

Wie jedes Maschinenelement unterliegt auch das Wälzlager gewissen Schädigungsprozessen. Grob lassen sich die in der Praxis auftretenden Wälzlagerschäden in zwei Komplexe einordnen,

- in Schäden, die außerhalb des eigentlichen Lagerbetriebs entstehen und
 - in Schäden, die während des Lagerbetriebs entstehen,
- zu insgesamt acht Schadensgruppen. Tafel 1 gibt eine Zusammenstellung wieder. Jedoch treten häufig die Schadensarten nicht einzeln auf, sondern in kombinierter Form /1/ /2/.

Die zu den Gruppen aufgeführten Beispiele erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

1. Schäden außerhalb des Betriebs (Tafel 1)

1.1. Beschädigung vor dem Einbau

- Korrosion der Lauf- und Sitzflächen, die durch eine Verletzung der Verpackung oder trotz sorgfältiger Verpackung bei längerer Aufbewahrungszeit des Lagers in Räumen mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit (> 60 Prozent) oder bei zu starken Temperaturschwankungen auftritt
- Beschädigungen der Laufbahnen, zu denen z. B. Dellen zählen, die durch unsachgemäßes Zusammensetzen von zerlegbaren Wälzlagern entstehen können.

1.2. Einbaufehler

- Montage mit gehärteten Werkzeugen oder ein Abrutschen derselben hat Ausbrüche von Bordteilen zur Folge.
- Verspannung von Lagern führt zum Ablafen der Wälzlager unter Zwang. Dies bewirkt ein starkes Laufgeräusch, vorzeitige Materialermüdung der Lagerelemente sowie ein Heißlaufen des gesamten Wälzlagers.
- Anstreifen der Laufingseitenflächen des Lagers an benachbarte Bauteile u. a.

1.3. Vibrationserscheinungen

Diese treten bei hochbelasteten, im Stillstand befindlichen Wälzlagern auf. Durch längeren Transport der Maschine schlagen sich die Wälzkörper im Bereich der belasteten Zone aufgrund von Dreh-schwingungserscheinungen der Welle in die Oberfläche der Laufbahnen ein. Es bilden sich so Dellen, die ein starkes Laufgeräusch und eine vorzeitige Materialermüdung verursachen.

* TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik
(Direktor: Prof. Dr. agr. habil. Thurm)

2. Schäden während des Betriebs

2.1. Heißlauf

Heißlauf eines Wälzlagers kann vielerlei Ursachen haben. So jede Art der Verspannung, Mangel an Schmiermittel oder auch zu übermäßige Schmiermittelmenge, sehr starke Verschmutzung der Lagerelemente oder auch durch äußere Einwirkungen. Heißlauf führt zum baldigen Ausfall des Wälzlagers.

2.2. Korrosion

Korrosionserscheinungen, die während des eigentlichen Lagerbetriebs entstehen, haben ihre Ursache in einer mangelhaften Abdichtung gegenüber von außen eindringender Feuchtigkeit, oder gegenüber einer Kondenswasserbildung, die eine Passungsrostbildung und eine Kontaktkorrosion auslöst. Außerdem kann Korrosion durch ein ungeeignetes Schmiermittel (z. B. —k3) oder durch Schmierstoffmangel auftreten.

2.3. Riffelbildung

Diese Schadensform tritt, verursacht durch Stromdurchgang, an elektrischen Maschinen auf, und hat daher für die Landtechnik keine Bedeutung.

Die in der Landtechnik überwiegend auftretenden Wälzlagerschäden sind die Verschleiß- und Ermüdungsschäden.

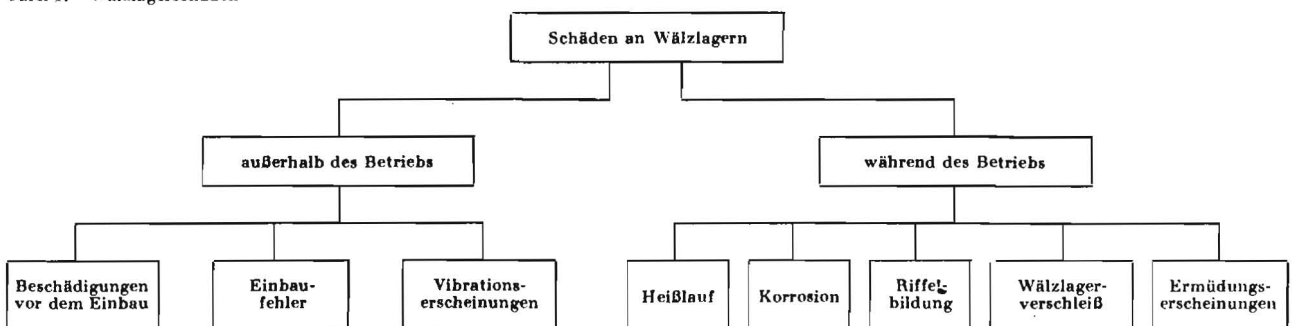
2.4. Wälzlagerverschleiß

Verschleißerscheinungen treten in Wälzlagern zwischen den Wälzkörpern und den Laufbahnen des Innen- und Außenrings sowie zwischen den Wälzkörpern und dem Käfig auf. Der hervorgerufene Verschleiß ist dadurch bedingt, daß kein reiner Rollvorgang zwischen den sich berührenden Lagerelementen erfolgt /3/. Es bilden sich Gleitflächen aus, in denen Misch- oder Festkörperreibung auftritt, und damit Verschleiß.

Untersuchungen von Eschmann /4/ /5/ über das Verschleißverhalten der Laufringe ergaben ein Verhältnis von Innen- zu Außenring bis zu 2 : 1. Geringer Verschleiß tritt auch an den Sitzflächen der Laufringe auf /6/. Aufgrund der Drehbewegung der Wälzlager in den Laufringen während des Abrollvorgangs ergibt sich ebenso ein gewisser Verschleiß /7/.

