

# Ein Gerät zur Diagnose von Laufflächenschäden an Wälzlagern

Dr.-Ing. R. Ullmann, KDT, Ing.-Büro für vorbeugende Instandhaltung beim Kombinat für Landtechnische Instandhaltung Dresden

Wälzlager, die im Maschinenbau vielfältige Verwendung finden, sind Schädigungsprozessen unterworfen, die zu einem Abbau der Werkstofffestigkeit der Lagerelemente bzw. zu einer Verschlechterung der Laufeigenschaften des Lagers führen. Damit vermindert sich die Zuverlässigkeit der Lagerung. Ein Ausfall der Wälzlagerung ist früher oder später unausweichlich.

Für moderne Maschinen muß jedoch eine hohe Einsatzzuverlässigkeit gefordert werden, um unplanmäßige Ausfälle auf ein Minimum zu begrenzen. Die Schädigungsprozesse in einem Wälzlager sind rechtzeitig zu erkennen, um bereits vor einem plötzlichen Ausfall eine vorbeugende Instandsetzung durchführen zu können [1]. Zum Erreichen dieser Zielstellung soll das nachfolgend vorgestellte Diagnosegerät beitragen.

## 1. Darstellung des Diagnoseverfahrens

Jede Wälzlagerung ist in einer Maschine mit einem mehr oder weniger stark ausgeprägten Körperschallspektrum behaftet. Dieses Schwingungsspektrum erfährt u. a. durch während der Lagernutzung auftretende Laufbahnschäden eine Verstärkung der Amplitude. Neben der Auswirkung eines Laufbahnschadens auf den Körperschall der Lagerung erfolgt ebenso ein negativer Einfluß auf das Laufgeräusch (Luftschallabstrahlung) und auf die Auslenkung der Welle im Lager. Die Ursache dafür ist das Auftreten von Stoßerscheinungen [2]. Bild 1 zeigt einen Laufbahnschaden in Form einer Pittingbildung am Außenring eines Rillenkugellagers. Das durch Werkstoffausbruch entstandene Pittingrelief führt zu einer Störung des Wälzvorgangs zwischen Wälzkörper und Laufring. Teilweise gleiten die Wälzkörper auf den Pittings, teilweise werden die Ausbruchstellen überhaupt nicht berührt. Beim Aufschlagen bzw. Aufprallen der Wälzkörper entstehen zahlreiche Stoßerscheinungen, die sich auf die Laufeigenschaften des Wälzlagers auswirken. Damit ist eine Möglichkeit zur diagnostischen

Schadenserkennung gegeben. Die Wälzlager-Prüfeinrichtung basiert auf einer Frequenzanalyse des Körperschallspektrums des Prüflagers. Aus dem breiten Schwingungsspektrum werden bestimmte Frequenzbänder herausgefiltert und deren Schwingungsamplitude gemessen. Die quantitative Größe der Amplitude eines Frequenzbandes ist das Bewertungskriterium für den Zustand des Wälzlagers.

## 2. Voraussetzungen für das Verfahren

Ein solches Prüfverfahren auf der Basis einer Körperschall-Frequenzanalyse ist nicht für alle praktisch vorkommenden Wälzlagerungen anwendbar. Es beschränkt sich auf Lagerungen, die den geforderten Prüfvoraussetzungen gerecht werden. Diese betreffen einerseits die Betriebsbedingungen des Prüflagers und andererseits die Erfassung des Diagnosesignals.

### Betriebsbedingungen

Bei sämtlichen Prüfungen müssen die Betriebsbedingungen (Drehzahl, Drehrichtung der Welle, Belastung der Lagerung) konstante Werte aufweisen. Die annähernd gleiche Belastung wird durch einen Leerlauf der zu prüfenden Baugruppe erreicht. Die Drehzahl sollte im Bereich von 400 U/min bis 1000 U/min liegen. Die Drehrichtung ist frei wählbar.

### Antriebsquelle

Von der Antriebsquelle der Prüflagerung muß eine annähernd konstante Drehzahl und eine geringe Körperschall-Störeinwirkung auf das Diagnosesignal gefordert werden. Diesen Anforderungen wird ein Elektromotor gerecht.

### Einwirkung von Störspektren auf das Prüflager

Der Einfluß von Störspektren ist ein ausschlaggebender Faktor für den erfolgreichen Einsatz des Prüfverfahrens. So ist eine Vielzahl von Wälzlagerungen an bzw. in unmittelbarer Nähe von Verbrennungsmotoren, Zahnradgetrieben und Kettengetrieben nicht prüfbar. Ein Richtwert für das zulässige auf die Prüflagerung einwirkende Störspektrum ist nur schwer anzugeben, denn dazu muß das Störspektrum in seiner spektralen Zusammensetzung betrachtet werden. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde ein Meßwertvergleich zwischen einem unbeschädigten und einem schadbehafteten Lager vorgenommen.

