

## 5. Ergebnisse

Beim Einsatz der Tankmelkanlage zeigte sich, daß die Anlage zwar technisch einwandfrei funktioniert, das Umsetzen der Tankmelkmaschine aber von der Melkzeit jeder einzelnen Kuh abhängig ist, ein kontinuierlicher Ablauf der Fließarbeit im Melkbetrieb deshalb nicht erreicht werden kann.

Im arbeitswirtschaftlichen Ergebnis lag die Leistung unter einer normalen Eimermelkanlage. Wenn auch der ständige Einsatz des Recorders das Arbeitsergebnis beeinträchtigte, so konnte doch auch beim direkten Melken in den Tank keine wesentlich verbesserte Leistung erzielt werden.

Bei der Desinfektion der Tanks und der Melkmaschinen ist man vom Dampf abhängig, solange noch kein einwandfreies Tankreinigungsgerät für die chemisch-mechanische Reinigung vorhanden ist. Dampf läßt sich aber im landwirtschaftlichen Betrieb nur sehr teuer erzeugen.

## 6. Erfahrungen im Ausland

Auch in anderen Ländern wurden schon Untersuchungen mit Tankmelkanlagen durchgeführt:

### a) England

Gascoigne in Reading baut schon seit Jahren Melkanlagen mit fahrbaren Kannenbatterien. So z. B. die „Mobilotte“ und die „Mobi-lactor“. Diese kann mit und ohne „Recorder“ ausgeführt werden. Für die in England üblichen kleineren Milchviehbestände bis  $\approx 40$  GVE haben sich diese Anlagen zwar bewährt. Sie sind aber ohne besondere Bedeutung, weil für größere Verhältnisse andere Mechanisierungsformen angewendet wurden. Außerdem sind zur vollen Mechanisierung der Melkarbeit keine Möglichkeiten vorhanden.

### b) Ungarn

Im ungarischen Staatsgut Danszentmiklos wurde die Rinderfarm durch eine Tankmelkanlage mechanisiert. Da die Rinderställe hier alle in einer Reihe hintereinander angebracht sind, und Fütterung sowie Entmistung mit Hilfe von Loren erfolgt, wurden auch die Tankmelkmaschinen auf Schienen fahrbar ausgeführt.

Das Funktionsprinzip dieser Tankmelkmaschinen ist fast den IMPULS-Nullserienmustern gleich. Man verwendet jedoch für jedes Melkzeug einen Ausleger und einen Pulsator. Als Melkmaschinen wurden IMPULS M 55 verwendet.

Die Desinfektion des Tanks erfolgt durch Dampf. Dieser war im Milchhaus der Farm, in dem auch eine kleine Molkerei untergebracht ist, vorhanden.

Da in Ungarn bereits viele große Anbindeställe vorhanden sind, die oft in einer Reihe hintereinander gebaut wurden, ohne Rücksicht auf eine milchwirtschaftliche Mechanisierung, wird der hier beschrittene Weg eine gewisse Bedeutung für diese spezifischen Verhältnisse erlangen.

### c) Bulgarien

Das Institut für Mechanisierung und Elektrifizierung der Landwirtschaft in Sofia führte auch im Staatsgut Basardjyk bei Plovdiv Versuche mit Melkmaschinen zum Melken in Kannenbatterien durch, wobei das Melkzeug der sowjetischen Melkmaschine 3-TDA angewendet wurde. Dabei stellte man ein schlechtes arbeitswirtschaftliches Ergebnis fest. Um dies zu verbessern, wurde ein kleines Transportfahrzeug für eine Kanne gebaut, um dadurch das Transportieren der Melkmaschinen im Stallung unabhängig von noch angeschlossenen Kühen zu gestalten. Dabei kam man aber auf das Prinzip der Kannenmelkmaschine zurück. Weitere Versuche werden vom Institut auf Grund des Ergebnisses nicht durchgeführt.

## Zusammenfassung

Da im Jahre 1955 noch keine endgültige Klarheit über die weitere Mechanisierung der landwirtschaftlichen Milchwirtschaft bestand, erschien das direkte Melken in einen Transporttank oder in eine Kannenbatterie erfolgversprechend.

Nach dem Einsatz von zwei Funktionsmustern und Geräten einer Nullserie in einer speziell errichteten Großanlage stellte man ein schlechtes arbeitswirtschaftliches Ergebnis fest. Andererseits ergab sich, daß diese Lösung die einzige Möglichkeit bietet, Großanbindeställe mit ungünstigen Bedingungen milchwirtschaftlich zu mechanisieren.

Erfahrungen aus England zeigen, daß sich für kleinere Rinderbestände Kannenbatterie-Melkmaschinen seit langem behaupten.

Für die milchwirtschaftliche Mechanisierung der älteren Rinderfarmen der ungarischen Staatsgüter behält das Tankmelken eine gewisse Bedeutung. Das arbeitswirtschaftliche Ergebnis wird dabei verbessert, wenn eine leistungsfähigere Melkmaschine angebaut ist.

In Bulgarien haben die Versuche zum direkten Melken in eine oder mehrere Kannen keinen Erfolg gezeigt. Die vorhandenen Rinderfarmen in diesem Land sind meistens moderner projektiert und es lassen sich hier auch bessere Methoden für das maschinelle Melken anwenden.

A 3677

Dipl.-Ing. Chr. EICHLER, Dresden\*)

## Über Verfahren zur Ermittlung der Grenzen des zulässigen Verschleißes von Maschinenteilen

*Fragen der Ersatzteilversorgung haben uns in den letzten Jahren immer wieder beschäftigt und es erscheint notwendig, auch weiterhin volle Aufmerksamkeit und alle Energie auf dieses wichtige Gebiet zu verwenden, damit die erstrebte Entspannung erreicht wird. Auf der Suche nach geeigneten Lösungen müssen die Bemühungen beachtet werden, die über Material-Verbrauchsnormen zu einer Ordnung im Ersatzteilbereich kommen wollen. CH. EICHLER stellt in seinem folgenden Beitrag Möglichkeiten für die Festlegung von Verschleißgrenzen an Hand von Beispielen vor, die wir als einen Fortschritt in dieser Richtung bezeichnen möchten. Demgegenüber erscheinen uns die Ausführungen von R. OSTERMAIER zur Abstufung für die Reparaturkampagne einer Diskussion wert, weil sie die Anwendung der Stationären Fließmethode fördern können.*

