ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: GÓRNICTWO z. 180 Nr kol. 1043

INTERNATIONAL CONFERENCE: DYNAMICS OF MINING MACHINES
DYNAMACH '89

Horst CERV

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule - Aachen
Institut für Bergwerks- und Hüttenmaschinenkunde

COMPUTERUNTERSTÜTZTE LAGERZUSTANDSERMITTLUNG AN TRAGROLLEN DURCH KÖRPERSCHALLMESSUNG

Inaltsangabe. Die Verwendungsfähigkeit von Tragrollen ist in sehr hohem Maße von Lagerzustand abhängig. Auf den Schachtanlagen der Ruhrkohle AG verbleiben die Tragrollen ca. 2 Jahre im Einsatz, bevor sie übertage instand gesetzt werden. Dazu gehören zum einen die Überholung des Tragrollenmantels sowie der kostenintensive Austausch der Lager, obwohl diese das Ende ihrer Lebensdauer oft nicht erreicht haben.

Es wurde darum eine computergestützte Prüfmethode entwicklet, mit welcher der Lagerzustand eingeordnet werden kann. Diese Zustandsermittlung stützt sich dabei auf statistische Mittelwerte. Mit 2 unterschiedlichen Prüfmethoden werden bei den Tragrollen beide Lager gleichzeitig analysiert. Dabei muß bei einer relativ kurzen Prüfzeit bei Lagern von verschiedenen Herstellern eine weitere Gebrauchsdauer von 2 Jahren gewährleistet werden. Das sind Forderungen, die bei einer stationären, kontinuierlichen Lagerüberwachung nicht auftreten.

Auf den Schachtanlagen der Ruhrkohle-AG werden zur Zeit in Gurtförderern eingesetzte Tragrollen nach ca. 2 Jahren geraubt und übertage auf ihre Weiterverwendbarkeit überprüft. Nach optischer Vorsortierung hinsichtlich Oberflächenbeschaffenheit, Beuligkeit u.ä. wurden bislang alle weiterverwendbaren Tragrollen mit neuen Lagern versehen, obwohl in vielen Fällen weder die rechnerische noch die praktische Gebrauchsdauer der Lager erreicht war [1]. Etwa 30% der Tragrollenlager könnte ohne betrieblichen Nachteil weiterverwendet werden.

In Zusammenarbeit mit der Firma ERBÖ Sprockhövel, die sich mit der Herstellung und Instandhaltung von Förderband-Tragrollen befaßt, wurden am Institut für Bergwerks- und Hüttenmaschinenkunde Untersuchungen mit dem Ziel der Lagerzustandsermittlung durchgeführt. Diese sollen zur Kostendämpfung bei der Instandhaltung beitragen.

Bisher mußte man sich hierbei auf den Tast- oder Gehörsinn des Prüfers verlassen. Durch Umsetzen von mechanischen in elektrische Größen eröffnet sich demgegenüber ein großes Feld objektiver Beurteilungskriterien.

1. THEORIE DER LAGERSCHÄDEN

Typische Arten der Lagerschädigung lassen sich sehr genau beschreiben [2]. Doch die Beurteilung und Gewichtung dieser Schäden ist problematisch und vom Einsatz des Lagers abhängig. Es soll hier auch vorweggenommen werden, daß die Diagnostizierung eines typischen Lagerschadens aus den Meßergebnissen nicht eindeuting war, selbst wenn sich aus der Kinematik typische Frequenzen herleiten ließen [3, 4].

Nach einsetzender Schädigung ist der Schädigungsfortschritt nicht nur auf einen Bestandteil des Lagers beschränkt, sondern greift im Betrieb sehr rasch auf andere Lagerbereiche über. Ziel der Untersuchungen ist es, die Funktion der Lager über eine weitere Gebrauchsperiode unter Tage sicherzustellen.

Bei der Diagnose von Lagerschäden kann von einer mikroskopischen Unrundheit der sich berührenden Teile ausgegangen werden [5, 6, 7]. Es handelt sich hierbei entweder um Kleinste Vertiefungen (Bild 1a-1c) (z.B. bei Grübchenbildung) oder kleinste Erhöhungen (z.B. bei Aufrollung). Diese Unebenheiten erzeugen im Lager unruhigen Lauf mit hohen Amplitudenspitzenwerten der Schwingbeschleunigung im Zeitdiagramm.

