

Untersuchung der akustischen Auswirkungen von Wellenfehlstellungen in Sondergetrieben

Adam Skowronek¹, Steffen Kuhl², Joachim Bös¹ und Holger Hanselka³

¹ TU Darmstadt, Fachgebiet SzM, Email: skowronek@szm.tu-darmstadt.de

² TU Darmstadt, Fachgebiet SzM (ehem. Mitarbeiter)

³ Fraunhofer-Institut LBF, Darmstadt

Einleitung

Für die Bestimmung akustischer Eigenschaften von Getrieben werden diese in der Regel auf Prüfständen montiert und betrieben, wobei geeignete Körper- oder Luftschallsignale ausgewertet werden. Jedoch unterliegen dynamische Signale wie Beschleunigungen vor allem bei erneuter Montage von Bauteilen oft einer hohen Streuung. Dies ist auf hohe Steifigkeiten von Bauteilen und Lagerungen zurückzuführen, die bereits bei geringen Verschiebungen deutliche Änderungen der Kontaktkräfte bewirken. Um trotzdem aussagekräftige Ergebnisse zu erlangen, werden Messungen deswegen wiederholt durchgeführt, was mit entsprechendem zusätzlichen Aufwand sowohl bei der Erfassung als auch der Auswertung der Messdaten verbunden ist. Die konkreten Einflüsse von Montagefehlern können jedoch meist nicht bestimmt werden. Dieser Beitrag stellt einen Getriebeprüfstand vor, der neben der Erfassung grundsätzlicher akustischer Eigenschaften auch die Untersuchung von Montageeinflüssen sowie von gezielten Wellenfehlstellungen ermöglicht. Dabei wird ein aktives Magnetlager zur Wellenpositionierung und Kräftefassung genutzt [1, 2]. Einzelne Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen an Sondergetrieben mit koaxialer Ein- und Ausgangswelle werden präsentiert.

Prüfstands Aufbau

Der Prüfstand besteht aus den drei Teilen Antrieb, Übersetzung und Abtrieb, die auf einem geschweißten Gestell auf einer T-Nutenplatte ausgerichtet werden (Abbildung 1). Dabei werden die einzelnen Teile über massive Stahlhalter und Adapterplatten zueinander zentriert und mit Oldham- und Metallbalgkupplungen verbunden. Der Antrieb wird durch einen Servomotor gebildet.

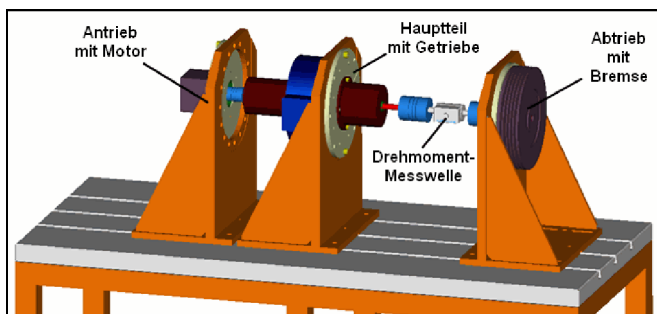


Abbildung 1: Prüfstand, Gesamtansicht

Der Abtrieb wiederum besteht aus einer Magnetpulverbremse, die über eine Drehmomentmesswelle mit der Ausgangswelle des Getriebes verbunden ist. Der Hauptteil ist für Getriebe mit koaxialer Ein- und Ausgangswelle konzipiert (Abbildung 2).