Das Lagerspiel, d. h. das Radialspiel und das Axialspiel, ist Maßstab für den Verschleiß. Allgemein versteht man unter dem Radialspiel eines Wälzlagers den möglichen radialen Verschiebeweg des Innenrings gegenüber dem Außenring bei einer bestimmten Verschiebelastung (entsprechend Axialspiel). Dabei ist jedoch noch zu unterscheiden zwi-

Tafel 1. Wälzlagerschäden



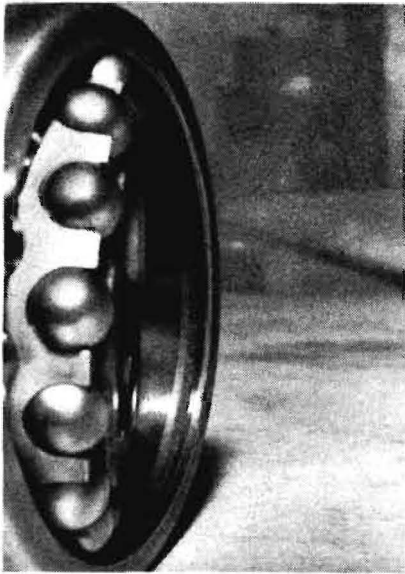


Bild 1. Pendelkugellager mit Pittingbildung

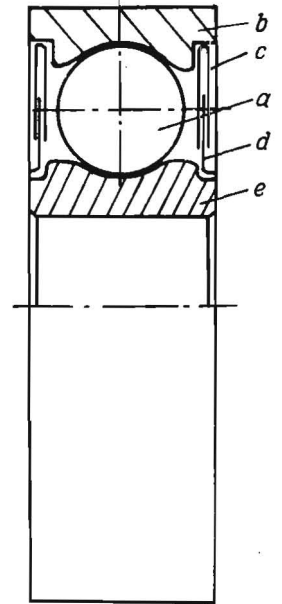


Bild 2. Dichtscheibenlager;
a Wälzkörper, b Außenring, c Blechscheibe, d Dicht-
membrane, e Innenring

schon dem Spiel im ausgebauten Zustand, im eingebauten Zustand sowie dem Betriebsspiel des Lagers.

Der Verschleiß selbst ist in einem Wälzlager durch folgende Faktoren beeinflussbar

- konstruktiv (Material, Oberflächengüte)
- fertigungsabhängig (Oberflächenhärte, Lagerluft)
- betriebsbedingt (Belastung, Drehzahl, Schmiermittel, Verunreinigungen des Schmiermittels, auf die Laufbahnen gelangende Fremdkörper, von Betriebsstillständen her-rührende Rostteilchen)

2.5. Ermüdungserscheinungen

Als Hauptursache der Werkstoffermüdung in einem Wälzlager ist die dynamische Belastung der Lagerelemente anzusehen. Die Oberflächen werden entsprechend dem Wälzkörperdurchgang periodisch deformiert; es handelt sich dabei um eine Wechselbeanspruchung von Zug und Druck. Im Ergebnis dieser dynamischen Beanspruchung des Materials bilden sich unter der Oberfläche feine Mikrorisse. Sobald ein erster oberflächlicher Anriß auftritt, erfolgt bei weiterem Betrieb des Lagers eine schnelle Rißvermehrung. Dies führt schließlich zu Ausblätterungen der Oberflächen, den sogenannten Schälungen oder Pittings /1/.

Bild 1 veranschaulicht solche oberflächlichen Ermüdungserscheinungen an einem zweireihigen Pendelkugellager. Durch stetes Loslösen neuer Teilchen erfolgt eine rasche Ausbreitung der Schälungen über die gesamte belastete Zone. Im Endergebnis führt dies zur Festigkeitsverminderung der Lagerelemente und zum Ansteigen der dynamischen Kräfte; damit besteht Bruchgefahr des Wälzlagers.

Vermeiden läßt sich der Ermüdungsvorgang nicht, da dieser konstruktiv bedingt ist. Es gibt jedoch Einflüsse, die ihn fördern oder hemmen. Die wichtigsten Einflußfaktoren für den Beginn der Pittingbildung der Lagerelemente sind

- Auswahl der Lagergröße und der Lagerart
- Belastungsart und Belastungshöhe
- Betriebsbedingungen (Betriebstemperatur, Schmiermittelviskosität, Drehzahl)
- Herstellungsqualität des produzierten Wälzlagers (mechanische und physikalische Werkstoffeigenschaften, Materialbeschaffenheit der Oberflächenschicht, Formfehler der Wälzkörper und Laufbahnen, Montagequalität /8/.

Den Pittings ähnlich aussehende Abblätterungen der Oberflächen sind Freßerscheinungen. Diese treten bei ungenügenden Schmiermittelschichten auf.

In Getrieben sind häufig in den Wälzlageren sogenannte Aufwalmungen von Abrieb festzustellen, deren Aussehen denen der Ermüdungserscheinungen entspricht.

3. Auswirkungen der Verschleiß- und Ermüdungserscheinungen

Der Verschleiß, der sich in einer Vergrößerung des Radialspiels äußert, besitzt folgende Auswirkungen auf die Laufgüte des Wälzlagers

- geringere Führungsgenauigkeit der Welle sowie eine abnehmende Steifigkeit der Lagerelemente
- Absinken der Lagerfestigkeit
- durch Ansteigen des Laufgeräusches auftretende Kippbewegungen der Welle /9/ sowie Käfiggeräusche, die das Schwingungsspektrum des Wälzlagers verstärken
- Begünstigung des Ermüdungsvorgangs durch zunehmende dynamische Beanspruchungen.

Die Auswirkungen der Oberflächen-Ermüdungserscheinungen lassen sich in fünf Punkten zusammenfassen

- Schälungen auf den Lagerelementen verhindern den kompletten Abrollvorgang im Bereich der belasteten Zone. Teilweise gleiten die Wälzkörper auf den Grübchen, schlagen auf diese auf, prallen ab usw. Im Endeffekt entstehen so Stoßerscheinungen.
- Das Auftreten von Stößen führt zu einer Erhöhung des Schwingungsspektrums, insbesondere der hochfrequente Anteil über 1 kHz steigt an.
- Neben der Erhöhung des Körperschalls tritt eine enorme Erhöhung des Laufgeräusches (Luftschall) auf.
- Ein Rundlauf des Wellenmittelpunktes wird nicht mehr gewährleistet. Der Pendel- bzw. Kreisbewegung überlagern sich unzählige Bewegungsformen.
- Ein Materialausbruch hat eine Festigkeitsverminderung zur Folge. Es kann ein Bruch der Laufringe eintreten.

