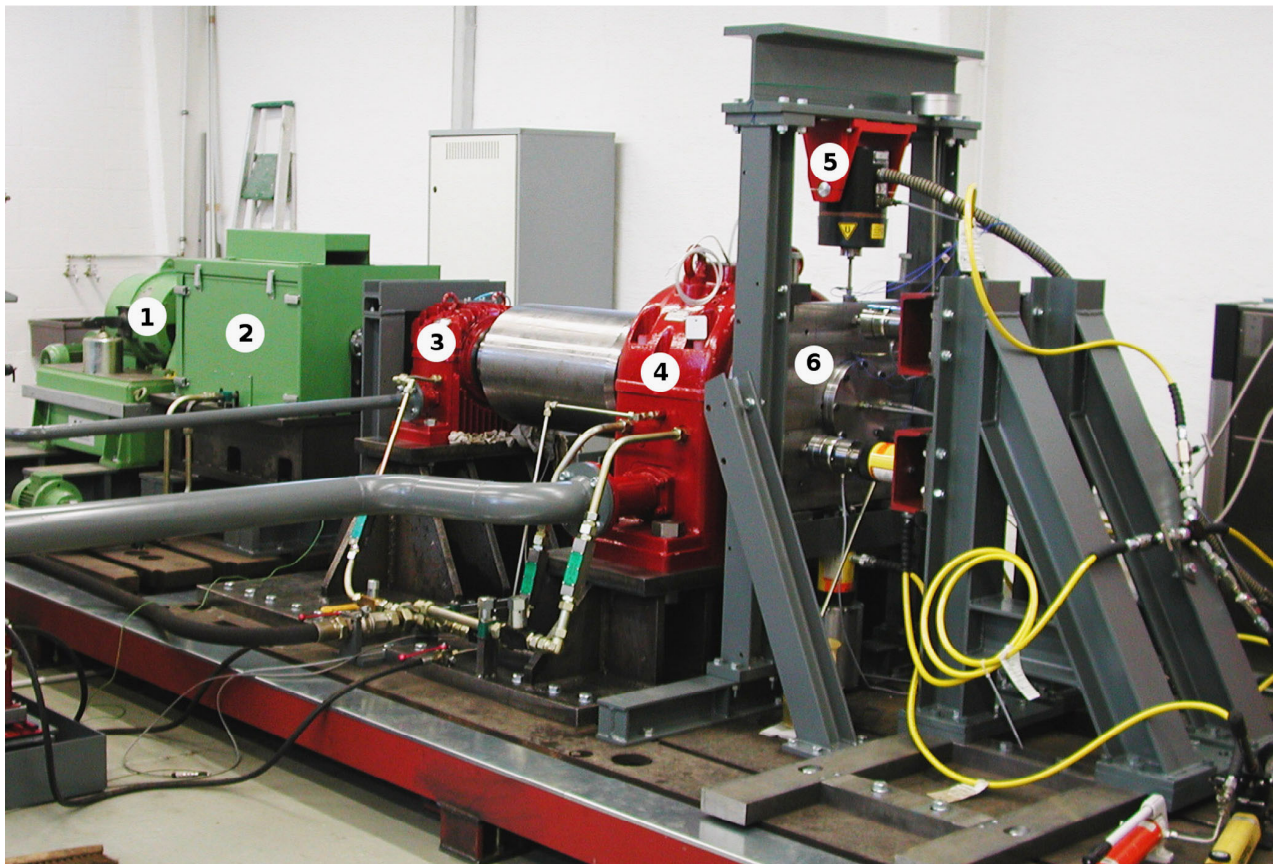
gelagerten Fundamentplatten aus Stahlguss aufgebaut.

Zur Entkopplung von antriebsseitigen Schwingungen stehen Motor (**Bild 3, 1**) und Untersetzungsgetriebe (**Bild 3, 2**) auf einer der Fundamentplatten und sind nur über eine Ausgleichkupplung mit der Prüfstandshauptwelle verbunden.

Als Antriebsaggregat wird ein stufenlos drehzahlsteuerbarer Elektromotor in 250 Hz Ausführung eingesetzt, der Drehzahlen zwischen 0 und 15000  $\text{min}^{-1}$  bei einer maximaler Leistung von 75 kW realisieren kann. Zur Reduzierung der Wellendrehzahl auf maximal 50 bis 6000  $\text{min}^{-1}$  und zur Erhöhung des an der Prüfstandshauptwelle anliegenden Drehmomentes wird ein schaltbares Untersetzungsgetriebe eingesetzt.

Auf der zweiten Fundamentplatte befindet sich die Prüfstandshauptlagerung bestehend aus einer Radial- (**Bild 3, 3**) und einer Radial-Axial-Gleitlager-einheit (**Bild 3, 4**).

Die Ölversorgung der Gleitlager ist getrennt vom eigentlichen Prüfstand aufgebaut. Sie besteht aus



**Bild 3:** Prüfstand zur messtechnischen Ermittlung der Körperschallübertragungsfunktionen von Wälz- und Gleitlagern. 1 Hauptantrieb, 2 Untersetzungsgetriebe, 3 und 4 Prüfstandshauptlagerung (3 Radialgleitlager, 4 Radial-Axial-Gleitlager), 5 elektrodynamischer Schwingerreger, 6 Lagerplatte, 7 Radial-, 8 Axialbelastungsgestell

einer Niederdruck- sowie einer Hochdruckversorgung und einem Kühlaggregat. Aufgrund ihrer Auslegung erlaubt die Prüfstandshauptlagerung Wellendrehzahlen zwischen 50 und 6000 min<sup>-1</sup> bei einer maximalen radialen Belastung der Prüflager von 80kN sowie einer axialen Belastung von 40kN.