Die Redaktion

Die Feststellung des Verschleißzustandes von Maschinen ist der Ausgangspunkt für jede Maßnahme der vorbeugenden Instandhaltung nach dem System der periodischen Überprüfung. Bisher erfolgte die Feststellung des Verschleißzustandes durch Beurteilung nach den Erfahrungen des Prüfenden. Diese ist vielen subjektiven Einflüssen unterworfen, die teilweise den Erfolg des Systems der planmäßigen, vorbeugenden Instandhaltung in Frage stellen. Um diese subjektiven Einflüsse bei der Beurteilung des Verschleißzustandes auszuschalten, ist es notwendig, den Instandhaltungsorganen Verfahren zur Verfügung zu stellen, die es ihnen gestatten, die Beurteilung des Verschleißzustandes objektiv, unabhängig von der Qualifikation und Auffassung des Prüfenden, durchzuführen. Dieses Verfahren besteht darin, daß der Prüfende den Verschleiß-

\*) Technische Hochschule Dresden, Institut für Landmaschinentechnik (Direktor: Professor Dr.-Ing. W. GRUNER).

zustand des Teiles durch Messung feststellt und durch Vergleich des Meßergebnisses mit dem Maß des zulässigen Verschleißes eine objektive, vergleichbare und wiederholbare Feststellung über den Verschleißzustand trifft. Das Maß des zulässigen Verschleißes, im folgenden als Verschleißgrenze bezeichnet, ist also eine Voraussetzung für eine objektive Beurteilung des Verschleißzustandes, wobei vorausgesetzt wird, daß dem Prüfenden das Maß der zulässigen Abnutzung bekannt ist. Es ist damit gleichzeitig eine Grundlage für die weitgehende Ausnutzung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer der Verschleißteile und für die erfolgreiche Anwendung des Systems der planmäßigen, vorbeugenden Instandhaltung.

Aber auch aus einer Reihe anderer Gründe ist eine objektive Ermittlung des Verschleißes nach einheitlichen Grundsätzen erforderlich.

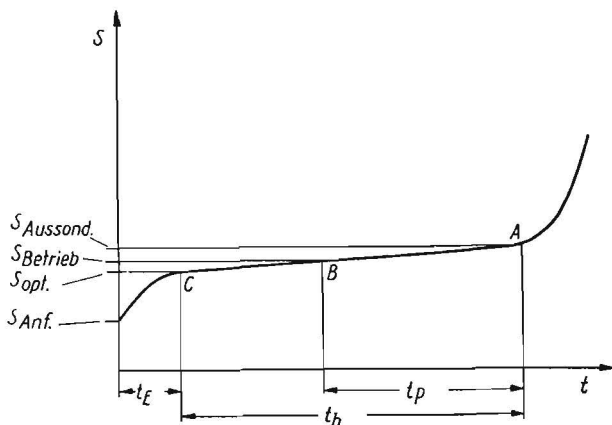


Bild 1. Verschleißkurve eines Gleitlagers

Eine objektive Ermittlung des Verschleißes mit Hilfe von einheitlich festgelegten Verschleißgrenzen erlaubt in allen gleichrangigen Instandhaltungsorganen die Anwendung einer gleichen Technologie, da dann bei Überholungen alle Verschleißteile nach den gleichen Grundsätzen ausgetauscht bzw. instandgesetzt werden. Dadurch wird die Schaffung von Festpreisen für bestimmte Instandsetzungsarbeiten begünstigt. Die einheitliche, objektive Ermittlung des Verschleißzustands bringt außerdem den Material- und Ersatzteilbedarf gleichartiger Instandsetzungsmaßnahmen sowohl in gleichrangigen Instandhaltungsorganen als auch in Instandhaltungsorganen verschiedener Stufen auf eine gleiche Höhe. Dadurch werden Kostenvergleiche zwischen verschiedenen Instandhaltungsorganen möglich, so daß die Forderung, die Instandhaltungsmaßnahmen jeweils von den Instandhaltungsorganen durchführen zu lassen, wo dies für die Volkswirtschaft am günstigsten ist, erfüllt werden kann.

Die Tatsache, daß es durch Einführung der Verschleißgrenzen möglich ist, die Beurteilung des Verschleißzustandes unabhängig von subjektiven Einflüssen durchzuführen, kommt der Anwendung moderner, industriemäßiger Arbeitsorganisationsverfahren im Instandhaltungswesen entgegen. Da besondere festgelegte Prüfbedingungen (Messen des Verschleißteiles und Vergleich des Ergebnisses mit dem Verschleißgrenzmaß) vorliegen, ist es möglich, im Rahmen der Arbeitsteilung für die Verschleißermittlung (Schadensaufnahme) Arbeitskräfte mit wesentlich geringerer Qualifikation einsetzen zu können als bei der bisherigen subjektiven Methode, so daß eine wesentliche Senkung der Lohnkosten für die Prüfung erreicht wird.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die objektive Ermittlung des Abnutzungszustandes mit Hilfe von Verschleißgrenzen große Vorteile für das Instandhaltungswesen mit sich bringt, die von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung sind. Es taucht aber die Frage auf, wie solche Verschleißgrenzen ermittelt werden. Es gibt in jedem Falle Faktoren, die, abhängig vom Verschleiß, die Betriebsstauglichkeit der Maschine beeinflussen. Diese Faktoren lassen sich zur Festlegung der Verschleißgrenzen verwenden. Sie gestatten es dem Konstrukteur, der bei der konstruktiven Ausbildung durch Werkstoffwahl u. a. m. Einfluß auf das Verschleißverhalten der Maschinenteile hat, diese Verschleißgrenzen zusammen mit den Fertigungstoleranzen in Zusammenarbeit mit dem Benutzer der Maschine festzulegen. Dabei sind erforderlichenfalls vorläufige Verschleißgrenzen festzulegen, die danach durch die Erfahrungen des Benutzers der Maschine zu korrigieren sind.

Im folgenden soll versucht werden, einige Grundlagen für die Festlegung von Verschleißgrenzen zu erläutern.