Tafel 2. Aussonderungskriterien von Wälzlageren des E 175 /9/ in Prozent

Typ	Radialspiel	Ermüdung	Sonstiges
1310 K	54	46	—
1309 K	80	21	—
1307 K	73	24	3
1306 K	94	6	—
2207 K	56	34	10

4. Aussonderung von Wälzlagern

Die Aussonderung von Wälzlagern in der Landtechnik erfolgt vorwiegend aufgrund des Verschleißes und der Ermüdung. So zeigten Untersuchungen hinsichtlich der Aussonderungskriterien von Wälzlagern des Mähreschers E 175 die in Tafel 2 dargestellten Ergebnisse. Halliger /10/ gibt an, daß über 90 Prozent der Landmaschinenlager durch Verschleiß, d. h. durch Verschmutzung, ausfallen. Untersuchungen von Ihle /9/ bestätigten den hohen Verschleißanteil. Die Ursache des hohen Verschleißanteils ist in der unzureichenden Abdichtung des Lagers gegenüber äußeren Einflüssen zu suchen. In vielen Fällen werden in Landmaschinen Dichtscheibenlager eingesetzt. Bild 2 zeigt einen Querschnitt durch ein solches Lager. Jedoch ist diese Dichteinrichtung noch als unzureichend zu bezeichnen. Folgen sind beispielsweise die Zerstörung der Gummiembrane, das Eindringen von Staub, Wasser und Strohteilchen, und beim Lagerstillstand auftretende Korrosionserscheinungen. Im Endergebnis erfolgt ein enormer Verschleißzuwachs. Ergebnisse hinsichtlich des Einsatzes von Kautschit-Dichtringlagern liegen noch nicht vor.

Verschlossene Wälzlager äußern sich in Landmaschinen durch starke Laufgeräusche, in Getrieben durch eine Verschlechterung der Zahneingriffsverhältnisse sowie durch die Gefahr der Zerstörung von vorhandenen Dichteinrichtungen.

Mit Recht wird von den Praktikern die Forderung erhoben, ein Schadensausmaß zu präzisieren, das die Aussonderung eines bestimmten Wälzlagers erforderlich macht. Allgemein wird eine Aussonderungsgrenze aufgrund von Aussonderungskriterien festgelegt:

Diese sind

- funktionelle Güteermale (technisches Kriterium)
- Betriebssicherheit
- Wirtschaftlichkeit (ökonomisches Kriterium).

Grundsätzlich sind solche Wälzlager auszusondern, die ein oder mehrere Aussonderungskriterien erfüllen. Aufgrund der Betriebssicherheit und der Funktion sind Lager sofort gegen neue zu ersetzen, wenn es sich um

- Wälzlager mit Schäden an den Laufringen (Bruch, Anlauffarben)
- Wälzkörperbeschädigungen (Eindruckstellen, Rost, Freßstellen)
- Schädigungen des Käfigs (Ausbrüche, Nietfehler)
- Wälzlager mit Laufbahnschädigungen (Freßstellen, Eindruckstellen, Anlauffarben, Rost) /11/
- Wälzlager mit Ermüdungserscheinungen des Materials der Lagerelemente

handelt.

Wälzlager mit Schädigungen der Lagerelemente sind grundsätzlich auszusondern. Des weiteren sind Wälzlager auszusondern, die oberflächliche Ermüdungserscheinungen aufweisen. Dabei darf keine quantitative Trennung der Grübchenausbreitung vorgenommen werden; Lager mit kleinsten erkennbaren Grübchen sind sofort auszusondern.

Andere Verhältnisse liegen beim Verschleiß als Schadensform vor. Verschleiß tritt während des Lagerbetriebs immer auf, so daß sich das Radialspiel laufend vergrößert. Festzulegen ist das Aussonderungsspiel. Dieses ist von vielen Faktoren abhängig, wie z. B. der Lagergröße und dem Lagertyp, den Einsatzbedingungen, den Anforderungen an die Laufgenauigkeit und den Geräuschpegel.

Für die Festlegung der Aussonderungsgrenzen für Wälzlager in den Landmaschinen gilt besonders das Parameter Betriebszuverlässigkeit, während beispielsweise bei Werkzeugmaschinen die Laufgenauigkeit der Welle die Grundlage bildet.

Letztlich ist der Hersteller der betreffenden Landmaschine verantwortlich für die Erarbeitung der Aussonderungsgrenzen.

5. Überblick über bisherige Diagnoseverfahren an Wälzlagern

Verfahren zur Beurteilung des Schädigungszustands von Wälzlagern lassen sich in zwei Gruppen zusammenfassen

- Verfahren zur Lagerbeurteilung im eingebauten Zustand des Lagers aus der Maschine
- Verfahren zur Lagerbeurteilung im eingebauten Zustand (Verfahren der Technischen Diagnostik).

Erste Gruppe (Lager ausgebaut)

In dieser Gruppe sind die Verfahren der Spielmessung und der subjektiven Beurteilung zu nennen. Für die Messung des Lagerspiels existieren in der Praxis spezielle Meßeinrichtungen. Ihre Wirkungsweise beruht auf zwei Verfahren

- Messung des Verschiebewegs des Außenrings mit einer definierten Belastung gegenüber dem feststehenden Innenring in axialer und radialer Richtung
- elastische Verformung des Außenrings und anschließende Messung des Rückfederungswegs in radialer Richtung bei rotierendem Innenring.

Wie die Praxis zeigt, erfolgt die Radialspielmessung in den landtechnischen Instandsetzungsbetrieben subjektiv, d. h., es erfolgt eine gefühlsmäßige Spielbeurteilung. Beide Laufringe werden von Hand gegeneinander verkantet und aus der Größe des Neigungswinkels der Mantelflächen Rückschlüsse auf das Spiel gezogen.

Eine rein äußerliche Betrachtung des ausgebauten Wälzlagers gibt Aufschlüsse über den Lagerzustand. Dies betrifft die Lagerelemente, wie z. B. abgebrochene Falze oder lose Niete des Käfigs, gebrochene Laufringe, Korrosionserscheinungen und Grübchenbildungen der Oberflächen.

Auch sind aus der Betrachtung der Schmiermittelfarbe gewisse Rückschlüsse zu ziehen. Normales frisches Schmiermittel ist hell und durchsichtig, dagegen zeigt ein mit Stahlverschleißteilchen durchsetztes Schmiermittel eine Grau- bis Schwarzfärbung.

Die Lageruntersuchung erfolgt hier rein subjektiv, d. h., die Beurteilung des Lagerzustands ist im starken Maß von der Erfahrung und der Geschicklichkeit abhängig. In der Praxis hat sich diese Form bewährt.