### Anbringung des Meßwertaufnehmers

Entscheidende Faktoren für die Anbringung des Meßwertaufnehmers sind die Zugänglichkeit zur Prüflagerung sowie die Gestaltung der Koppelstelle (Bilder 2 und 3). Folgende Anforderungen werden an die Meßstelle gestellt:

- Meßraum: Breite  $B \geq 30$  mm, Höhe  $H \geq 60$  mm (gilt für Haftmagneten)
- einseitige Zugänglichkeit zur Meßstelle
- Schwingungsabnahme radial bis rd. 45° geneigt zur Wellenachse
- Vorhandensein einer Koppelstelle am Lagergehäuse bzw. an unmittelbar benachbarten Bauteilen
- Oberflächenausführung der Koppelstelle.

Von diesen aufgeführten Einflüssen ist die Prüfaussage abhängig. Eine nur teilweise realisierte Verfahrensvoraussetzung kann so hohe Prüftoleranzen bewirken, daß eine Prüfung aussagegelos wird. Bevor eine praktische Diagnose durchgeführt wird, ist erst zu klären,

ob die Verfahrensvoraussetzungen erfüllt werden bzw. durch entsprechende Maßnahmen realisiert werden können. So ist beispielsweise die Anbringung einer Gewindebohrung zur Befestigung des Aufnehmers an vielen zugänglichen Lagerungen möglich. Dabei muß von dem Grundsatz ausgegangen werden, den Meßwertaufnehmer so nahe wie möglich an das Prüflager heranzuführen.

## 3. Beschreibung des Diagnosegeräts DS-601

Die Meßeinrichtung ist ausschließlich aus industriell gefertigten Bausteinen des SM-Systems aufgebaut (Hersteller: VEB RFT-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden). Im wesentlichen besteht die Meßeinrichtung aus zwei Teilen:

- Aufnehmergeil
  - Meßwertverarbeitungs- und Anzeigeteil.
- Als Aufnehmer wird ein piezoelektrischer Beschleunigungsaufnehmer eingesetzt, der als einseitig gekoppelter Dickenschwinger ausgeführt ist. Eine mechanische Resonanzfrequenz von 20 kHz gestattet den Einsatz des Aufnehmers bis zu einem oberen Arbeitsbereich von rd. 15 kHz.

Die Ankopplung des Aufnehmers an die Meßstelle kann prinzipiell nach drei Varianten erfolgen:

- Ankopplung mit Hilfe eines Haftmagneten (VEB Metra Radebeul)
- Verschraubung mit Hilfe einer Stift- oder Bundschraube (VEB Metra Radebeul)
- Verwendung eines Koppelstiftes.

Da die Haftmagnetbefestigung größere Meßtoleranzen aufweist, sollte die Schraubverbindung vorrangig eingesetzt werden.

Bild 4 zeigt den Meßwertaufnehmer an der rechten Lagerung des Reinigungsgebläses des Mähreschers E 512. Der verwendete Koppelstift wurde in die Schmiernippelbohrung des Stahllagergehäuses eingeschraubt.

Zum Meßwertaufnehmer gehört u. a. folgendes Zubehör: 1 Haftmagnet, 3 Koppelstifte (25 mm, 50 mm und 100 mm lang), 1 Iso-

Bild 1. Ermüdungsschaden an der Laufbahn des Außenrings eines Rillenkugellagers

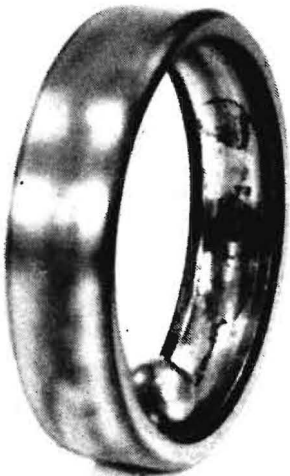
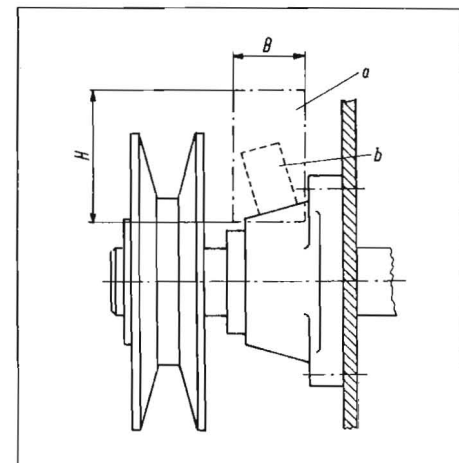


Bild 2. Anforderungen an eine Meßstelle, dargestellt am Beispiel eines DKF-Flanschlaggers; a erforderlicher Meßraum, b Schwingungsaufnehmer



hierflansch, 1 Kabelabfangblech, 1 Anschlußkabel (1,5 m lang), 1 Verlängerungskabel (5 m lang).

