

## Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Wälz- und Gleitlagern bei stoßartiger Anregung



Rehmet, R.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.

*Durch den Ölfilm eines hydrostatischen Gleitlagers kann das Feder-Dämpfer-Verhalten eines mechanischen Systems beeinflusst werden. Im Rahmen einer Industrieanfrage wurde untersucht, wie sich das dynamische Verhalten des Systems von einer wälzgelagerten zu einer gleitgelagerten Welle verändert. Die Ergebnisse legen nahe, dass das dynamische Verhalten von hydrodynamischen Lagern stark beeinflusst wird.*

*By using a hydrostatic bearing, the oil film should affect the spring-damper-element of the mechanical system. An analysis of a specific industrial machine provided information, to what extent the dynamic behaviour of the machine would change in comparison to roll bearing. The results suggest that the dynamic behaviour of a mechanical system is highly connected to the behaviour of a hydrodynamic bearing.*

### Abstract / Motivation

In zahlreichen mechanischen Anwendungen erweisen sich dynamische Reaktionen eines Systems als kritisch für die Qualität des Prozesses und die damit hergestellten Produkte. Der erste Ansatz, die Anregung zu vermeiden, um der Systemreaktion zu entgehen, ist nicht immer eine Option, da zahlreiche Produktionsvorgänge durch eine systemimmanente Anregung erst wirksam werden. Als Beispiel sei hier die Wellenlagerung einer Schredder-Anlage oder eines Mahlwerkes genannt. Das übergeordnete Ziel der Anlage ist das Zerkleinern eines Gutes. Dabei treffen immer wieder Komponenten der Anlage auf das Gut, was zu einer Kräfteinleitung in die Lagerung führt. Die Alternative, diese Kräfteinleitung zu umgehen, ändert das physikalische Wirkprinzip und ist daher als nicht zielführend zu betrachten.

### Vorgehen zum Vergleich

Im Rahmen einer Untersuchung an einer Industrieanlage wurde das dynamische Verhalten im wälzgelagerten und im hydrostatisch-gleitgelagerten Zustand

untersucht. Die zugrundeliegende Fragestellung ist, ob ein spezifisches hydrostatisches Gleitlager in der Lage ist, die durch eine impulsartige Anregung eingebrachte Stoßenergie zu absorbieren und somit eine Schwinganregung des Feder-Dämpfer-Systems zu verhindern oder die Auswirkungen zu vermindern.

Der Messaufbau sieht die Aufzeichnungen der Beschleunigungen in der Welle, sowie an den Lagerböcken in zwei radial orthogonalen Raumrichtungen vor. Zur Übermittlung der Beschleunigungsdaten der Welle kommt ein Telemetrie-System zum Einsatz. Der Messaufbau ist in Abbildung 1 dargestellt.

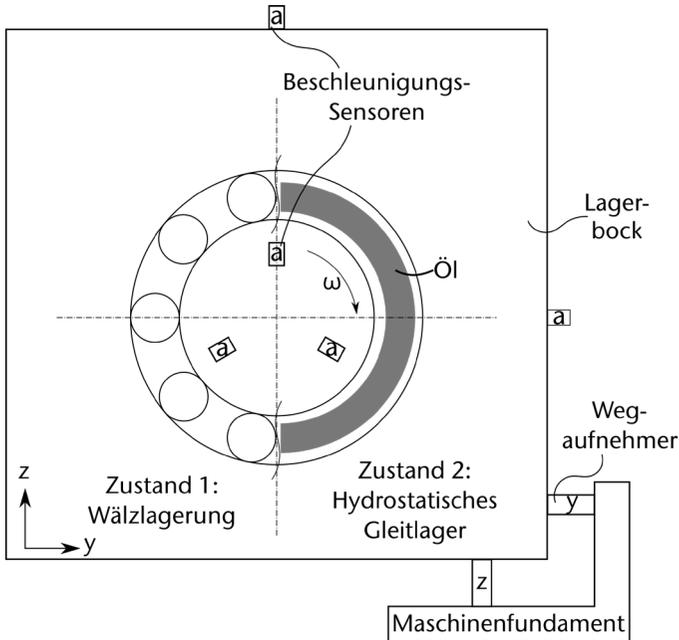


Abbildung 1: Messtechnisches Konzept zur Erfassung der Beschleunigungen und Bewegungen