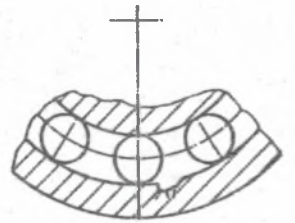


Bild 1a

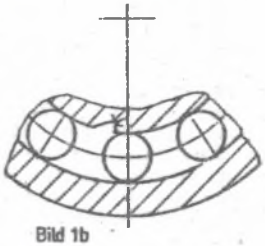


Bild 1b

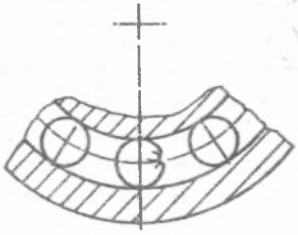


Bild 1c

1a : Schädigung am Außenring
1b : Schädigung am Innenring
1c : Schädigung an der Kugel

Bild 1a-1c. Typische Schädigungsmöglichkeiten eines Rillenkugellagers für Förderbandanlagen
1a) Schädigung am Außenring, 1b) Schädigung am Innenring, 1c) Schädigung an der Kugel

Vereinfacht läßt sich annehmen, daß eine steigende Zahl und die Größe von Unrundheiten als Maß für Schädigungen gelten kann. Hiermit verschlechtert sich die Laufruhe [8]. Die Beurtleilung dieser inneren Stöße, bzw. ihr Bezug zu einem zeitlichen Mittelwert werden schon in einigen Verfahren

zur Zustandsermittlung der Lager verwendet [6, 9, 10, 11]. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Anregungsimpulse zu starken Schwingungen der Lagerkomponenten in ihren Eigenfrequenzen führen [3, 7]. Für die Tragrolle kann das Lager allerdings nicht als isoliertes Maschinenelement betrachtet werden. Die Lager sind mit einem leichten Preßsitz in de Tragrollenmantel und auf die Welle gebracht, was die Ausbildung von lagertypischen Frequenzen sehr stark beeinflußt.

2. MECHANISCHER AUFBAU DER PRÜFVORRICHTUNG

Bei bisherigen Untersuchungen an Tragrollen wurden diese mit ihren Wellenenden in ein Traggestell eingelegt, über ein Reibrad in Drehung versetzt und gleichzeitig radial belastet [12, 13]. Bei der Lagerzustandsbestimmung mittels Schallanalyse entstehen in dieser Prüfanordnung folgende Schwierigkeiten:

- Die Aufbringung eines Signalaufnehmers auf die Wellenenden ist durch den kleinen Radius der Wellen ungünstig.
- Durch Abrollen des Treibrades auf dem Mantel der gebrauchten Tragrollen entsteht eine zusätzliche, wie nachgewiesen wurde [14], nicht zu vernachlässigende Dynamik.

Es bietet sich daher der umgekehrte Weg an, den Tragrollenmantel schwingungsisoliert festzusetzen und ebenso schwingungsisoliert die Drehbewegung auf die Welle zu übertragen. Diese Variante birgt einige Vorteile in sich:

- weitgehende Verminderung von äußeren Störeinflüssen,
- direkte Anbringung des Signalaufnehmers über den Lagern,
- weitgehende Vorteile bei der Automatisierbarkiet des Prüfvorganges.

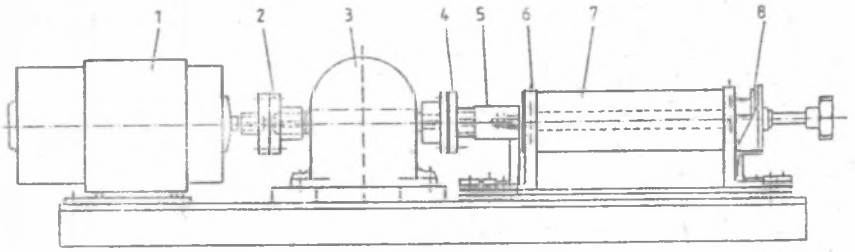


Bild 2. Aufbau eines Prüfstandes zur Lagerzustandsuntersuchung

1 - Drehzehlgeregelte Gleichstrommaschine, 2 - Starre Kupplung, 3 - Getriebe, 4 - Schwingungsisolierende Kupplung, 5 - Kupplung für die Tragrollenwelle, 6 - Schwingungsisolierte Auflage, 7 - Tragrolle, 8 - Verspannungseinrichtung für Axialkräfte

Aus diesen Überlegungen entstand der im Bild 2 schematisch dargestellte Aufbau des Prüfstandes.