Den zweiten Teil der Meßeinrichtung stellt das Meßwertverarbeitungs- und Anzeigeteil dar. Das Funktionsmuster (Bild 5) enthielt folgende Baugruppen:

- Integrierverstärker
- Bandfilter
- Anzeigeteil (Transistorvoltmeter)
- Oszilloskop
- Stromversorgungsteil.

Die Erprobung zeigte, daß das Oszilloskop im Vergleich zur analogen Anzeige des Meßwerts keinen zusätzlichen Informationsgewinn bringt. Deshalb entfällt diese Baugruppe bei dem Seriengerät, womit sich auch die Geräteabmessungen wesentlich verkleinern. Sämtliche Baugruppen sind als Bausteine ausgeführt. Die Basis bildet das Bausteingehäuse, das aus einem Rahmen besteht und die Führungsteile sowie die Verdrahtung für die betreffenden Bausteineinschübe enthält. An der Rückseite des Bausteingehäuses befinden sich die Speisebuchsen bzw. Stecker für die Meßeinrichtung, die Sicherungen, Ausgangsbuchsen für die Wechsel- und Gleichspannungen und diverse Anpassungsregler. Im Bild 6 wird anhand eines Blockschemas die Verarbeitung des Aufnehmersignals veranschaulicht. Der Meßwertempfänger liefert ein Beschleunigungssignal, das sämtliche Körperschall-schwingungen bis zu einem Frequenzbereich von rd. 20 kHz enthält. Im Integrierverstärker erfolgt eine Integration des Aufnehmersignals zur Schwinggeschwindigkeit. Hierzu sind im Integrierverstärker zwei Miller-Integratoren in Reihe geschaltet, wobei der erste als Integrator und der zweite als reiner Spannungsverstärker arbeitet. Die untere Grenzfrequenz beträgt 50 Hz. Die Verstärkung ist bis zu 76 dB einstellbar. Über einen Impedanzwandler kann extern ein Schleifen- oder Katodenstrahl- oszillograph angeschlossen werden. Das Diagnosesignal gelangt über einen im Speiseteil befindlichen Wahlschalter zum Bandfilter. Dieses Bauteil ist ein aktives Filter auf der Basis einer Integratorschleife, die die Übertragungseigenschaften eines elektrischen Schwingkreises besitzt. Durch Änderung einer Steuer-spannung läßt sich die Resonanzfrequenz des Schwingkreises und damit die Analysefrequenz des Filters beliebig einstellen. Die Einstellung der Analysefrequenz erfolgt von Hand an einem Meßpotentiometer oder auch durch eine externe Steuerspannung. Die Bandbreite kann in drei Stufen gewählt werden, wobei 10% relative Bandbreite für die Wälzlagerdiagnose ausreichend sind. Neben dem Filterzweig besitzt das Filterteil eine Schaltstellung „linear“ zur Kalibrierung der Meßkette. Filtereingang und -ausgang sind direkt miteinander verbunden.

Am Transistorvoltmeter erfolgt die quantitative Anzeige der Amplitude des analysierten Frequenzbandes. Verarbeitet wird hierzu das Meßsignal als Effektivwert in der Anzeigedynamik „langsam“ oder „schnell“. Das Anzeigeteil enthält einen zusätzlichen Verstärker, wodurch sich Amplitudenwerte bis zu 1 mV als untere Meßgrenze ablesen lassen. Weiterhin ist das Anzeigeteil mit einer Einrichtung zur Betriebsspannungskontrolle ausgerüstet. Diese ist besonders für den Einsatz einer externen Speisebatterie wichtig. Mit Hilfe einer Taste ist der angezeigte Effektivwert jederzeit löscherbar. Das Speiseteil liefert die für die einzelnen Bausteine erforderlichen Versorgungsspannungen.