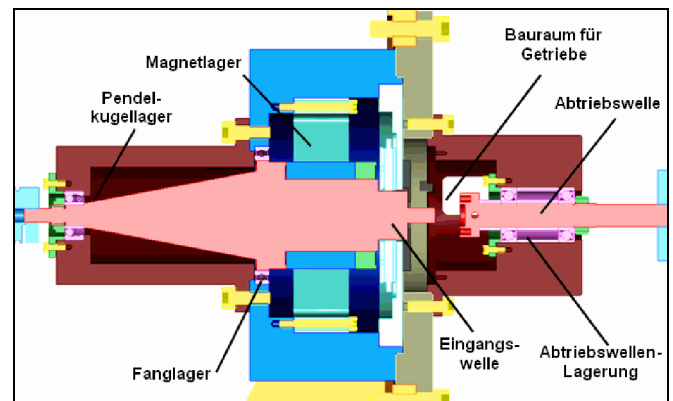


Abbildung 2: Prüfstand, Schnitt durch Hauptteil

Die Abtriebswelle ist mit Spindellagern in O-Anordnung gelagert. Die Eingangswelle wiederum ist mit einem Pendelkugellager als Festlager sowie einem aktiven Magnetlager als Loslager ausgelegt. Dieses ist in der Lage, die radiale Position der Welle zu regeln. Innerhalb eines Orbits mit einem Durchmesser von 0,25 mm können so definierte statische sowie umlaufende Verschiebungen realisiert werden, um bestimmte exzentrische Lagen der Welle zu simulieren. Dabei werden die auf die Welle wirkenden radialen Magnetkräfte sowie die radiale Position der Welle ermittelt. Auch werden Beschleunigungssignale auf einem Getriebebauteil im Bereich der Abtriebswelle erfasst.

Um eine translatorische Verschiebung des getriebeseitigen Wellenendes bei möglichst kleiner Drehung der Welle zu erreichen, wurde der Lagerabstand mit knapp 180 mm bewusst hoch gewählt. Dies hat in Zusammenhang mit einem möglichst kurzen Abstand zwischen Magnetlager und Getriebe zusätzlich den Vorteil, dass das Magnetlager einen größeren Teil der Reaktionskräfte aufnimmt. Dadurch kann aus den gemessenen Magnetkräften besser auf die radialen Kräfte im Getriebe geschlossen werden. Eine Schwierigkeit des großen Lagerabstandes bestand jedoch in einer niedrigen ersten Biegeeigenfrequenz der Welle und damit verbunden in einer hohen Anzahl ihrer Eigenfrequenzen bereits im tiefen Frequenzbereich. Um dem entgegenzuwirken, wurde der Durchmesser der Welle mit bis zu 80 mm sehr groß gewählt. Damit konnte eine erste Biegeeigenfrequenz von 1600 Hz erreicht werden.

Ergebnisse

Im Folgenden werden erste Untersuchungen des Montageeinflusses, der radialen Steifigkeit sowie des Einflusses einer umlaufenden Kraft dargestellt.

Montageeinfluss

Erste Messungen betrafen die Montagegenauigkeit am Prüfstand ohne zusätzliche Magnetkräfte, wobei die Wellenposition nach wiederholtem Abziehen des Getriebegehäuses ausgewertet wurde, in dem die übrigen Bauteile bereits montiert waren. Obwohl nur der Getriebetopf wiederholt abgezogen wurde, zeigten sich bereits Abweichungen der Position um fast $10 \mu\text{m}$ (Abbildung 3). Auch wich die mittlere Lage vom Mittelpunkt des Magnetlagers um knapp $40 \mu\text{m}$ ab. Dies betont die Notwendigkeit, eventuelle akustische Auswirkungen entsprechender Fehlpositionierungen näher zu untersuchen.