3. SIGNALERFASSUNG

Schädigungen des Lagers lassen keine reine Abrollbewegung der belasteten Kugeln mehr zu. Es liegt also nahe, die aus den Stößen resultierenden Beschleunigungen der Lagerumgebung zu messen und zur Beurteilung zu verwenden. Mit einem piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmer können die Beschleunigungen in eine elektrische Größe gewandelt werden. Beschleunigungsaufnehmer haben den Vorteil, daß sie sehr leicht handhabbar sind und bei höheren Frequenzen über ein relativ breites Spektrum zuverlässig arbeiten. Bild 3 gibt den Aufbau der elektrischen Meßkette wieder.

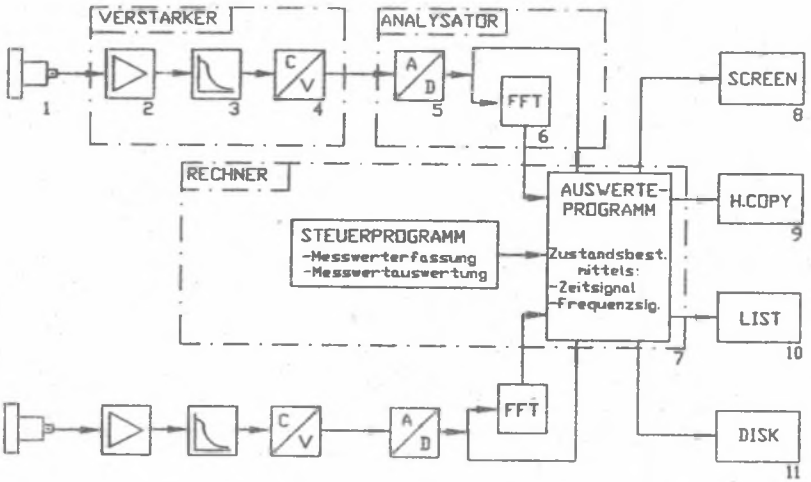


Bild 3. Meßkette und nachgeschaltete Auswertetechnik

Im Aufnehmer (1) werden durch die Beschleunigungen Ladungsänderungen erzeugt, die im nachgeschalteten Gerät (2) verstärkt und in Spannungsänderungen (3) gewandelt werden. In diesem Gerät befindet sich ebenfalls noch ein Tiefpaß (4), der das Signal von Störanteilen befreien kann. Von hier gelangt das Signal in den Analysator. Hier wird es zunächst A/D (5) gewandelt und steht somit als digitalisiertes Zeitsignal zur Verfügung. Der Analysator kann dieses Signal fourier-transformieren (6). Damit stehen zur Auswertung mittels Computer (7) das Zeit- und das fourier-transformierte Signal zur Verfügung. Der Computer verarbeitet diese Signale mittels Programm und gibt seine Ergebnisse auf diverse Ausgabegeräte (8, 9, 10, 11).

Es kann so der zeitliche Verlauf der Beschleunigungswerte der Lagerumgebung dargestellt werden. Störungen des Abrollens der Kugeln auf den

Laufflächen machen sich als große nadelförmige Impulse im Zeitsignal bemerkbar. Kleinere unbedeutende Impulse geben Fertigungsungenauigkeiten durch Oberflächenrauheiten oder Unrundheiten wieder [7, 15].

4. SIGNALVERARBEITUNG UND AUSWERTUNG

Zur Lagerzustandsbestimmung steht nun ein von äußeren Störeinflüssen weitgehend bereinigtes, sich durch Abrollstörungen änderndes Spannungssignal zur Verfügung. Zur Auswertung dieses Signals kommen zwei Verfahren zur Anwendung:

- Bewertung des Zeitsignals über mehrere Umdrehungen des Lagers,
- Bewertung des fourier-transformierten Signals.