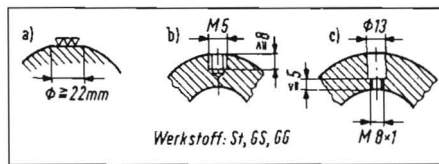


Bild 3. Gestaltung der Koppelstelle für den Schwingungsaufnehmer;  
a) Gehäusephase für Haftmagneten  
b) Gewindebohrung für Stift- oder Bundschraube  
c) Sackbohrung für Koppelstift

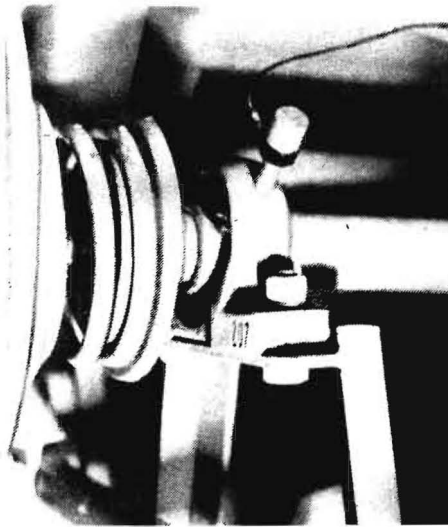


Bild 4. Meßwertempfänger zur Wälzlagerdiagnose an der rechten Lagerung des Reinigungs- gebälges des Mähreschers E 512

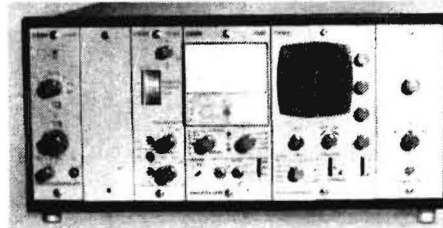
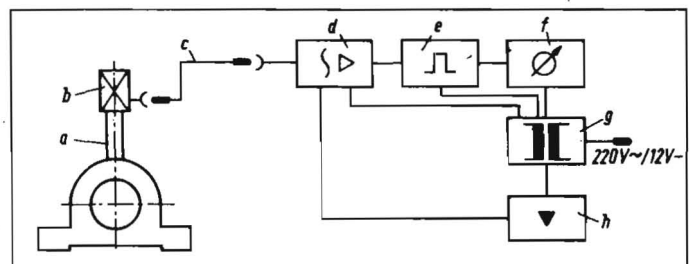


Bild 5. Vorderansicht des Wälzlagerprüfgeräts DS-601 (Funktionsmuster)

Bild 6. Blockschaubild der Wälzlagerprüfeinrichtung DS-601;  
a Koppelinrichtung, b Beschleunigungsaufnehmer, c Verbindungskabel, d Integrierverstärker, e Bandfilter, f Anzeigeteil, g Stromversorgungsteil, h Kalibriereinrichtung



Die Kalibrierung der gesamten Meßeinrichtung erfolgt mit Hilfe einer Rechteckspannung. Weitere technische Details zu den eingesetzten Bausteinen können der Literatur [3] [4] [5] entnommen werden.

#### 4. Erprobung

Das Wälzlagerprüfgerät wurde einer umfangreichen Praxiserprobung unterzogen. Sie erstreckte sich entsprechend dem Einsatzgebiet von Wälzlager sowohl auf den Bereich der Landtechnik (Wälzlagerungen des Mähreschers E 512 und Elektromotoren) als auch auf den Bereich des allgemeinen Maschinenbaus (Wälzlagerungen von Bandanlagen und Werkzeugmaschinen). Die Erprobung zeigte, daß mit Hilfe einer Körperschall-Frequenzanalyse bei exakter Einhaltung der Prüfvoraussetzungen Laufflächenschäden in einem Wälzlager demontagelos nachgewiesen werden können. So wurden z. B. an Baugruppen des Mähreschers E 512 Rostmarken, Dellenbildung und Ermüdungsschäden an untersuchten Wälzlagerungen diagnostisch erfaßt.

#### 5. Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde ein Diagnosegerät zur demontagelosen Schadenserfassung in Wälzlager vorgestellt, dem ein einfaches Verfahren der Körperschall-Frequenzanalyse zugrunde liegt. Das Analysefrequenzband kann stufenlos aus dem Frequenzbereich von 1 bis 15 kHz ausgewählt werden. Die Diagnoseaussage ist weitgehend von der Realisierung der Verfahrensvoraussetzungen abhängig. Die Auslieferung der ersten Nullseriengeräte erfolgt in diesem Jahr.

#### Literatur

- [1] Wohlbe, H.: Aufgaben, Bedeutung und weitere Entwicklung der Technischen Diagnostik. agrartechnik 23 (1973) H. 9, S. 385—388.
- [2] Ullmann, R.: Verfahren zur demontagelosen Erfassung von Ermüdungserscheinungen in Wälzlager. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik. Dissertation 1974 (unveröffentlicht).
- [3] Erler, W.; Lenk, A. u. a.: Schwingungsmeßtechnik. VEB Metra Meß- und Frequenztechnik Radebeul.
- [4] Prospektmaterial Vibrationsmeßtechnik. VEB Metra Meß- und Frequenztechnik Radebeul 1975.
- [5] Bedienanleitung Schwingungsmeßgerät SM 231. VEB Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden.

A 1510