### 1 Begriffsbestimmung

Der durch Reibung hervorgerufene Verschleiß führt zu einer Abtragung von Werkstoff von der Oberfläche her. Beispielsweise vergrößert sich dadurch in Gleitlagern das Spiel zwischen Bolzen und Lagerschale. Hat das Spiel eine bestimmte Größe erreicht, dann ist keine einwandfreie Schmierung mehr gewährleistet, da das Schmiermittel durch den vergrößerten Lagerspalt wegläuft. Das Fehlen einer ausreichenden Schmierung hat aber zur Folge, daß der Verschleiß rasch ansteigt. Es besteht die Gefahr, daß das Lager plötzlich festfrißt. Damit ist seine Betriebsstauglichkeit in unzulässigem Maße gemindert. Die Neigung zu solchen plötzlichen Freßerscheinungen tritt bei Gleitlagern immer bei der gleichen Spielgröße auf.

Das Spiel bei Gleitlagern, bei dem die unzulässige Minderung der Betriebsstauglichkeit (Freßneigung wegen unzureichender Schmierung) eintritt, entspricht der Verschleißgrenze.

Der am Beispiel eines Gleitlagers abgeleitete Begriff der Verschleißgrenze kann allgemein folgendermaßen definiert werden:

*Die Verschleißgrenze ist das Grenzmaß eines Maschinenteils oder das Grenzspiel eines Elementenpaares, bei dem der Verschleiß ein solches Maß erreicht hat, daß die Betriebsstauglichkeit des Maschinenteils, der Baugruppe oder der ganzen Maschine in unzulässigem Maße gemindert ist.*

Das System der vorbeugenden Instandhaltung strebt an, die sich während des Betriebes abnutzenden Verschleißteile schon vor Erreichen der Betriebsuntauglichkeit auszutauschen bzw. die normalen Betriebsabmessungen wieder herzustellen, um die Betriebsstauglichkeit dauernd zu erhalten. Dadurch sollen die schadensbedingten Ausfälle der Maschinen während des Einsatzes auf ein Minimum eingeschränkt werden.

Praktisch sieht die vorbeugende Instandhaltung folgendermaßen aus: An einem planmäßig festgelegten Termin wird der Verschleißzustand der Maschine nach bestimmten einheitlichen Grundsätzen untersucht. Die Verschleißteile werden ausgetauscht, wenn ihre Betriebsstauglichkeit in unzulässigem Maße gemindert ist. Dagegen verbleiben sie in der Maschine, wenn ihr Verschleißzustand erwarten läßt, daß ihre Betriebsstauglichkeit bis zur nächsten planmäßigen Instandhaltungsmaßnahme erhalten bleibt, ohne daß die Gefahr des plötzlichen Ausfalls der Maschine besteht. Die Prüfung des Verschleißzustandes muß also unter zwei Gesichtspunkten erfolgen:

1. Es muß entschieden werden, inwieweit das Teil noch betriebsstauglich ist oder nicht;
2. falls noch Betriebsstauglichkeit vorliegt, muß entschieden werden, inwieweit der Verschleißzustand erwarten läßt, daß das Teil bis zur nächsten planmäßigen Instandhaltungsmaßnahme betriebsstauglich ist.

Um eine objektive Beurteilung des Verschleißzustandes eines Teiles zu ermöglichen, müssen danach zwei verschiedene Verschleißgrenzen bekannt sein: das Grenzmaß, bei dem die Betriebsstauglichkeit in unzulässigem Maße gemindert ist und das Teil gegen eine neues ausgetauscht werden muß, sowie das Grenzmaß, bei dem die Betriebsstauglichkeit noch eine bestimmte Zeit gegeben ist und das Teil somit diese Zeit in der Maschine verbleiben kann. Diese zwei durch das System der planmäßigen, vorbeugenden Instandhaltung geforderten Verschleißgrenzmaße sollen an Hand der Verschleißkurve eines im Bereich der Schwinmreibung laufenden Gleitlagers näher erläutert werden. In Bild 1 wird die Verschleißkurve eines Gleitlagers wiedergegeben [1], wobei das Lagerspiel  $S$  über der Laufzeit  $t$  aufgetragen wird. Das Lager wird mit einem Anfangsspiel  $S_{Anf}$  eingebaут und erreicht nach der Einlaufzeit  $t_E$ , während der der Verschleiß relativ stark zunimmt, das optimale Spiel  $S_{Opt}$ . Die nun herrschenden optimalen Bedingungen (Oberflächenrauigkeit, Reibung und Flächenpressung usw.) lassen die Verschleißgeschwindigkeit  $v = \frac{ds}{dt}$  stark zurückgehen. Der jetzt vorliegende geringe Verschleiß resultiert lediglich aus den Anlaufvorgängen, bei denen das Lager im Gebiet der Mischreibung arbeitet. Das Spiel erreicht jedoch eine Größe, bei der die Verschleißgeschwindigkeit stark ansteigt und die Betriebsstauglichkeit in unzulässigem Maße gemindert ist ( $S_{Aussond.}$ ). Dieses Spiel entspricht den Bedingungen der Verschleißgrenze, die infolge unzulässiger Minderung der Betriebsstauglichkeit eine Aussonderung des betr. Teiles erfordert. Dieses Grenzmaß, durch den zweiten Knickpunkt der Verschleißkurve bestimmt, soll im folgenden als Aussonderungsgrenzmaß bezeichnet werden.

Die zweite Verschleißgrenze, die noch für eine bestimmte Zeit die Betriebsstauglichkeit gewährleisten soll, muß kleiner sein als das Aussonderungsgrenzmaß. Den Bedingungen entsprechend sollen Teile dieses Verschleißzustands für die Dauer der kommenden Instandhaltungsperiode  $t_p$  noch die volle Betriebsstauglichkeit gewährleisten. Aus diesem Grunde muß dieses Grenzmaß um den zeitlichen Betrag  $t_p$  der kommenden Instandhaltungsperiode vor der Aussonderungsgrenze liegen. Der diesem Zeitpunkt entsprechende Verschleißzustand (Spiel)  $S_{Betrieb}$  stellt das Grenzmaß dar, das nicht überschritten werden darf, wenn die Betriebsstauglichkeit noch eine bestimmte Zeit  $t_p$  erhalten bleiben soll. Dabei muß aber vorausgesetzt werden, daß die Verschleißgeschwindigkeit während der Instandhaltungsperiode annähernd konstant ist. Dieses Verschleißgrenzmaß soll im folgenden als Betriebsgrenzmaß bezeichnet werden.