Um einen außerordentlich ruhigen, torsionsschwingungsarmen Lauf der Prüfstandshauptwelle zu realisieren, wurde diese besonders massiv ausgeführt.

Neben der Prüfstandshauptlagerung und der Prüfstandshauptwelle besteht der eigentliche Prüfaufbau aus der Lagerplatte und den Radial- und Axialbelastungseinheiten sowie der Körperschallanregung und der Auswertesensorik ebenfalls auf der zweiten Fundamentplatte.

Die zu untersuchenden Prüflager sind über einen austauschbaren Wellenadapter, der als ausragendes Element vor dem Radial-Axial-Gleitlager (**Bild 3, 4**) läuft, mit der Prüfstandshauptwelle verbunden.

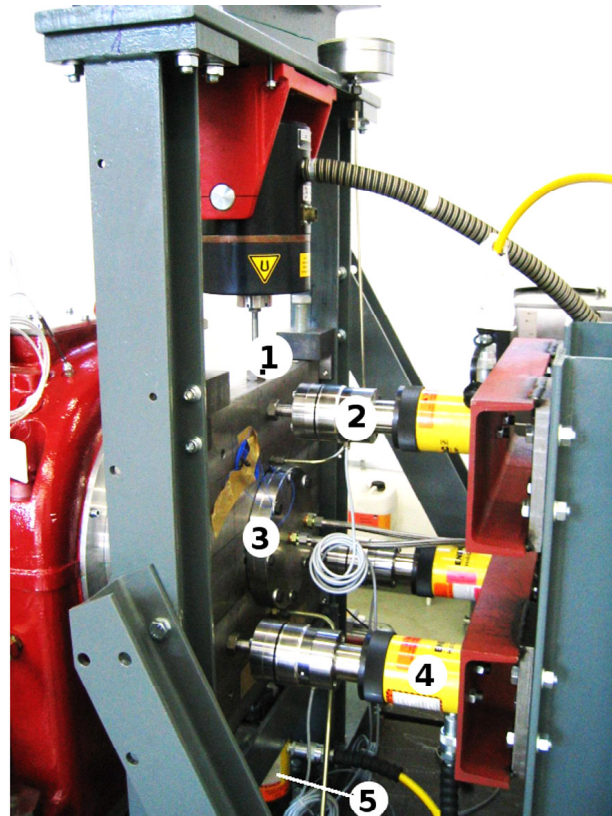
Eingebaut werden die Lager in eine massive Lagerplatte (**Bild 3, 6**), die als Ersatz für den Gehäuseschnitt, beispielsweise eines Getriebes, dient.

Mit Hilfe eines elektrodynamischen Schwingerregers (**Bild 3, 5**) wird die Lagerplatte frequenzselektiv dynamisch erregt.

Über die Lagerplatte können die Prüflager statisch radial mittels eines Hydraulikzylinders (**Bild 4, 5**) mit bis zu 80kN sowie axial über drei einzeln ansteuerbare Hydraulikzylinder (**Bild 4, 4**) mit bis zu 40kN belastet werden. Während der Versuche werden die statischen Belastungen mit Hilfe von Kraftmessdosen (**Bild 4, 2**) überwacht.

Um sicher zu stellen, dass die maximale Schiefstellung zwischen Innen- und Außenring des Lagers nicht mehr als eine Winkelminute beträgt, wird die Lagerplatte nach dem Austausch eines Lagers genau zur Welle ausgerichtet. Darüber hinaus wird die Position der Platte während der Versuche permanent kontrolliert.

Das jeweilige Prüflager wird während der Tests mit einem definierten Ölvolumenstrom versorgt. Da die Lager und die verwendeten Schmieröle auch unter verschiedenen Temperaturen getestet werden, verfügt der Lagerdeckel (**Bild 4, 3**) über einen integrierten Wärmetauscher, der die Umgebung der Wälzlager auf eine festgelegte Temperatur einstellt. Bei den Gleitlagerversuchen wird der eingesetzte Schmierstoff auf eine zuvor festgelegte Temperatur geregelt.



**Bild 4:** Blick auf den eigentlichen Prüfaufbau. 1 Ankopplung des elektrodynamischen Schwingerregers an die Lagerplatte, 2 Kraftmessdose, 3 Wärmetauscher, 4 Hydraulikzylinder axial, 5 Hydraulikzylinder radial

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes "Dynamisches Übertragungsverhalten von Lagern im akustisch relevanten Frequenzbereich" der FVA, gefördert durch die AiF wurde am Institut für Maschinenwesen ein Prüfstand zur messtechnischen Ermittlung der Körperschallübertragungsfunktionen von Wälz- und Gleitlagern gebaut. Der Prüfstand erlaubt es verschiedenste Arten und Größen von Wälz- und Gleitlagern unter einem weiten Bereich betriebsnaher Randbedingungen auf Ihre Körperschallübertragungsfunktionen hin zu untersuchen.

## 6 Literatur

- /1/ Dietz, P.; Backhaus, S.: Dynamisches Übertragungsverhalten von Lagern im akustisch relevanten Frequenzbereich, Forschungsvorhaben 404, Körperschallübertragung Wälzlager / Gleitlager, Informationstagung des Wissenschaftlichen Beirats der FVA, Würzburg, 2004;