Für beide Verfahren werden die Signale in einem FFT-Analysator digital zwischengespeichert und über eine IEEE 488-Schnittstelle in einen Rechner überspielt. Diese scheinbar umständliche und zeitraubende Methode hat den wichtigen Vorteil, daß eine beliebige Anzahl von Messungen abgespeichert werden kann und damit für vergleichende Analysen zur Verfügung steht.

Es wurde zunächst eine Reihe von Voruntersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen und den größtmöglichen Unterschied der Signale für geschädigte und ungeschädigte Lager herauszufinden.

Bei diesen Untersuchungen konnte festgestellt werden, daß über einen weiten Drehzahlbereich der Signalunterschied im Zeit- und Frequenzbereich zur Lagerzustandsbestimmung in "gut" und "schlecht" ausreichend groß ist und zu reproduzierbaren Ergebnissen führt (Bild 4). Es wurden so Einzel-

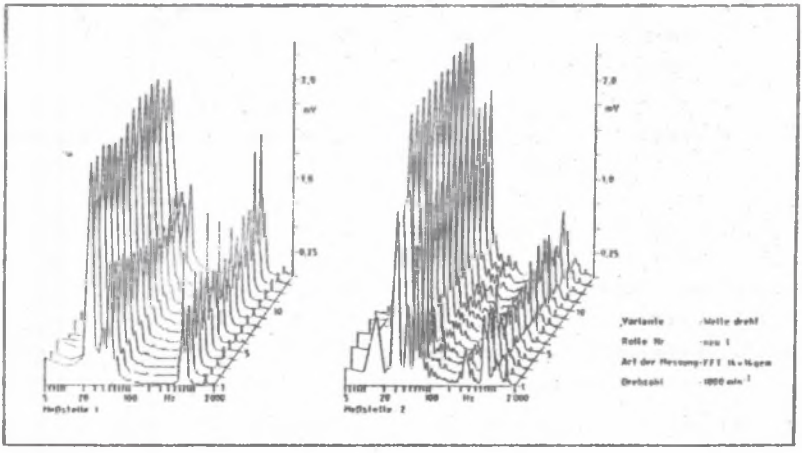


Bild 4. Übersicht über die Meßergebnisse des Frequenzsignals aus 14 gemittelten Meßreihen

lungen für die Geräte festgelegt. Die Drehzahl wurde so gewählt, daß mit dem Zeitsignal genau 4 Umdrehungen aufgenommen wurden. So wurde eine Reihe von Tragrollen durchgemessen. Zur Beurteilung des Lagerzustandes wurden diese dann demontiert und begutachtet. Diese Analyse diente dazu, die Meßergebnisse in Vergleich zu setzen und daraus einen Parameter für den Lagerzustand abzuleiten.

4.1. Auswertung des Zeitsignals

Die Digitalwerte der Amplituden können in einem Amplitudenspektrum dargestellt werden. Dieses Spektrum (Bild 5) gibt die Häufigkeit der vorkommenden Amplituden [%] über der Größe der Amplitude [V] an. Signifikante Werte dieses Spektrums sind:

- der positive und negative Scheitelwert der Amplituden $\pm \hat{X}$,
- der positive und negative Mittelwert der Amplituden $\pm \bar{X}$ dieser errechnet sich aus:

$$\pm \bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \pm X_i$$

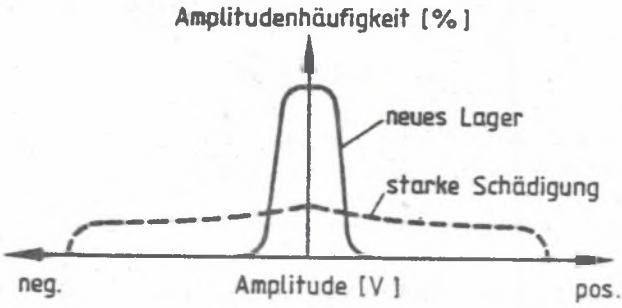


Bild 5. Entwicklung der Amplitudenhäufigkeitsverteilung bie zunehmender Schädigung

Aus diesen Werten werden Mittelwerte jeweils für $+\bar{X}$ und $-\bar{X}$ bestimmt. Analog zu den Überlegungen zur Definition der Lagerschäden kennzeichnet der Scheitelwert der Amplitude $\hat{X}$ nun den größten Schaden im Lager, während der Mittelwert der Amplitude $\bar{X}$ eher einen allgemeinen Zustand beschreibt. Prinzipiell lassen sich während der Gebrauchsdauer eines Lagers für diese beiden Werte folgende Verläufe aufzeigen [16] Bild 6.