Aus den obigen Betrachtungen ergeben sich folgende Begriffe:

- a) *Die Betriebsgrenze:* Das Betriebsgrenzmaß kennzeichnet den Verschleißzustand eines Maschinenelementes bzw. einer Baugruppe,

bei dem unter normalen Betriebsbedingungen und bei optimaler Pflege und Wartung zu erwarten ist, daß seine Betriebstauglichkeit bis zur nächsten planmäßigen Instandhaltungsmaßnahme bzw. Überprüfung erhalten bleibt.

b) *Die Aussonderungsgrenze:* Das Aussonderungsgrenzmaß kennzeichnet den Verschleißzustand, bei dem die Betriebstauglichkeit des Maschinenelements, der Baugruppe bzw. der ganzen Maschine in unzulässigem Maße gemindert ist und bei dem das Teil gegen ein neues ausgetauscht werden muß bzw. die Originalabmessungen wieder hergestellt werden müssen.

Zusammenfassend ergibt sich, daß der Begriff „Verschleißgrenze“ als Oberbegriff für die beiden Begriffe „Betriebsgrenze“ und „Aussonderungsgrenze“ anzusehen ist. Die Betriebsgrenze wie auch die Aussonderungsgrenze sind ihrem Charakter nach Verschleißgrenzen; nur erklären sie ihre Lage im Verschleißschaubild und damit ihren Verwendungszweck durch die Festlegung spezieller Ausdrücke genauer.

## 2 Die Abhängigkeit des Verschleißverhaltens von den Betriebsbedingungen

Das Verschleißverhalten eines Maschinenteils ist stark von den Betriebsbedingungen abhängig. Schon bei geringen Änderungen der Betriebsbedingungen und geringen Schwankungen in den Abmessungen der Teile treten erhebliche Unterschiede im Verschleißverhalten ein. Es lassen sich deshalb keine auch nur einigermaßen brauchbaren Gesetze für die Abhängigkeit des Verschleißes von der Zeit finden. Diese Eigenheiten des Verschleißverhaltens wirken sich auch auf die Verschleißgrenzen und ihre Ermittlung aus und erschweren dieses Problem. Besonders Einfluß hat dies auf das Betriebsgrenzmaß. Teile, deren Abmessungen dem Betriebsgrenzmaß entsprechen, sollen doch noch eine bestimmte Zeit die Betriebstauglichkeit gewährleisten. Die Größe des Betriebsgrenzmaßes ist also von der Dauer der Instandhaltungsperiode abhängig. Es muß aber im Interesse einer guten Materialausnutzung angestrebt werden, daß das Teil nach Ablauf der letzten Instandhaltungsperiode das Aussonderungsgrenzmaß erreicht. Es kann jedoch keinesfalls damit gerechnet werden, daß der Verschleiß in jeder Instandhaltungsperiode konstant ist. Um nun trotzdem zu geeigneten Ergebnissen mit hinreichender Genauigkeit zu kommen, sollen bei allen Betrachtungen folgende Voraussetzungen gemacht werden, die die Schwankungen des Verschleißverhaltens in erträglichen Grenzen halten:

- a) Optimale Pflege und Wartung der Maschinen
- b) Richtige Bedienung der Maschinen
- c) Zweckmäßiger Einsatz der Maschinen.

## 3 Grundsätze für die Festlegung der Verschleißgrenzen

### 3.1 Experimentelle Festlegung der Verschleißgrenze

Es ist möglich, die Verschleißgrenzen aus der Verschleißkurve heraus festzulegen. Eine für diesen Zweck brauchbare Verschleißkurve kann jedoch nur das Ergebnis einer Großzahluntersuchung sein, wodurch die vielen den Verschleiß variierenden Einflußfaktoren in ihren mittleren Auswirkungen erfaßt und statistisch gesicherte Mittelwerte erzielt werden.

Um das Aussonderungsgrenzmaß und das Betriebsgrenzmaß aus der Verschleißkurve festlegen zu können, ist es nicht erforderlich, die gesamte Verschleißkurve des betreffenden Maschinenteiles zu kennen, sondern es genügt der um den Abknickpunkt *A* herum liegende Abschnitt. Dieser Teil der Kurve läßt sich relativ einfach ermitteln. Anlässlich gelegentlicher Demontagen bei Schadenfällen oder bei planmäßigen Überholungen werden die interessierenden Bauteile auf ihren Verschleißzustand hin untersucht, und das Meßergebnis wird in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer festgehalten. Der Fehler der so erhaltenen Kurve wird um so geringer sein, je größer die Zahl der zugrunde gelegten Meßwerte ist. Bei der Auswertung von 800 Messungen ergibt sich beispielsweise ein Fehler von 5%.

Das Aussonderungsgrenzmaß entspricht den am Abknickpunkt vorliegenden Abmessungen des Teiles und kann aus der Verschleißkurve abgelesen werden. Unter der Voraussetzung, daß der mittlere Teil der Verschleißkurve linear verläuft, kann das Betriebsgrenzmaß aus dem Aussonderungsgrenzmaß ermittelt werden.

$$V_B = V_A - t_p \cdot v_m$$

darin sind:  $V_B$  Betriebsgrenzmaß

$V_A$  Aussonderungsgrenzmaß.