Wie Untersuchungen von Oels /6/ zeigen, ist es erforderlich, die aus der Maschine demontierten Lager vor dem Wiedereinbau nicht nur auf Verschleiß-, Korrosions-, Ermüdungserscheinungen u. a. der Lagerelemente zu beurteilen, sondern diese auch auf die Maß- und Laufgenauigkeit hin zu überprüfen.

Nach /12/ /13/ /14/ /15/ sind dazu folgende Größen zu erfassen

- Hauptabmessungen (Bohrungsdurchmesser Innenring, Manteldurchmesser Außenring, Kegeligkeit, Unrundheit, Breite, Breitenschwankung)
- Laufgenauigkeit (Radialschlag der Laufringe, Seitenschlag Innenring, Axialschlag der Rollbahnen).

Je nach dem Einsatz der Wälzlager sind nur die unbedingt erforderlichen Werte zu überprüfen.

Zweite Gruppe (Lager in der Maschine)

Diese Verfahren erfassen die Betriebsparameter der Wälzlager, wie

- Erwärmen der Lagerung
- Schmierstoffverlust
(Beide Parameter werden subjektiv erfaßt und sind ein Anzeichen für den in Kürze auftretenden Wälzlagerausfall)
- Laufgeräusch

Diese Geräuschbeurteilung erfolgt häufig durch Abhören der Lagerung mit einem Stethoskop. Im Normalfall zeigt ein Wälzlager einen gleichmäßigen Ton. Periodisch schwellende Tonanstiege, unregelmäßige Stöße oder Pfeifgeräusche weisen auf einen Lagerschaden hin. Des weiteren ist eine Beurteilung eines Wälzlagers aufgrund der

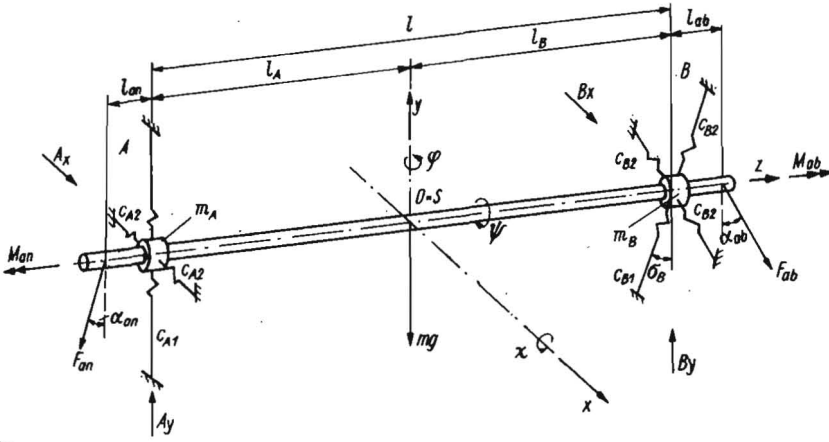


Bild 3. Räumliches Wellensystem (Erklärung im Text)

Bild 4. Ebenes Wellenmodell mit starren Gleitlagern;

$M \ddot{\psi} + F_k \cdot s \cdot \sin[\psi - \psi_k] - F_u \cdot s \cdot \sin[\omega t - \psi] + F_w \cdot s = 0$; M Masse der Welle, s radiales Lagerpiel, ψ Lagewinkel der Welle in der Bohrung, F_k Resultierende aus der Gewichtskraft und den An- und Abtriebskräften, ψ_k Richtungswinkel der konstanten Kraft, $F_u = M \cdot r_u \cdot \omega^2$, F_u rotierende Unwuchtkraft, r_u Unwuchtradius, ω Kreisfrequenz der Rotordrehzahl, F_w Resultierende Widerstandskraft durch Reibung und Dämpfung

Lautstärke möglich. So besitzen z. B. pittingbehaftete Lager im Vergleich zu Neulagern sehr hohe Geräuschpegel.

- Schwingungsmessung durch Analyse des Körperschalls
Diese Form der Schwingungsmessung wird in den Herstellerbetrieben zur automatischen Sortierung von Wälzlagern angewandt. In Form einer Körperschallmessung wird das vom laufenden Lager abgegriffene Schwingungsgemisch einer Frequenzanalyse unterzogen. Laufbahn- oder Wälzkörperbeschädigungen, das heißt Fertigungsfehler, zeigen in einigen Frequenzbändern so hohe Schwingungsamplituden, daß diese Lager ausgesondert werden können /16/. Prinzipiell läßt sich dieses Verfahren auch auf bereits gelaufene Lager sowohl zur Ermittlung von Oberflächen-Ermüdungserscheinungen als auch zur Erfassung des Verschleißes bezüglich einer Aussonderungsgrenze anwenden /17/. Es ist damit eine objektive Einschätzung des Zustands der Wälzpaarungen möglich.

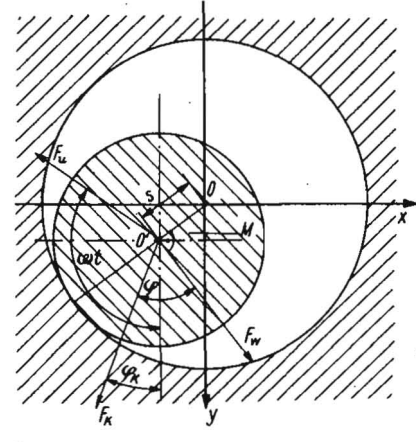
Im internationalen Maßstab ist ein Diagnosegerät bekannt, das Ermüdungserscheinungen des Materials der Lagerelemente erfaßt. Das Arbeitsprinzip beruht auf der Stoßimpulsmessung. Ein piezoelektrischer Schwingungsaufnehmer erfaßt den Körperschall am Lager und führt diesen zur Verarbeitung durch Auszählen der Schwingungsspitzen zu. Aus der Anzahl Schwingungsspitzen je Zeiteinheit lassen sich so Rückschlüsse auf den Lagerzustand ziehen /18/.

Diese zusammengestellten Diagnoseverfahren zeigen, daß noch ein erheblicher Mangel an geeigneten Verfahren und Geräten besteht, insbesondere auf dem Gebiet der demontagelosen Verschleißmessung.