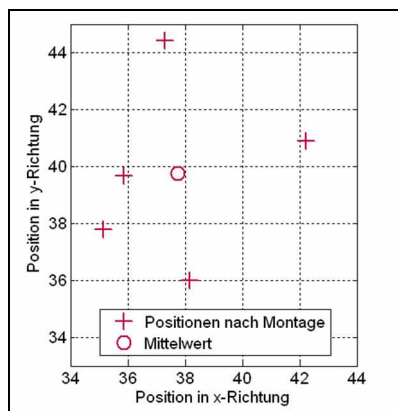


Abbildung 3: Wellenpositionen bei 5-maliger Montage

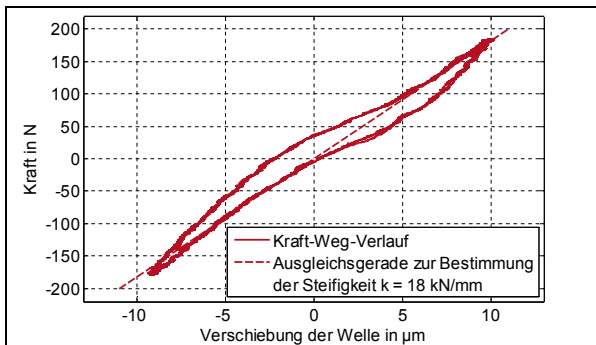


Abbildung 4: Kraft-Weg-Diagramm zur Bestimmung radialer Steifigkeit

Radiale Steifigkeit

In einem weiteren Schritt wurde die radiale Steifigkeit der Getriebe vermessen. Zu diesem Zweck bewirkte die Magnetlagerregelung eine definierte Verschiebung der Eingangswelle, wobei Positions- und Kraftverlauf erfasst wurden. Beispielhaft ist ein entsprechendes Kraft-Weg-Diagramm in Abbildung 4 dargestellt. Es zeigt leichtes Hystereseverhalten, so dass eine resultierende Steifigkeit mit Hilfe einer Ausgleichsgeraden bestimmt wurde.

Bei den Untersuchungen wurden teilweise Steifigkeiten von über 20 kN/mm erreicht. In Zusammenhang mit den Untersuchungen der Montagegenauigkeit kann man also

davon ausgehen, dass die radialen Vorspannungen innerhalb der Getriebe mehrere hundert Newton erreichen können.

Umlaufende Kraft

Wellenfehlstellungen führen nicht nur zu stationären Verspannungen, sondern können auch zu umlaufenden Kräften führen, wie sie bei Exzentrizitäten der Eingangswelle auftreten. Am Prüfstand wurde dieser Fall durch eine umlaufende Kraft in Drehfrequenz in Höhe von 150 N simuliert. Im Beschleunigungsspektrum kann man erkennen, dass dies zu deutlich erhöhten Pegeln der ersten sowie weiterer ungerader Ordnungen führt (Abbildung 5).

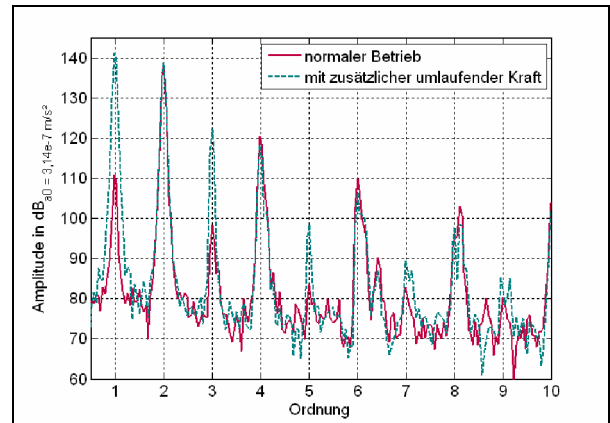


Abbildung 5: Beschleunigungsspektrum mit und ohne zusätzliche umlaufende Kraft

Zusammenfassung

Der Beitrag stellt einen Getriebeprüfstand vor, der durch eine aktive Magnetlagerung der Eingangswelle deren radiale Position regelt sowie die auf sie wirkenden Kräfte erfasst. Kombiniert mit der Aufzeichnung akustischer Signale können mit Hilfe dieser Funktionen die akustischen Auswirkungen von radialen Fehlstellungen der Eingangswelle bestimmt werden. Weitere Einsatzmöglichkeiten sind Untersuchungen von Montagewiederholungsgenauigkeiten sowie von radialen Steifigkeiten von Getrieben, die anhand von Messergebnissen vorgestellt werden. Auch werden Ergebnisse von Untersuchungen des Einflusses einer umlaufenden Kraft präsentiert, wie sie durch eine exzentrische Lagerung hervorgerufen wird. Diese bewirken einen deutlichen Pegelanstieg nicht nur der ersten, sondern auch höherer ungerader Ordnungen.

Literatur

- [1] Förch, P.: dynamische Untersuchungen an rotierenden Strukturen mittels Magnetlagern. VDI Verlag, Düsseldorf 1999, ISBN 3-18-327211-3
- [2] Aenis, M.: Einsatz aktiver Magnetlager zur modellbasierten Fehlerdiagnose in einer Kreiselpumpe, Seite 14. Shaker Verlag, Aachen, 2002, ISBN 3-8322-0874-7