$t_p$  Dauer der Instandhaltungsperiode bis zum Erreichen der Aussonderungsgrenze

$v_m$  mittlere Verschleißgeschwindigkeit (tg  $\alpha$  des linearen Astes der Verschleißkurve)

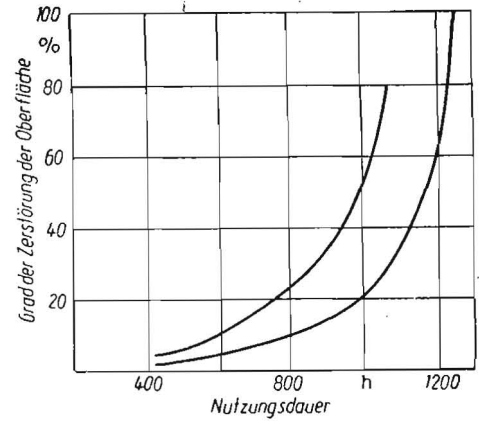
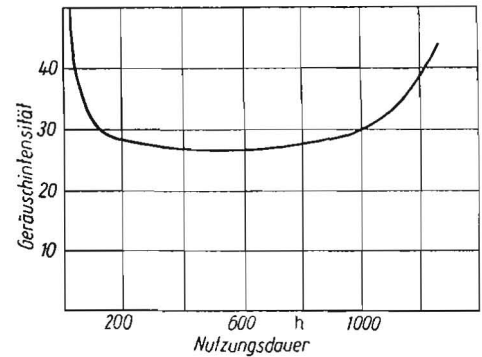


Bild 2 und 3. Abhängigkeit der Zerstörung der Zahnoberfläche und der Laufgeräusche von der Nutzungsdauer (nach WOLGIN)



### 3.2 Theoretische Festlegung der Verschleißgrenze bei Gleitlagern

Bei den hydrodynamisch geschmierten Lagern schwimmt der Lagerzapfen durch den im engsten Lagerspalt entstehenden Druckberg auf einem Schmiermittelpolster. Dadurch kommen Zapfen und Lagerschale nicht in Berührung, und es entsteht kein Verschleiß. Verschleiß kann nur im Anlaufzustand entstehen, wenn sich beide Oberflächen noch berühren und Grenzreibung herrscht. Dieser hydrodynamische Zustand bildet sich nur dann aus, wenn die dafür günstigsten Bedingungen vorliegen. Neben dem richtigen Schmiermittel, der Winkelgeschwindigkeit des Zapfens sind es vor allem geometrische Bedingungen, die die Ausbildung der Schwimmreibung beeinflussen. Aus diesen optimalen Bedingungen ergibt sich das Gebiet der Schwimmreibung. Außerhalb der Grenzen dieses Gebietes ist ein einwandfreier Betrieb eines hydrodynamisch geschmierten Lagers nicht gegeben.

Zu den geometrischen Bedingungen, die für die Ausbildung der Schwimmreibung von Bedeutung sind, zählt auch das Lagerspiel. Da angenommen werden kann, daß alle anderen die Ausbildung der Schwimmreibung beeinflussenden Faktoren, wie Winkelgeschwindigkeit des Lagerzapfens, Schmiermittel, Lagerbelastung, Lagerlänge während des Verschleißprozesses annähernd konstant bleiben, läßt sich nach KASARZEW [2] aus der Gümbelschen Beziehung über den engsten Schmierpalt das zulässige Grenzspiel für Gleitlager ableiten. Die durch den Verschleiß hervorgerufene Spielvergrößerung führt zu einer Vergrößerung der relativen Exzentrizität und zu einer Vergrößerung der Reibung. Aus der Gümbelschen Beziehung über den engsten Lagerspalt

$$h_{\min} = \frac{n \cdot z \cdot d^2}{18,36 \cdot p \cdot S \cdot c} \quad (1)$$

geht hervor, daß eine Vergrößerung des Lagerspiels eine Verringerung des engsten Lagerspaltes mit sich bringt, d. h., die Welle senkt sich im Lager. Die Grenze des Gebietes der Schwimmreibung ist offensichtlich dort, wo eine teilweise gegenseitige Berührung von Welle und Lager eintritt, d. h. der Schmierfilm unterbrochen wird. Dieser Grenzfall tritt dann ein, wenn

$$h_{\min} = \delta = \delta_w + \delta_l \quad (2)$$

ist. Es bedeuten:

- $h_{\min}$  Schmierfilmdicke am engsten Lagerspalt [mm]
- $d$  Wellendurchmesser [mm]
- $z$  Viskosität des Schmiermittels [kp · s · m<sup>-2</sup>]
- $p$  Flächenpressung im Lager [kp · m<sup>-2</sup>]
- $S$  Lagerspiel [mm]

$n$	Drehzahl der Welle [min <sup>-1</sup> ]
$c$	Gümbelscher Korrekturwert $\frac{d+l}{l}$
$l$	Lagerlänge [m]
$\delta$	Summe der Rauhtiefen der eingelaufenen Paarungsteile [mm]
$\delta_w$	Rauhtiefe der Welle [mm]
$\delta_l$	Rauhtiefe des Lagers [mm]

Sobald also der engste Schmierpalt die Größe der in diesem Zeitpunkt vorhandenen Rauhtiefen beider Paarungsteile erreicht hat, läuft das Lager an der Grenze des Gebietes der Schwimmreibung, und das Grenzspiel ist erreicht. Setzt man also  $h_{\min} = \delta$ , so ergibt sich aus Gleichung (1)

$$S_{\text{Grenz}} = \frac{n \cdot z \cdot d^2}{18,36 \cdot p \cdot c \cdot \delta} \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

Für  $\delta$  wird die Summe der Rauhtiefen beider eingelaufener Paarungsteile eingesetzt. Ausgehend von DIN E 4763 können für ein eingelaufenes Paarungsteil folgende Rauhtiefen angenommen werden:

$$\delta = 1 - 2 \mu\text{m}.$$

Das entspricht den Rauhtiefen, die mit den Bearbeitungsverfahren Feinschleifen bzw. Feinstdrehen hergestellt werden können. Es bleibt zu klären, inwieweit diese angenommenen Rauhtiefen den praktisch vorkommenden entsprechen.

Mit der Gleichung (3) ist es möglich, das zulässige Größtspiel für Gleitlager zu berechnen.