6. In der Entwicklung befindliche Diagnoseverfahren

6.1. Radialspielmessung

Die einfachste Methode zur demontagelosen Verschleißmessung an Wälzlagern beruht, analog zu der Spielmessung im ausgebauten Lagerzustand, auf dem Ausheben der Welle und dem Messen des Aushebewegs. Jedoch ist dieses Verfahren für die Landtechnik ungeeignet. Die Betriebsgrenzwerte der Lager liegen in der Größenordnung von 0,04 bis 0,05 mm Radialspiel. Die Erfassung dieser Grenzwerte ist aufgrund dieser Größenordnung schwer möglich. Des weiteren unterscheidet sich die Elastizität der Welle von Maschine



zu Maschine. Schwierig ist ebenfalls das Einhalten der definierten Aushebekraft von Maschine zu Maschine, so daß dieses Diagnoseverfahren ein recht ungenaues Verfahren darstellt.

An der TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Förderertechnik, wurde ein Modell des landtechnischen Wellensystems zur Untersuchung der theoretischen Diagnosemöglichkeiten geschaffen (Bild 3).

Charakteristisch für die in den Landmaschinen anzutreffenden Wellensysteme ist einmal die zweifache Lagerung des Rotors in den Lagerebenen A und B im Abstand l gelagert. Am Rotor greifen die An- und Abtriebskräfte F_{An} und F_{Ab} sowie die An- und Abtriebsmomente M_{An} und M_{Ab} an.

Bild 3 zeigt die Darstellung des räumlichen Wellensystems. Der Rotor ist in den Lagerebenen A und B im Abstand l gelagert. Am Rotor greifen die An- und Abtriebskräfte F_{An} und F_{Ab} sowie die An- und Abtriebsmomente M_{An} und M_{Ab} an.

Es hat sich für die theoretischen Betrachtungen als richtig erwiesen, das räumliche Wellensystem zum ebenen Wellensystem zu vereinfachen. Unter Vernachlässigung des Wälzlagereffekts, d. h. der pulsierenden Wellenbewegung und der unter Umständen auftretenden Kippbewegung, läßt sich das Wälzlager in Form eines Gleitlagers darstellen (Bild 4). Die Erregung des ebenen Wellensystems erfolgt durch einen unwuchtbehafteten Rotor. Die Bewegungsgleichung der relativen Bewegung der Welle in einem spielbehafteten Lager ergibt die Form einer rheonichtlinearen Differentialgleichung. Durch Annahme eines ungedämpften Systems wurde diese Bewegungsgleichung linearisiert und der Behandlung auf einem Analogrechner MEDA-80 unterzogen. Je nach den Zustandsgrößen des Wellensystems, wie dem Lagerspiel, der Unwucht, der Drehzahl und anderen Einflußgrößen, kann die Welle im spielbehafteten Lager drei Bewegungsformen ausführen /9/

- eine Pendelbewegung
- eine Kreisbewegung oder
- eine Zwischenform durch das Auftreten von Stößen.

Diese auftretende Zwischenform der Wellenbewegung kann als Grundlage für die Festlegung der Aussonderungsgrenze dienen. Ihle /9/ ermittelte so für den Lagertyp 1309 k einen Betriebsgrenzwert von 42 μ m Radialspiel.

Die beiden letzten Bewegungsformen treten nur bei außergewöhnlichen Veränderungen des Wellensystems und des Lagerspiels auf.

Wie die Behandlung der Bewegungsgleichung des ebenen Wellensystems auf dem Analogrechner ergab, herrscht in der Landtechnik die Pendelbewegung der Welle im Lager vor. Diese Pendelbewegung besteht aus zwei Komponenten.

Das sind die

- Grundschiwingung in der Drehzahlfrequenz und
- eine überlagerte Oberschiwingung.

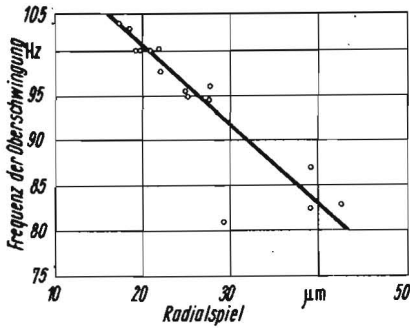


Bild 5. Abhängigkeit der Frequenz der Oberschwingung vom Radialspiel /9/; Lagertyp 1307 k, Resonanz in der dreifachen Drehzahlfrequenz

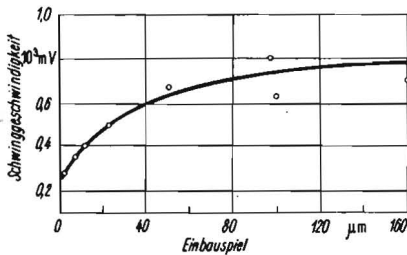


Bild 6. Einfluß des Einbauspiels auf die Relativgeschwindigkeit Welle-Lagergehäuse; Lagertyp 6309

Die Frequenz dieser Oberschwingung ist abhängig vom Lagerpiel, während der Einfluß des Unwuchtzustands des Wellensystems vernachlässigbar ist.

Durchgeführte Prüfstandsuntersuchungen bestätigen die Richtigkeit der theoretischen Ergebnisse. Die unwuchtbehaftete Welle wurde von außen durch einen Elektromotor mit einer Drehzahl von 480 U/min angetrieben. Gemessen wurde induktiv die Wellenbewegung. Bild 5 zeigt das Ergebnis der Untersuchungen.

Demnach besteht ein angenäherter linearer Zusammenhang zwischen der Frequenz der Oberschwingung und dem Lagerpiel.

Ein weiteres Diagnoseverfahren für die demontagefreie Radialspielermittlung von Wälzlagern beruht auf der Stützerregung. Die Erregung des Wellensystems erfolgt hier durch einen an der Lagerabstützung angebrachten mechanischen Unwuchterreger. Dabei rotiert die Welle mit 60 U/min. Die Messung des Körperschalls brachte die im Bild 6 dargestellte Abhängigkeit des Einbauspiels des Wälzlagers.

6.2. Diagnoseverfahren zur Erkennung von Ermüdungserscheinungen

Auf einem speziellen Prüfstand wurden die Auswirkungen der Pittingbildung auf die Laufeigenschaften des Wellensystems untersucht, um bei einer späteren Diagnose ausgehend von den Laufeigenschaften auf den Schadenszustand des Lagers schließen zu können. Dieser Prüfstand stellte die dynamische Nachbildung der Baugruppe Dreschtrommel des Mähreschers E 512 dar /19/.