Aus den Daten kann sowohl eine empirische Übertragungsfunktion der Lagerung errechnet werden, als auch das dynamische Verhalten über der Zeit bewertet werden. An der gemessenen Anlage ist der Lagerbock selbst als Feder-Dämpfer-System angebracht, weshalb auch die Relativbewegungen zum Maschinenfundament aufgezeichnet werden.

### Ergebnisse der Messung

Es kann festgestellt werden, dass sich das dynamische Verhalten der Maschine mit dem Austausch der Wellenlagerung stark geändert hat und sich die hydrostatische

Gleitlagerung in erhöhtem Maße als instationär zeigt. Durch den Eingriff in die Feder-Dämpfer-Eigenschaften des Systems lassen nicht nur die Beschleunigungsmessschriebe ein Aufschwingen des Systems erkennen, auch die Auslenkung des Lagerbocks nimmt im direkten Vergleich zu. Diese Erkenntnis gilt allerdings nicht für den gesamten Frequenzbereich.

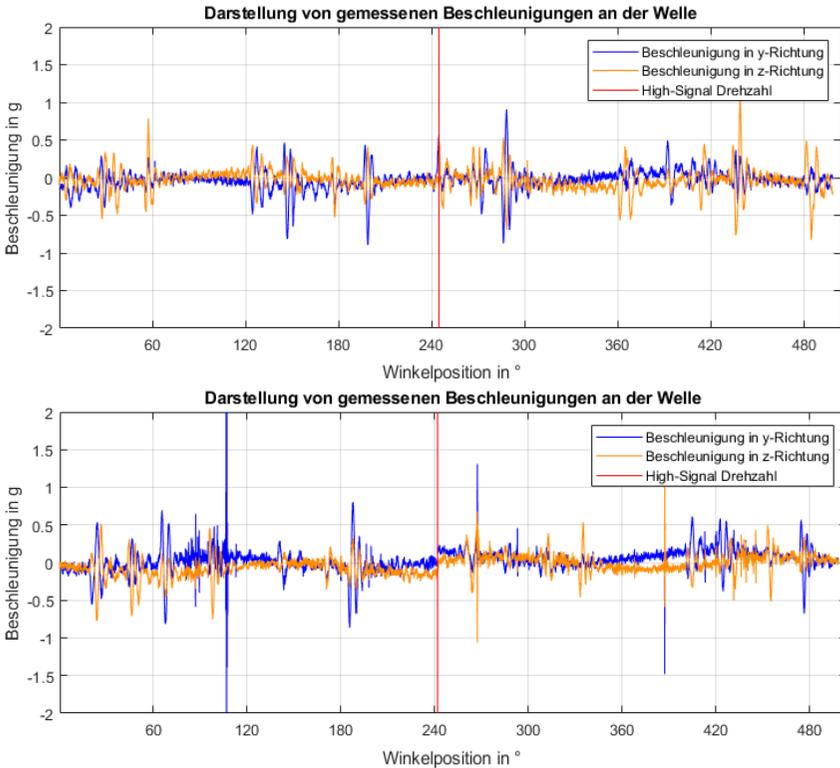


Abbildung 2: gemessene Beschleunigungen der Welle im wälzgelagerten (oben) und im gleitgelagerten (unten) Zustand