Das zulässige Grenzspiel für die Kurbelwellenlager des Schleppermotors RS 01/40 ergibt sich nach dieser Gleichung zu 0,35 mm gegenüber einem Einbauspiel von 0,1 mm, d. h., bei 0,35 mm Spiel ist noch Schwimmreibung vorhanden. Größere Werte darf das Spiel nicht annehmen, da das Lager dann im Gebiet der Grenzreibung arbeitet. Abgesehen davon, daß im Gebiet der Grenzreibung ein zu hoher Verschleiß, verbunden mit Freßneigung, eintritt, treten im vorliegenden Falle der Kurbelwelle bei Lagerspielen über 0,35 mm Schläge und Schwingungen auf, die zu einer erhöhten mechanischen Beanspruchung der Kurbelwelle führen. Andererseits wird dann das Lagerspiel so groß, daß das Schmiermittel durch den Lagerspalt abfließt, der Öldruck absinkt und keine Schmierung mehr gewährleistet ist. Ein Vergleich des Ergebnisses der Berechnung des zulässigen Grenzspiels für den „Pionier-Motor“ mit Erfahrungswerten der Praxis zeigt, daß beide Werte recht gut übereinstimmen. Erfahrungsgemäß sinkt die Betriebssicherheit des Kurbeltriebes bei einem Spiel von 0,3 bis 0,4 mm (Öldruck 2,5 bis 3 at) so weit ab, daß eine Überholung erforderlich ist.

### 3.3 Die Aussonderungsgrenzen bei Zahnrädern

Nach WOLGIN [3] können zur Aussage über den Zahnverschleiß und damit über die Betriebstauglichkeit folgende Kennwerte herangezogen werden:

- Ermüdungsbruch der Oberfläche (Pittings)
- Reibverschleiß an den Zahnflanken.

Das Auftreten von Pittings, hervorgerufen durch die wechselnde Belastung an den Zahnflanken der Zahnräder, ist abhängig von der an den Zahnflanken auftretenden Flächenpressung und von der Zahl der Lastwechsel und damit von der Nutzungsdauer. Die Wolginschen Untersuchungen an mehreren Zahnrädern verschiedener Konstruktion und verschiedener Belastung ergaben, daß die ersten Pittings bei einer Laufzeit von 400 bis 500 h auftraten und daß die Anzahl der Pittings progressiv mit der Nutzungsdauer steigt. Hat die

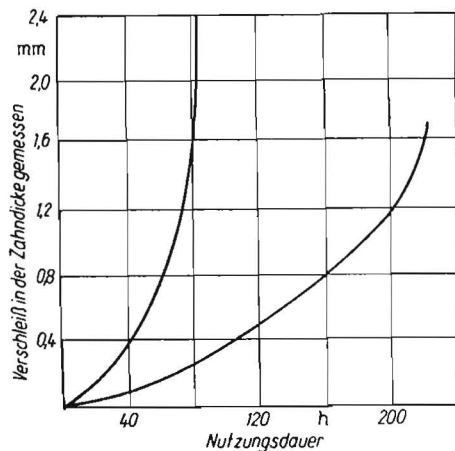


Bild 4. Abhängigkeit des Reibverschleißes von der Nutzungsdauer (nach WOLGIN)

von den Pittings eingenommene Fläche 40 bis 50% der Arbeitsfläche erreicht, so nimmt die Zerstörung der Oberfläche sehr rasch zu. Außerdem ergab eine Messung des Laufgeräusches der Getriebe, daß die Laufgeräusche bei einem Zerstörungsgrad der Oberfläche von 40 bis 50% sehr stark zunehmen. Bild 2 und 3 zeigen die Abhängigkeit der zerstörten Zahnoberfläche [%] von der Nutzungsdauer und die Abhängigkeit der Laufgeräusche von der Nutzungsdauer [nach WOLGIN].

Aus diesen Untersuchungen ergibt sich als Aussonderungsgrenze für Zahnräder eine Zerstörung von 40 bis 50% der Zahnflankenfläche.

Der an den Zahnflanken auftretende Reibverschleiß führt zur Schwächung der tragenden Zahnquerschnitte und damit zur Senkung der Betriebstauglichkeit. Die Prozesse des Reibverschleißes und der Entstehung der Pittings verlaufen parallel zueinander. Im Normalfall geht jedoch die Pittingbildung schneller vor sich als der Reibverschleiß. Nur bei starker Verschmutzung des Öls (über 2% Schmutzanteil) ist der Reibverschleiß wesentlich stärker als die Pittingbildung. Bild 4 zeigt den Verlauf des Reibverschleißes zweier Zahnräder bei starker Schmiermittelverschmutzung [nach WOLGIN]. Das Diagramm zeigt, daß der Verschleiß nach dem Abtragen der Härteschicht sehr stark ansteigt. Da bei einem solchen Verschleiß die Laufgeräusche und die Bruchgefahr sehr stark zugenommen haben, ist diese Grenze als die Aussonderungsgrenze anzusehen. Diese Bemerkungen gelten jedoch nur in den Fällen, in denen die durch die Pittings festgelegte Aussonderungsgrenze noch nicht vorher erreicht wurde.

### 3.4 Die in den Bauteilen auftretenden Spannungen als Maßstab für die Verschleißgrenze

Die in den Bauteilen auftretenden Spannungen können ebenfalls zur Festlegung der Verschleißgrenzen herangezogen werden. Durch Verschleiß von Arbeitswerkzeugen, Lagerstellen, Führungen usw. können in den angrenzenden Bauteilen oder in durch den Verschleiß geschwächten Querschnitten von Bauteilen Kräfte auftreten, durch die die Spannungen die zulässigen Grenzen überschreiten und den Bruch der Teile herbeiführen. Der Verschleiß der Arbeitswerkzeuge, Lager usw. darf nicht so weit führen, daß die dadurch in den Bauteilen auftretenden Spannungen die Festigkeit der Bauteile überschreiten, da sonst die Betriebstauglichkeit in unzulässigem Maße gemindert ist. Auch diese Tatsache kann zur Festlegung der Verschleißgrenzen herangezogen werden.

Beispielsweise erhöht sich nach STROPPEL [4] die erforderliche Antriebsleistung eines Mähwerkes mit zunehmender Abstumpfung der Mähmesserklängen bedeutend. Nach etwa 20 h Mähzeit in Roggen ist bei einer Mähmesserklänge aus Stahl C 85 WS mit einer Härte von 680 bis 800 HV die erforderliche Antriebsleistung so weit gewachsen, daß sie von den Getrieben nicht mehr übertragen werden kann. Der Verschleißzustand, der an diesem Punkt vorliegt, entspricht einem Schneidenrückgang von 60 bis 150  $\mu\text{m}$  je nach Abstand von der Klingenspitze gemessen.