Die beiden Lagerungen des Rotors stützen sich über Feder-Masse-Systeme auf dem Fundament ab. Die im Bild links zu sehende Lagerung stellt das Prüflager dar, die rechte Lagerung dient als Hilfslagerung. Durch die beiden Scheiben-

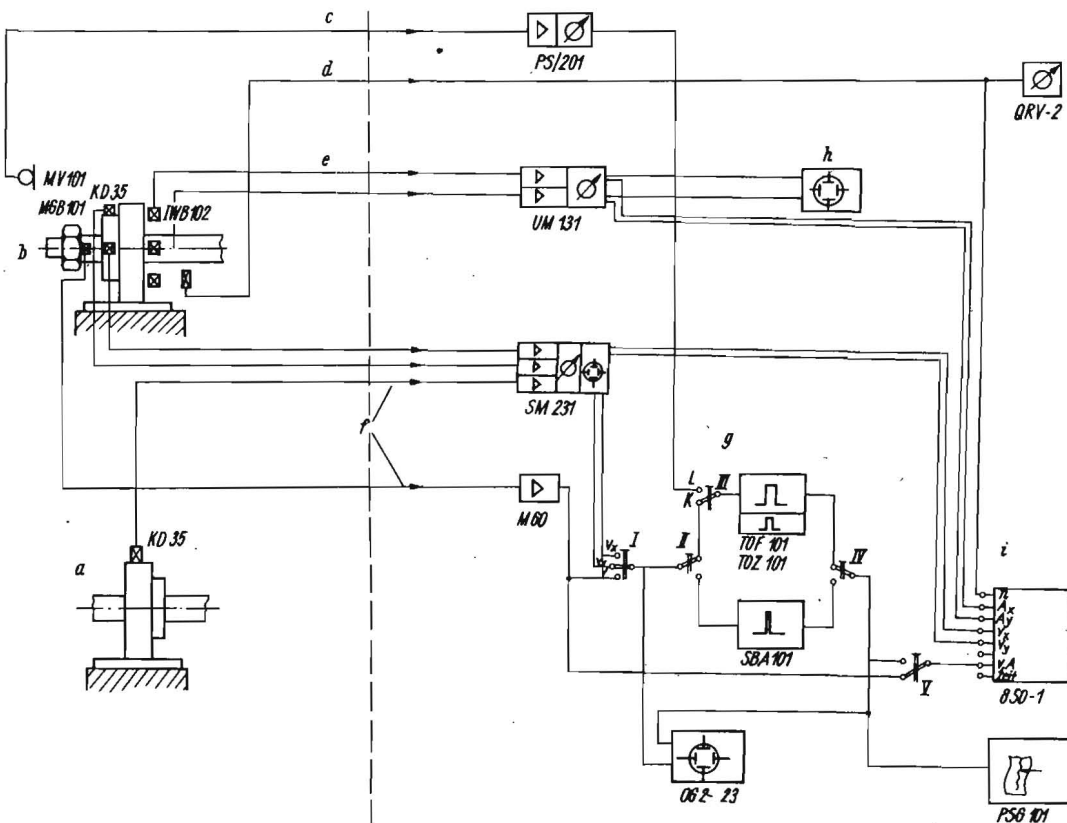


Bild 7. Elektrische Einrichtung des Wälzlagerprüfstands: a Hilfslager, b Prüflager, c Luftschall, d Drehzahl, e Wellenbewegung, f Körperschall, g Frequenzanalyse, h Oszilloskop, i Aufzeichnung

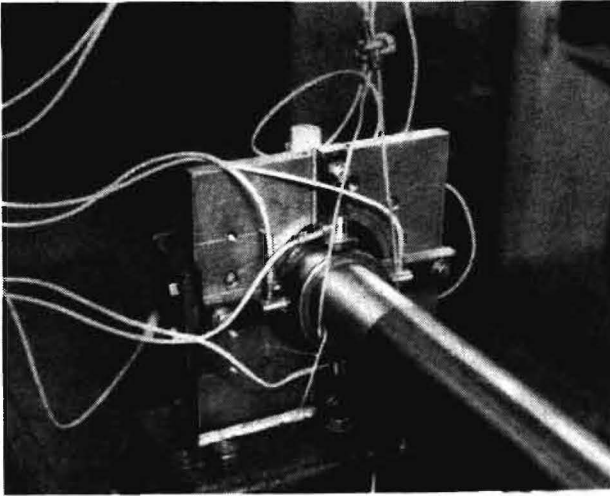


Bild 8. Wellenbewegungsaufnehmer

massen werden die dynamischen Parameter der Dreschtrommel nachgebildet. Der Antrieb des Wellensystems erfolgte durch einen Elektromotor mit einer Drehzahl von 600 U/min.

Meßtechnisch erfaßt werden vier Meßgrößen (Bild 7) am Prüflager

- Luftschall mit Mikrophon
- Körperschall mit piezoelektrischem und induktivem Schwingungsaufnehmer
- Wellenbewegung mit Hilfe von induktiven Aufnehmern
- zur Drehzahleinstellung der Drehzahlimpulse des Rotors.

Die Luftschall- und Körperschallsignale wurden einer Frequenzanalyse in Schmalband- bzw. Terzbreite unterzogen. Einige Ergebnisse sind prinzipiell auf praktische Einsatzbedingungen übertragbar.

Luftschall

Gemessen wurden am Wälzlager typ 6309 folgende Gesamtschalldruckpegelwerte

Neulager	70 dB AI
Verschleißlager	bis 76 dB AI
Ermüdungslager (je nach Schadensausmaß)	77 bis 95 dB AI

Zu beachten ist hierbei, daß nur ein äußerer Störpegel von 65 dB AI vorlag. Mit steigender Schädigung erhöht sich das Laufgeräusch, insbesondere beim Auftreten oberflächlicher Ermüdungserscheinungen auf den Lagerelementen. Für den praktischen Einsatz ist die gleiche Meßeinrichtung verwendbar, d. h. bestehend aus dem Impulsschallpegelmessers PSI 201 des VEB Meßelektronik Dresden. Auch ist eine Frequenzanalyse möglich.