- Im Neuzustand (1) liegen Mittelwert und Scheitelwert relativ dicht beieinander.
- Mit einsetzender Schädigung (2) bilden sich einige hohe Scheitelwerte, die den Mittelwert geringfügig beeinflussen.

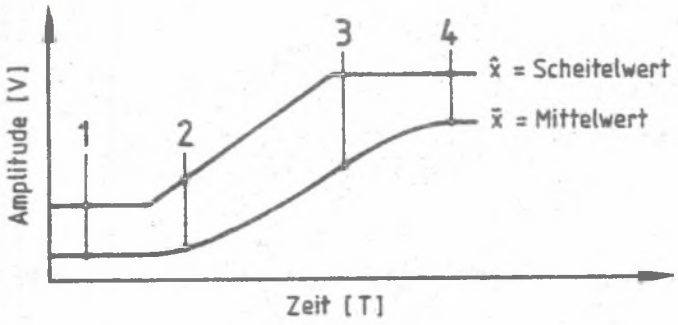


Bild 6. Entwicklung von Scheitelwert und Mittelwert der Amplituden bei zunehmender Schädigung

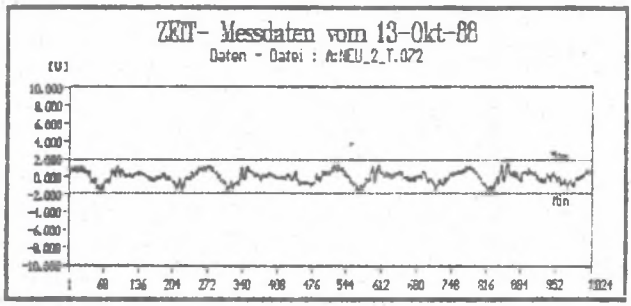
- Bei fortschreitender Schädigung wird der Scheitelwert der maximalen Amplituden nicht größer (3), aber seine Häufigkeit nimmt zu. Damit wird auch der Mittelwert in immer größerem Maße beeinflußt.
- Mit dem Ausfall des Lagers hat sich der Mittelwert (4) wieder stark dem Scheitelwert angenähert, allerdings auf einem unzulässigen Schallpegel.

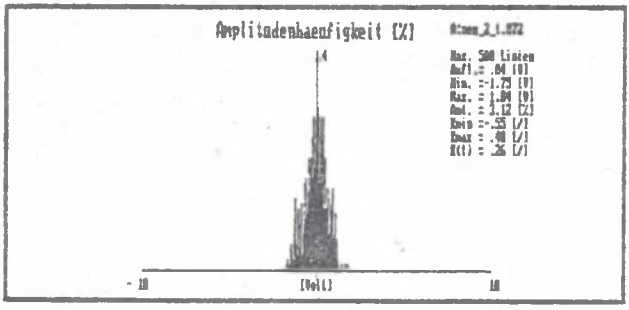
Durch die Voruntersuchungen wurden so Mittelwerte für ungeschädigte und weiterverwendbare Lager ermittelt. Durch Quotientenbildung [2] dieser Mittelwerte und Ergebnisse aus aktuellen Messungen gebrauchter und ungebrauchter Lager kann ihr Zustand bestimmt werden. Werte ≤ 1 sollen hierbei Lagern zugeordnet sein, die weiterverwendbar sind, Warte >1 beschreiben einen Lagerzustand, der ein Bauteilversagen während der nachsten Einsatzperiode erwarten läßt.

4.2. Auswertung des Frequenzsignals

Mittels FFT - Analyse kann das Zeitsignal in ein Frequenzspektrum überführt werden. Durch Untersuchungen läßt sich nachweisen, daß mit zunehmender Schädigung in einigen Bereichen des Frequenzspektrums steigende Anmplituden auftreten. Da auch für das Frequenzsignal Digitalwerte zur Verfügung stehen, können die Amplituden dieser Bereiche aufsummiert werden. Das entspricht in etwa der Fläche dieser Teile des als Kurve dargestellten Frequenzspektrums.