### 3.5 Sonstige Verfahren zur Festlegung der Verschleißgrenzen

Über die hier angegebenen Möglichkeiten hinaus können noch andere Faktoren des Maschinenbetriebes zur Festlegung der Verschleißgrenzen herangezogen werden, so z. B.:

die Arbeits- bzw. Nutzleistung der Maschine

Aus der Nutzleistung eines Verbrennungsmotors lassen sich beispielsweise Schlüsse auf den Verschleißzustand der Kolben, Kolbenringe und Laufbüchsen ziehen.

die Wirtschaftlichkeit der Maschine

Die Wirtschaftlichkeit eines Schleppers wird beispielsweise u. a. durch den vom Zylinderverschleiß bestimmten Ölverlust bestimmt.

die Arbeitsgüte der Maschine

Auch die Arbeitsgüte kann zur Festlegung der Verschleißgrenzen benutzt werden. Die Güte der Druscharbeit einer Dreschtrammel wird beispielsweise bei richtiger Einstellung der Maschine durch den Verschleißzustand der Schlagleisten bestimmt.

Gesichtspunkte des Arbeitsschutzes

Der zulässige Verschleiß von Lenkungsteilen an Fahrzeugen wird z. B. durch die erforderliche Verkehrssicherheit bestimmt.

die Wiederaufarbeitbarkeit von Verschleißteilen.

Die Möglichkeit der Wiederaufarbeitung der Verschleißteile durch Aufschweißen oder Spritzmetallisieren bestimmt die Verschleißgrenze, da u. a. die auftragbare Schichthärte durch die Festigkeit des Restquerschnittes und durch die Technologie der Aufarbeitung bestimmt wird.

In vielen Fällen, in denen sich die angeführten Faktoren nicht zur Festlegung der Aussonderungsgrenzen anwenden lassen, können zu deren Festlegung andere Wege gegangen werden. Diese anderen Verfahren beruhen zwar auf Erfahrungswerten, wobei aber subjektive Einflüsse weitgehend auszuschalten sind. Es wird eine Vielzahl von Schadensfällen (z. B. gebrochene Teile) untersucht, wobei man Verschleißzustand und Schadensursache feststellt. Aus den Ergebnissen dieser Unterlagen läßt sich dann der zulässige Verschleiß festlegen, womit weitere solche Schadensfälle vermieden werden können. Hinsichtlich der Anzahl der erforderlichen Verschleißwerte, die zur Festlegung eines genügend genauen Grenzmaßes erforderlich sind, gelten die in 2 angestellten Betrachtungen.

#### 4 Schlußbetrachtung

Die Festlegung der Verschleißgrenzen wird dadurch erschwert, daß der Verschleiß den wechselnden Betriebsbedingungen zu stark unterliegt, weshalb der zeitliche Ablauf des Verschleißprozesses nicht exakt erfassbar ist. Wenn Kennwerte für den Verschleißverlauf

ermittelt werden, so können es nur Mittelwerte aus einer Vielzahl von Meßwerten sein. Die angestellten Betrachtungen zeigen an mehreren Beispielen, daß es Möglichkeiten gibt, die Verschleißgrenzen zu bestimmen. Die Betrachtungen sollen den Herstellern von Landmaschinen helfen, dem Maschinenbenutzer Verschleißgrenzen zur Verfügung zu stellen.

#### Literatur

- [1] KISELJEW, J. J.: Leistungsreserven im Maschinen- und Traktorenpark. Deutscher Bauerverlag, Berlin 1954.
- [2] KASARZEW, W. I.: K experimentalnoi prowerke nekotorich poloschenii gidrodinamitscheskoj teorii smaski. (Zur experimentellen Prüfung einiger Erkenntnisse der hydrodynamischen Schmiertheorie). Mechanisazija i elektrifikazija sozialistitscheskogo selskogo chosjaistwa. Moskwa (1957) H. 5, S. 16 bis 20.
- [3] WOLGIN, I. W.: Obosnowanie wibrakowotschnich prisaskow traktor-nich schesteren. (Die Begründung der Aussonderungsmerkmale bei Schlepperzahnradern). Mechanisazija i elektrifikazija sozialistitscheskogo selskogo chosjaistwa. Moskwa (1958) H. 3, S. 29 bis 32.
- [4] STROPPEL, Th.: Studien über den Verschleiß von Schneiden. Grundlagen der Landtechnik. Düsseldorf (1953) H. 5, S. 134 bis 144.

A 3700

ng. R. OSTERMAIER, KDT, Technischer Leiter der MTS Putlitz

## Ersatzteile – immer noch Schwerpunkt?

Sehr oft ist im Zusammenhang mit dem Einsatz der Technik von Ersatzteilen für Landmaschinen, Fahrzeuge und Traktoren die Rede. Die hier schon seit Jahren bestehenden Schwierigkeiten konnten bisher noch nicht zur Zufriedenheit der MTS und LPG gelöst werden, obwohl sich schon einiges verbessert hat, wie z. B. die Unterstellung der Bezirkskontore unter die Leitung der VVB Landmaschinen- und Traktorenbau. Diese Verbesserungen in der Produktion und in der Organisation des Ersatzteilwesens haben aber keineswegs mit der Entwicklung Schritt halten können. Damit in der „saisonbedingten landwirtschaftlichen Produktion“ keine Stockungen und dadurch Ertragsminderungen und Ersatzteilverluste entstehen, sind deshalb weitere Maßnahmen unbedingt erforderlich.

#### Zunächst einiges zum Reparaturablauf

Bisher wurden alle Landmaschinen und Traktoren nach der althergebrachten handwerklichen Methode repariert. Dazu ist eine laufende Versorgung mit Ersatzteilen über das ganze Jahr notwendig, da die ersten Maschinen nach der Kampagne repariert werden und die letzten erst kurz vor Kampagnebeginn. Auf Grund der vorhandenen großen Stückzahlen gleichartiger Maschinen ist eine Arbeitsteilung und Zusammenfassung der Maschinen sehr vorteilhaft. Deshalb ist allen MTS die Einführung der Stationären Fließmethode bei der Reparatur von Landmaschinen zur Pflicht gemacht worden. Dieser Faktor muß bei der Organisation der Ersatzteilversorgung berücksichtigt werden.