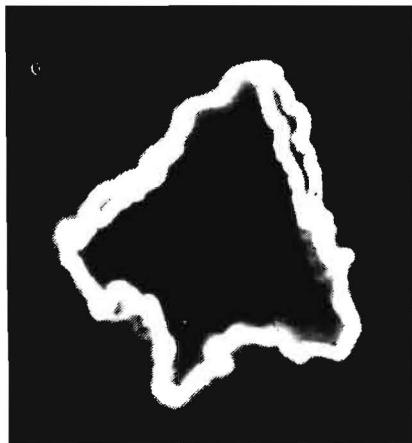
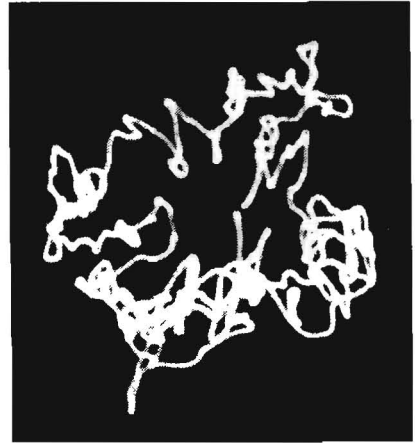


Bild 9. Wellenbewegung eines Verschleißlagers; 25 µm Radialspiel, Lagertyp 6309

Bild 10. Wellenbewegung eines vollständig pittingbehafteten Wälzlagers; Lagertyp 6309



Wellenbewegung

Zur Erfassung der Wellenauslenkungen im Prüflager wurde die Welle mit einem Tastring versehen (Bild 8), an dem induktive Aufnehmer des Typs IWB 102 die Bewegungen in vertikaler und horizontaler Richtung erfaßten. Eine Sichtbarmachung der Auslenkung auf dem Bildschirm eines Oszillographen ergab die Bewegungsbilder. Die Bilder 9 und 10 zeigen einige Ergebnisse. Dabei ist zu beachten, daß die Vertikalauslenkung künstlich um den Faktor 3 vergrößert wurde, um eine bessere Auswertemöglichkeit zu schaffen.

Grübchen auf den Lagerelementen lassen sich so gut erfassen. Von einer geordneten Wellenbewegung kann in diesem Fall nicht mehr die Rede sein.

Körperschall

Um ein optimales Schwingungs-Amplitudenverhältnis von Ober- zu Grundschwingung zu erhalten, hat sich die Meßgröße Schwinggeschwindigkeit aus Untersuchungen als vorteilhaft erwiesen. Bei der Verwendung von piezoelektrischen Schwingungsaufnehmern (z. B. Typ KD 35) wird eine nachträgliche Integration mit Integrierverstärkern durchgeführt. Eine Wälzlagerschwingung besteht aus

- Grundschwingung in der Drehzahlfrequenz
- Oberschwingungen.

Die Anzahl, die Amplitudengröße und die Frequenz der Oberschwingungen sind neben den Fertigungseinflüssen unter anderem $1/16/1/3$ von der Schädigung des Lagers abhängig. Dies betrifft insbesondere Erscheinungen der Pitting- oder Ribbildung. Auftretende Stoßerscheinungen während des Abrollvorgangs der Lagerelemente verursachen eine erhebliche Zunahme des Oberschwingungsgemisches ab 1 kHz.

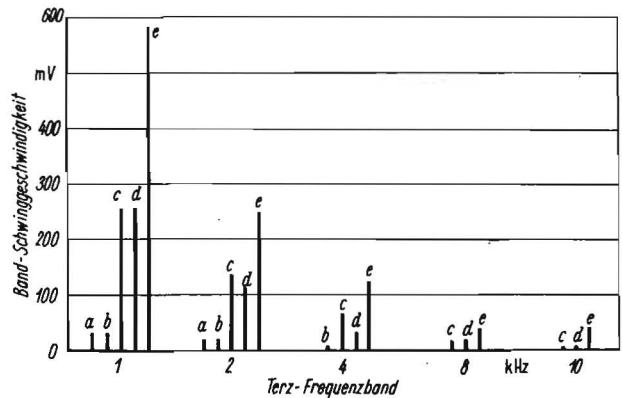


Bild 11. Einfluß der Wälzlagerschädigung auf die Schwingungsabstrahlung des Lagers; Lagertyp 6309, Drehzahl 600 U/min, a Neulager, b Verschleißlager (75 µm), c Innenring flächenhafte Pittingbildung, d Innenring und Wälzkörper mit Pitting, e sämtliche Lagerelemente pittingbehaftet

Durch eine anschließende Frequenzanalyse lassen sich die Schwingungsanteile eliminieren. Dazu eignen sich spezielle Filtereinrichtungen in Bandpaßform, z. B. Terz-Oktav-Filter TOF 101 oder Schmalbandanalysator SBA 101 (beides sind Erzeugnisse des VEB Meßelektronik Dresden).

Zur Anzeige der Frequenzamplituden kann ein Röhrenvoltmeter (z. B. QRV-2) oder ein Pegelschreiber PSG 101 (VEB Meßgerätewerk Zwönitz) verwendet werden.

Praktisch reicht eine Einkanalausführung der im Bild 8 angegebenen Meßeinrichtung aus.

Im Bild 11 wurden die Bandschwingungsgeschwindigkeits-Amplituden über den Frequenzbändern aufgetragen. Ab 1 kHz lassen sich so grubchenbehaftete Wälzlager von Neu- und Verschleißlagern eindeutig trennen.

8. Schlußbemerkung

In diesem Bericht wurden die in der Praxis auftretenden Wälzlagerschäden dargelegt. Überwiegend sind der Verschleiß und die Materialermüdung anzutreffen.

Der Stand von geeigneten Diagnosegeräten ist noch unzureichend. Jedoch ist zu sagen, daß mit der Körperschallmessung ein erfolgreicher Weg beschritten wird.