Wie bei der Beurteilung des Zeitsignals auch, können wieder Durchschnittswerte für funktionstüchtige Lager ermittelt werden. Durch Quotientenbildung von aktuellen Messungen und diesen Durchschnittswerten zeigen auch hier Werte ≤ 1 funktionstüchtige Lager an.





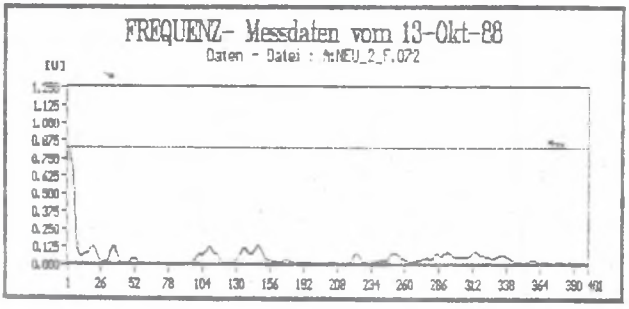
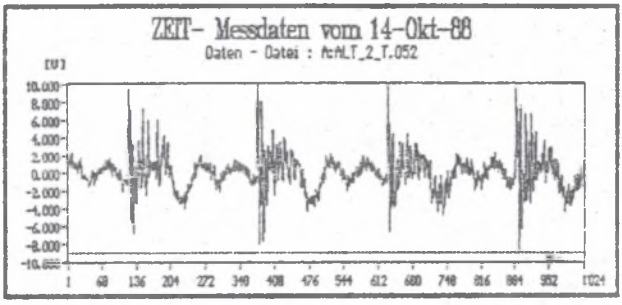
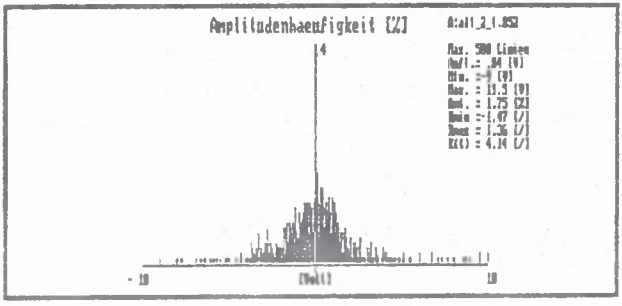


Bild 7a,b,c. Meß- und Auswerteergebnisse einer Tragrolle mit unbeschädigen Lagern





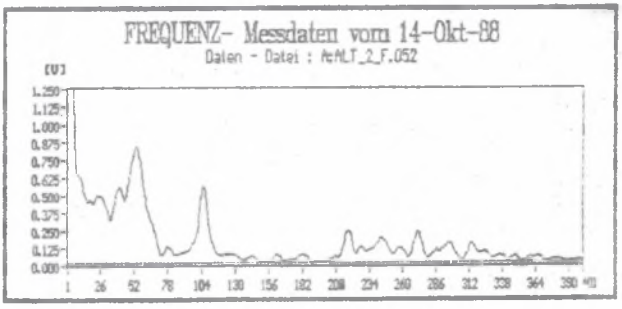
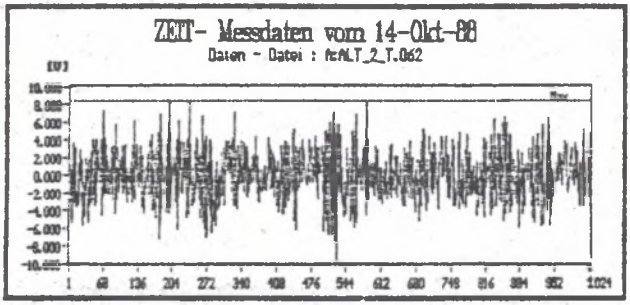
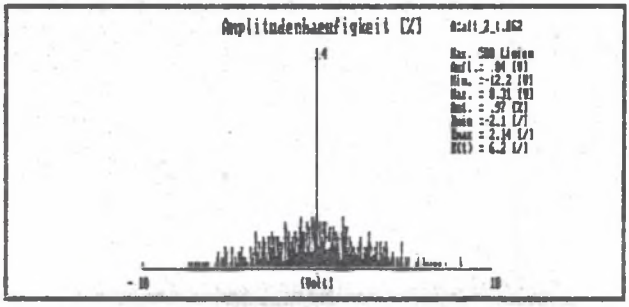