Bei den Traktoren liegen die Verhältnisse anders. Hier richtet sich der Zeitpunkt der Überholung oder Reparatur nach dem Kraftstoffverbrauch. Bis auf die saisonbedingten Traktoren (RS 08, evtl. auch KS 07) kann hier kaum eine Typenteilung erfolgen. Auch die Einrichtung eines Fließbands ist nicht rentabel, da hier die Stückzahlen zu klein sind und das Band nicht ausgelastet werden könnte. Es muß also jede MTS laufend mit den notwendigen Ersatzteilen für jeden Typ versorgt werden. – Der vorhandene Transportpark wird saisonbedingt überholt. Bei der Stationären Fließmethode handelt es sich um eine industrielle Instandsetzungsmethode, die mit Arbeitsteilung verbunden ist. Eine reibungslose Ersatzteilversorgung ist dabei von besonderer Bedeutung. Da bei ihrer Anwendung von einer MTS jeweils nur Ersatzteile für ein oder zwei Maschinentypen benötigt werden, während andere zu anderen Zeitpunkten notwendig sind, scheitert an diesem Umstand oftmals die reibungslose Versorgung mit Ersatzteilen. Natürlich kann die Industrie nicht alle Mengen einer Ersatzteilsorte auf einmal liefern. Wäre dieses der Fall, dann gäbe es in den MTS kaum Schwierigkeiten, vorausgesetzt, daß das Reparaturprogramm im Bezirksmaßstab nach einem Plan organisiert abläuft. Bei sehr vielen Maschinen läßt sich ein derartiger Reihenfolgeplan aufstellen. Darin muß festgelegt werden, welche MTS z. B. mit der Binderreparatur beginnt und welche die letzte ist. Verfährt man in allen Bezirken so, dann wird auch die Ersatzteilversorgung besser. Ausgeschlossen davon sind Geräte, die bis spät in den Herbst und dann wieder im zeitigen Frühjahr benötigt werden, wie z. B. Pflüge, Scheibeneggen, Düngerstreuer usw. Alle Ersatzteile müssen im Rahmen des Winter-Reparaturprogramms geliefert werden, da während der Kampagne die Traktoristen für die Reparatur nicht ver-

fügbar sind. Für die Durchführung der Stationären Fließmethode steht im allgemeinen nur die Zeitnorm 15. Dezember bis 30. März, also rund 3,5 Monate zur Verfügung. In diesem Vierteljahr werden nun sämtliche Ersatzteile für die Grundüberholung aller landwirtschaftlichen Maschinen und Geräte benötigt. Mit diesem Termin sind die Industriebetriebe bisher noch nicht fertig geworden. In der Praxis wirkt sich das dann so aus, daß notwendige Ersatzteile fehlen, ganze Maschinengruppen zurückgestellt und dann nicht rechtzeitig fertig werden. Die Arbeitskräfte waren andererseits im Winter nicht voll ausgelastet.

Bei der Ersatzteilproduktion ist auch noch eine Lücke bei den Norm- und DIN-Teilen, für die sich bisher noch niemand verantwortlich fühlte. Aber gerade diese Teile sind für den kontinuierlichen Ablauf der Stationären Fließmethode sehr wichtig. Außerdem kostet das „Schnurrenfahren“ viel Zeit und Aufwand, denn das Material wird ja gebraucht und muß deshalb auch herangeholt werden.

Was uns weiter mißfällt ist, daß der Transportpark der MTS zu schlecht berücksichtigt wird. Für LKW, Anhänger, oder auch Kräder, z. B. Ersatzteile zur technischen Überprüfung zu bekommen, ist direkt ein Kunststück. Jede MTS fährt quer durch die Republik, um derartige Ersatzteile zu bekommen. Dabei werden oftmals für LKW und Kräder nur Kleinigkeiten, wie Speichen, Schraubbuchsen für H3A usw. benötigt. Die Grundüberholungen entfallen ohnehin schon auf die dafür vorgesehenen Instandsetzungsbetriebe.

Das Problem Anhängerersatzteile bedarf der schnellsten Klärung. Die Forderung der Praxis geht dahin, die Teile für H3A und Anhänger unbedingt über das Bezirkskontor (BK) den MTS zur Verfügung zu stellen. Viele aufwendige Fahrten könnten dann erspart bleiben.

Beeinflußt wird die Ersatzteilversorgung auch noch durch die Art der Vorbereitung der Reparaturkampagne durch die einzelnen MTS und MTS-Reparaturbetriebe. Die Stationäre Fließmethode erfordert auf Grund der Fließarbeit und der Arbeitsteilung eine Ermittlung des Ersatzteilbedarfs im voraus. Dazu dient als erstes die Abstellordnung für Landmaschinen und Geräte der MTS, VEG und LPG, die im Bezirk Potsdam Bestandteil der Pflegeordnung für Traktoren und Landmaschinen geworden ist. Sie wurde durch ein Kollektiv technischer Leiter im Rahmen der KDT-Arbeit geschaffen und auch eingeführt. Diese Abstellordnung legt neben vielen Pflege- und Konservierungsmaßnahmen auch die Termine der Abstellung der Maschinen, der Abgabe der Protokolle und den Bestelltermin für Ersatzteile an das BK fest. Da auf den Abstellprotokollen alle defekten Teile (keine Hauptverschleißteile) aufgeführt sind, ist der Station der Bedarf an solchen Teilen bekannt. Der annähernde Verbrauch an Hauptverschleißteilen geht aus den Materialkarteikarten im Ersatzteillager hervor. Es ist ratsam, sich Ersatzteilkennziffern nach dem Koeffizienten Stück/Gerät/Jahr oder Stück/Gerät/ha usw. zu schaffen, die in Verbindung mit der Anzahl der zu reparierenden Maschinen den gesamten Reparaturbedarf ausweisen. Sind diese beiden Werte vorhanden, so kann unter Berücksichtigung des Lagerbestandes die Bestellung der Ersatzteile an das BK erfolgen. In der Abstellordnung sind zwei Bestelltermine enthalten, wovon der erste die statistisch zu ermittelnden Hauptverschleißteile und der zweite