Literatur

- /1/ Jürgensmeyer, W.: Die Ursachen von Wälzlagerschäden. Der Maschinenschaden Bd. 28/27 (1953)
- /2/ Bachmeier, K.: Die Analyse von Wälzlagerschäden. Der Maschinenschaden (1967)

- /3/ Kamps, R.: Lager- und Schmieretechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1957.
- /4/ Eschmann, P.: Entwicklungstendenzen in der Wälzlageretechnik. Glasers Annalen 82 (1958) H. 1
- /5/ Eschmann, P.: Die Wälzlagerpraxis. München: Verlag von R. Oldenbourg 1953.
- /6/ Oels, P.: Aussonderungsmerkmale und Aussonderungsgrenzen für Wälzlager bei der Grundüberholung von Traktorengetrieben. TU Dresden, Sektion 16, Großer Beleg 1967 (unveröffentl.)
- /7/ Palmgren, A.: Grundlagen der Wälzlageretechnik. Stuttgart: Franke'sche Verlagsbuchhandlung 1954
- /8/ Schüller, R.: Untersuchungen zur Wälzermüdungslebensdauer von Wälzlagerstahl. Wälz- u. Gleitlageretechnik (1970) H. 1
- /9/ Ihle, G.: Beitrag zur Technischen Diagnostik landtechnischer Wellensysteme. Dissertation TU Dresden 1967
- /10/ Halliger, L.: Stand der Wälzlageretechnik im Landmaschinenbau und Entwicklungstendenzen. Grundlagen der Landtechnik (1964) H. 19
- /11/ Modra, S.: Untersuchung der Möglichkeiten zur Instandsetzung abgenutzter Wälzlager. TU Dresden. Diplomarbeit 1967 (unveröffentl.)
- /12/ TGL 15 504 Wälzlager. Maßpläne für Hauptmaße
- /13/ TGL 15 507 Wälzlager. Technische Lieferbedingungen
- /14/ TGL 15 508 Wälzlager. Toleranzklassen
- /15/ TGL 15 509 Wälzlager. Lagerluft
- /16/ Gustafson, O. G./T. Tallian Entdeckung von Schäden an zusammengebauten Wälzlagern. ASLE-Transactions (1962) H. 5
- /17/ Volgt, H.: Wirkungsweise und Aufbau der Kegelrollenlagerprüfungseinrichtung. VEB Kraftverkehrskombinat Dresden, Kraftverkehr-Instandsetzungswerk 806 Dresden, Meschwitzstr. 26
- /18/ Boto, P. A.: Detection of bearing damage by shock measurement. Ball bearing INI 167 (1971) H. 6, S. 1-7.
- /19/ Schröder, H.: Richtlinien für die Instandhaltungsgerechte Konstruktion eines neu zu entwickelnden Mähdreschers. Großer Beleg, TU Dresden, Sektion 16, 1971 (unveröffentlicht) A 9258

2. Fachtagung des Arbeitsausschusses Schmieretechnik Neubrandenburg

Der Arbeitsausschuß Schmieretechnik Neubrandenburg der AG (B) Nord veranstaltete im Frühjahr 1973 die 2. Tagung seit seiner Gründung im Jahre 1972. Durch die enge Zusammenarbeit zwischen dem Arbeitsausschuß Schmieretechnik und der Bezirksfachsektion Landtechnik ist es gelungen, zahlreiche Landtechniker zum Besuch dieser Tagung anzuregen.

Aber auch aus dem Bau-, Verkehrs- und Meliorationswesen war eine ganze Reihe von Praktikern vertreten. In den regen Diskussionen wurden oftmals Probleme angeschnitten, die weit über den Rahmen der vorgesehenen Thematik hinausgingen und so noch zusätzliche Informationen brachten. Im einzelnen wurde zu folgenden Themen referiert:

1. Anwendung und Eigenschaften von Motorölen unter besonderer Berücksichtigung der Bedingungen in der Landtechnik, im Bau- und Verkehrswesen

Dieses Referat hatte zum Ziel, die anwesenden Praktiker über die neuen Motorenölsorten zu informieren. Dabei konnten bereits erste Angaben über Ölwechselfristen gemacht werden, die vor allem hinsichtlich W 50 und ZT 300 mit sehr großem Interesse aufgenommen wurden.

Neben den Ausführungen zu diesen anwendungstechnischen Problemen sind auch die Informationen zur neuen Bezeichnungssystematik der Motorenöle nicht zu kurz gekommen. Die anwesenden Praktiker verfolgten gerade diese Ausführungen sehr interessiert.

2. Separieren von Motorenölen in der Landwirtschaft

Ausgehend von den Forderungen nach verbesserter Materialökonomie auf dem Schmierstoffsektor gewinnt das Separieren der Motorenöle bei den Großverbrauchern immer mehr an Bedeutung.

Neben detaillierten Ausführungen über die aufgrund ihrer Herkunft unterschiedlich verschmutzten Gebrauchtole sind die verschiedenen Separiermethoden erläutert worden. Dabei waren Verweilzeiten, Vorwärmtemperatur, Naß- und Trockenseparation auch in der folgenden Diskussion nochmals sehr gefragt. Da es beim Aufbau von Pflegestationen

ja nunmehr darauf ankommt, von vornherein die zweckmäßigsten Geräte zum Einsatz zu bringen, wurden abschließend die verschiedenen Separatortypen vorgestellt, Preise und Lieferfristen genannt.

3. Gesundheits-, Brand- und Arbeitsschutz beim Umgang mit Kraft- und Schmierstoffen

Charakteristisch für die zur Veranstaltung eingeladenen Betriebe ist, daß in Außenstellen, Betriebsteilen und Baustellen kleine Schmierstofflager vorhanden sind, zu denen viele Kollegen Zutritt haben. Gerade unter diesen Bedingungen, betonte der Referent, muß auf die Einhaltung der Vorschriften besonders geachtet werden.

Die jeweiligen Vorschriften wurden deshalb erläutert und Unfallursachen aufgezeigt. An Beispielen aus der Praxis zeigte der Referent die Wichtigkeit und Aktualität der Problematik. Hinsichtlich des Gesundheitsschutzes wurde auf die Möglichkeiten der Verhinderung von Ulkträte u. ä. eingegangen und auf das Angebot an Hautpflegemitteln hingewiesen.

4. Hydrauliköle — Richtlinien für Einsatz und Behandlung

Im ersten Teil des Vortrags wurden die überwiegend in Hydraulikanlagen eingesetzten Mineralöle mit ihren für die Praxis wichtigsten physikalisch-chemischen Kenndaten vorgestellt. Dabei ist besonders auf den für die Praxis so wichtigen Unterschied zwischen Stockpunkt und Fließvermögen hingewiesen worden, der oftmals nur ungenügend beachtet wird.

Viele Praktiker sind ja der Ansicht, daß der Stockpunkt identisch mit der unteren Temperatureinsatzgrenze ist. Da vielfach die Mischbarkeit der in der DDR angebotenen Hydrauliköle als Problem angesehen wird, ging der Referent auch darauf ein. Vielen ist der dargestellte Sachverhalt völlig neu gewesen und es bleibt zu hoffen, daß die gegebenen Hinweise angewendet werden, um so den Einsatz an Hydraulikölen doch etwas ökonomischer zu gestalten.

AK 9234

Schmieretechnik. B. Singer, KDT