Bild 8a,b,c, Meß- und Auswerteergebnisse eines Lagers mit einer eindeutigen starken Schädigung





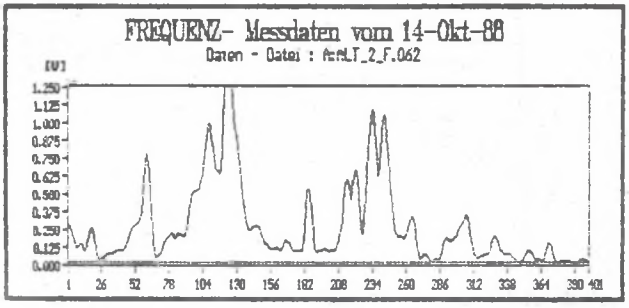


Bild 9a,b,c. Meß- und Auswerteergebnisse eines Lagers mit starken Schädigungen

5. TYPISCHE UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Die Untersuchungen eines ungeschädigten Lagers in einer Tragrolle ergaben die in Bild 7a-c aufgezeichneten Ergebnisse. Deutlich zu erkennen ist ein von leichten Störungen verzerrter, fast sinusförmiger Verlauf des Zeitsignals (Bild 7a). Das Amplituden-Häufigkeitsdiagram (Bild 7b) dieses Zeitsignals ergab für den Scheitelwert und den Mittelwert relativ kleine Zahlen. Mit diesen Zahlen wurde ein Schadenswert von 0,26 ermittelt. Auch die Frequenzanalyse des Signals ergab einen Wert von 0,33, also beide Werte sind kleiner 1. Damit ist dieses Lager funktionstüchtig.

Die Ergebnisse in Bild 8a-c charakterisieren ein Lager mit mindestens einer eindeutigen Schädigung. Es ist zu erkennen, daß das Zeitsignal über 4 Umdrehungen des Lagers aufgezeichnet wurde (Bild 8a). Auch im Frequenzspektrum zeichnen sich erwartungsgemäß in einigen Frequenzbereichen erhöhte Amplitudenwerte ab. Die ermittelten Schadenswerte liegen für die Amplitudenhäufigkeit bei 4,14 und für das Frequenzspektrum bei 1,87.

Abschließend noch die Diagramme eines völlig defekten Lagers (Bild 9a-c). Die analysierten Schadenswerte sind:

Zeitsignal 6,20
Frequenzsignal 3,89

6. ZUSAMMENFASSUNG

Durch Untersuchungen an Tragrollen von Gurtbandförderern des untertägigen Steinkohlenbergbaus konnte exemplarisch gezeigt werden, daß es mit den heutigen technische Mitteln möglich ist, global den Zustand der beiden Wälzlager zu bestimmen. Bei der Beurteilung des Zustandes von Lagern in Tragrollen kann nicht vom Referenzspektrum des Lagers im Neuzustand ausgegangen werden. Darum stützt sich die Zustandsermittlung hier auf Mittelwerte, die in einer Vielzahl von Voruntersuchungen bestimmt wurden. Mti dieser statistischen Auswertemethode wurden gute Ergebnisse erzielt. Eine Streuung der Ergebnisse konnte durch Verwendung von Lagern gleicher Baureihe aber verschiedener Hersteller festgestellt werden.

Durch Ausführung des FFT-Analysators als Erweiterungskarte und Integration in einen PC lassen sich sowohl die Meßzeit als auch der finanzielle Aufwand wesentlich verringern.

Es sei abschließend noch erwähnt, daß die Meßkette für die Überwachung betrieblich eingesetzter Maschinen (Machine Monitoring) stationär verwendet werden kann. Durch den Vergleich des zeitlichen Lagerzustandes mit seinem Neuzustand sind einsetzende Schädigungen noch genauer und frühzeitiger zu erkennen.

LITERATUR

[1] VDI-Richtlinien 2341, Tragrollen.

[2] Allianz Versicherungs-AG, Der Maschinenschaden 40 (1967) Heft 4, Seite 113 ff.

[3] A. Sturm etal, Wälzlagerdiagnosen an Maschinen und Anlagen, Verlag TUV-Rheinland.

[4] Ziegler K.: Brown Bovier & Cie. AG Mannheim, Schmiertechnik und Tribologie 24. Jahrg. Nr 1, 1977.