Abbildung 2 zeigt die Beschleunigungsverläufe der Welle im wälzgelagerten, sowie im gleitgelagerten Zustand. Die Beschleunigungen wurden mit drei uniaxialen, piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern aufgezeichnet. Diese zeichnen Beschleunigungen um 120° versetzt in radiale Richtung auf. Die gemessenen Daten wurden trigonometrisch mit dem Drehzahlbezug umgerechnet und auf das Maschinenkoordinatensystem bezogen. Die Rotationsachse der Welle wird im Koordinatensystem als x-Achse bezeichnet. Die y- und z-Achse liegen damit radial zur Welle. In den Plots sind jeweils vertikale, rote Linien eingezeichnet. Die Linie markiert die Anregung des Systems. 45° voreilend geschieht prozessbedingt eine Anregung in y-Richtung, 45° nacheilend entsprech-

end eine Anregung in z-Richtung. Es ist zu erkennen, dass sich die Veränderung bei einer Anregung im niederfrequenten Bereich mit größeren Amplituden auswirkt, was deutlich bei der voreilenden Anregung zu erkennen ist.

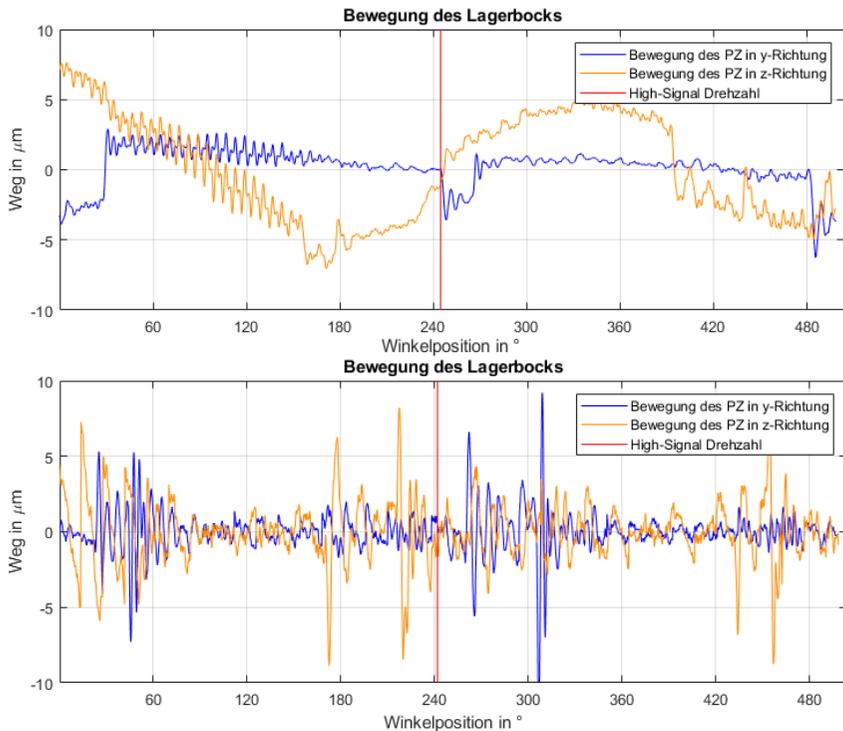


Abbildung 3: Gemessene Bewegungen des Lagerbocks im wälzgelagerten (oben) und im gleitgelagerten (unten) Zustand

Ein weiterer Trend lässt sich auch bei Betrachtung der zurückgelegten Wege erkennen. Hier existiert im wälzgelagerten Zustand eine deutlich ausgeprägte, vollständige Schwingung in z-Richtung zwischen 60° und 420°, also eine Schwingung in der Frequenz der Wellendrehzahl von ca. 1,5 U/s. Auch im gleitgelagerten Zustand taucht diese Schwingung auf, allerdings wird sie von Oberschwingungen überlagert. Einige der Oberschwingungen scheinen so große Amplituden zu haben, dass sich die ursprüngliche Schwingform nur noch erahnen lässt. Die im wälzgelagerten Zustand deutlich zu erkennenden Ausschwingvorgänge kleiner Amplituden lassen sich in Abbildung 3 auch im gleitgelagerten Zustand, z.B. in y-Richtung bei ca. 60°, erkennen. Allerdings zeigt sich die Bewegung des gleitgelagerten Systems vor allem in höherfrequenten Schwingungen im Gegensatz zum wälzgelagerten System.