[5] Batö P.A.: SKF Göteburg, Feststellen von Lagerschäden durch Stoßimpuls-Messungen, Kugellager-Zeitschrift 167 Seite 1 ff.

[6] Kinsky D.: Kinematik der Wälzlager, Manuskript der Ingenieurhochschule Zittau.

[7] Steger A.: Theoretische Überlegungen zur Entstehung des Laufgeräusches von Wälzlagern, Die Technik 13. Jahrg. Heft 5 (1958), Seite 349 ff.

[8] Halm G.: Das Laufgeräusch von Wälzlagern als Güteparameter, Maschinenbautechnik 16 (1967) H. 4.

[9] N.N. Neues Stoßimpulsmeßgerat, Kugellagerzeitschrift 31.

[10] Anderson A.: Praktische Erfahrungen mit dem MEPA 10 A, Kugellagerzeitschrift 17.

[11] Nojak K.: Lagerschadenfrüherkennungsmethode mit der Kurtosis-Methode, Elektronik 17/1981.

[12] Vierling A.: Der Laufwiderstand von Förderbandtragrollen für den Grubenbetrieb, Glückauf 1953, Seite 959 ff.

[13] DIN 22 113 Gurtbandförderer unter Tage-Tragrollen.

[14] Eich S.: Zerstörungsfreie Prüfung an einem Tragrollentyp zur Erkennung von Lagerschäden, Studienarbeit IBH, RWTH Aachen.

[15] Halm G.: Untersuchungen über das Schwingungsverhalten von Radial-Rillenkugellagern, Teil 1 und 2, Maschinenbautechnik 19 (1970), H. 10.

[16] N.N. Maschinenüberwachung, Brüel & Kjær, 1985.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Jerzy Antoniak

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE OKREŚLANIA STANU KRĄŻNIKÓW METODĄ ELASTOOPTYCZNĄ

S t r e s z c z e n i e

Poprzez badania krążników nośnych przenośników taśmowych podziemnego górnictwa węgla kamiennego można pokazać, jak możliwe jest za pomocą obecnych środków technicznych, określić ogólny stan obu łożysk tocznych. Przy ocenie stanu łożysk w krążnikach nośnych, nie można wychodzić ze spektrum odmienności łożysk nowych. Dlatego ustalenie stanu można oprzeć na warstwach średnich, które zostały określone w wyniku wielu badań wstępnych. Dzięki tej statystycznej metodzie, oceny osiągnięły dobre wyniki.

Pewien rozrzut wyników mógł zostać stwierdzony przez zastosowanie łożysk tego samego szeregu konstrukcyjnego, lecz różnych producentów.

Poprzez wykonanie analizatorem FFT, jako karty rozszerzania i intergracji w jednym PC, można w istotny sposób zmniejszyć zarówno czas pomiaru, jak i nakład finansowy.

Na koniec należy nadmienić, że układ pomiarowy do kontroli zastosowanych makromaszyn (Machine Monitoring) może być użyty stacjonarnie. Porównując stan łożyska w czasie z jego stanem nowym, można dokładniej i wcześniej rozeznać następne uszkodzenia.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ РОЛИКОВ МЕТОДОМ ФОТОУПРУГОСТИ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛНОЙ МАШИНЫ

Р е з ю м е

Через испытания роликовых ленточных транспортеров одземного горного дела каменного угля можно было показать, что при помощи существующих в настоящее время технических средств можно определить общее состояние подшипников качения. При оценке состояния подшипников в роликах нельзя принимать за относительный пункт спектр новых подшипников. И поэтому определение состояния базируется на средних слоях, которые были определены в результате многих предварительных исследований. Благодаря этому статистическому методу оценки были достигнуты положительные результаты. Определенный разброс результатов можно определить путем применения подшипников того же самого конструкционного типа, но от разных производителей. Путем результатов полученных от анализатора FFT как карты расширения и интеграции в одном PC, что дает возможность существанного уменьшения как времени измерения, так и стоимости.

На конец надо упомянуть, что измерительная система применанная для контроля примененных машин (Machine Monitoring) может также применяться стационарно. Путем сравнения состояния подшипника во времени с его новым состаянием дает возможность более раннего и точного определения грядущих повреждений.