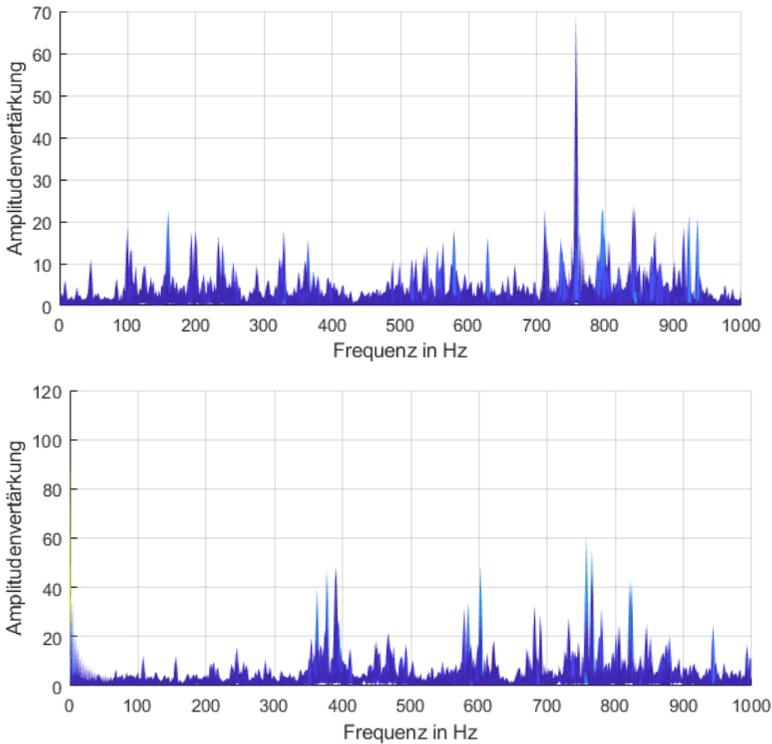


Abbildung 4: *Darstellung des Übertragungsverhaltens von Welle zu Lagerbock (Beschleunigungen) im wälzgelagerten (oben) und gleitgelagerten Zustand (unten)*

In Abbildung 4 ist das Übertragungsverhalten der Beschleunigungen der Welle zum Lagergehäuse dargestellt. Die Abbildung kann herangezogen werden, um zu zeigen, dass die Wirksamkeit der Maßnahme zur Dämpfung von Anregungen in verschiedenen Frequenzbereichen vorhanden ist. Im vorliegenden Fall ist vor allem eine sehr niederfrequente Anregung für die Qualitätseinbußen des hergestellten Produktes verantwortlich. Durch Variation der Spaltgeometrie, der Druckverhältnisse und der Viskosität im Lager kann eine Veränderung der Feder-Dämpfer-Eigenschaften des Lagers erzielt und so das Systemverhalten abgestimmt werden /1/.

## Zusammenfassung

Das ursprüngliche Ziel der Umbaumaßnahme vom wälz- in den gleitgelagerten Zustand war die Elimination von niederfrequenten Schwingungen, die das Prozessergebnis ungünstig beeinflussen. Durch eine maschinendynamische Messung konnte nachgewiesen werden, dass eine Veränderung des dynamischen Verhaltens durch den Austausch der Wälzlager gegen hydrostatische Gleitlager erzielt werden kann. Die Einstellung des dynamischen Verhaltens erfordert allerdings zahlreiche und kostspielige Versuche, da Lagerschalen und Geometrien getauscht und angepasst werden müssen.

## Literatur

- /1/ Weck, M.; Brecher, C.,: Werkzeugmaschinen 2. Konstruktion und Berechnung, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006