

digungen auf die Funktion des Kettengetriebes detailliert wieder. Gleichzeitig werden verstärkende Rückwirkungen und Wechselwirkungen auf den Komplex der Einflußfaktoren sichtbar.

#### 4. Schlußfolgerungen

Für Rollenkettengetriebe des Landmaschinenbaus bestimmt primär der Verschleiß in den Kettengelenken und an den Kettenradzähnen die Grenznutzungsdauer des Rollenkettengetriebes. Beide Schädigungen führen schließlich zum Ausfall des Getriebes (s. Bild 5, Ausfall 2 und 3). Deshalb lassen sich unter Beachtung der komplexen Zusammenhänge des „Wirkungsmechanismus der Schädigungen“ folgende wichtige Schlußfolgerungen zur Erhöhung der Grenznutzungsdauer von Rollenkettengetrieben ziehen:

- Der Schmierung und der Konservierung von Rollenketten sind unter Einsatzbedingungen der Landmaschinen besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Durch eine Schmierung wird der Reibungs- und Korrosionsverschleiß der Rollenketten, aber auch der Verschleiß der Kettenräder entscheidend verringert. In der Schmierung und Konservierung liegen beachtliche Reserven zur Senkung des gegenwärtig hohen Ersatzteilbedarfs an Rollenketten und damit zur Erhöhung der Materialökonomie.
- Von der Konstruktion ist der Einfluß wichtiger konstruktiv-geometrischer Größen auf den Verschleiß zu beachten. Vor allem sollten kleine Zähnezahlen bei Ket-

tengetrieben wegen ihrer starken verschleißerhöhenden Wirkung (Polygoneffekt) vermieden werden.

In der Nutzungsdauerberechnung sind die Schmierperioden mit zu berücksichtigen und dem Nutzer vorzugeben, der auf die regelmäßige Einhaltung der Schmierperioden unbedingt achtet.

Um die Auswirkungen dynamischer Belastungen zu verringern, ist anzustreben, den gesamten Fluchtungs- und Rundlauffehler der Kettenradverzahnung durch bessere Fertigungs- und Montagequalität weitgehend einzuschränken.

- Von den Instandsetzungsbetrieben muß eine Prüfung von Ketten und Kettenrädern hinsichtlich des Schädigungszustands vorgenommen werden. Solange noch keine gesicherten Werte vorliegen, sind die in [9] ermittelten Schädigungsgrenzwerte anzuwenden. Weiterhin müssen Einrichtungen zur einfachen Überprüfung des Fluchtungs- und Rundlauffehlers der Verzahnung bei der Instandsetzung bereitgestellt werden, um eine Realisierbarkeit vorgelegter Begrenzungen zu gewährleisten.
- Bei wissenschaftlichen Untersuchungen an Rollenkettengetrieben sind die Bedingungen der Landtechnik mehr als bisher zu beachten. Das gilt vor allem für die Berücksichtigung des Einflusses der äußeren dynamischen Belastung und der Verschmutzung — bei unterschiedlichen Schmierperioden — auf den Verschleiß. Verfahren zur Bestimmung der Fertigungs- und Mon-

tagetoleranzen sowie der Schädigungsgrenzwerte in Abhängigkeit von Betriebs- und Konstruktionsparametern sind bereitzustellen.

#### Literatur

- [1] Bostelmann, O.: Unsere Reserven liegen in der Instandhaltung. Technische Gemeinschaft (1975) H. 11, S. 14—15.
- [2] Schwedler, A.; Krull, H.: Untersuchung getriebetechnischer Baugruppen an Landmaschinen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik. Großer Beleg 1974 (unveröffentlicht).
- [3] Rachner, H. G.: Stahlgelenkketten und Kettentrieb. Berlin/Heidelberg/Göttingen: Springer-Verlag 1962.
- [4] Worobjew, N. W.: Kettentriebe. Berlin: VEB Verlag Technik 1953.
- [5] Gunkel, M.: Müssen Rollenketten eine Störquelle sein? Dt. Agrartechnik 23 (1973) H. 12, S. 569—571.
- [6] Zech, J.: Beitrag zur Berechnung von Kettengetrieben unter besonderer Berücksichtigung dynamischer Belastungen. TH Karl-Marx-Stadt, Dissertation 1973.
- [7] Metelica, B. Z.: O vlijanii sposoba soedinenij zvezdoček s volami na dolgovečnosti cepnogo privoda sel'chozmašin (Über den Einfluß der Verbindung von Kettenrad und Welle auf die Nutzungsdauer des Kettenantriebs von Landmaschinen). Traktory i sel'chozmašiny (1974) H. 2, S. 35—37.
- [8] Schwedler, A.: Methoden zur Bestimmung der Schadensgrenzen an getriebetechnischen Baugruppen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Studie 1975 (unveröffentlicht).
- [9] Schulze, J.: Untersuchungen zur Ermittlung von Verschleißgrenzen für Kettenräder und Rollenketten. Dt. Agrartechnik 21 (1971) H. 10, S. 451—454. A 1720

## Schadensfälle an vollhydraulischen Lenkssystemen

Dr.-Ing. E. Hlawitschka, KDT/Dipl.-Ing. R. Wosniak, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Bei der Verbesserung der Fahreigenschaften von Landmaschinen und Traktoren gewinnt die Entwicklung neuer Lenkmechanismen immer mehr an Bedeutung. Während man noch bis vor kurzem die Hydraulik nur als Hilfe bei der mechanischen Betätigung der Lenkung nutzte, geht man jetzt mehr und mehr zur vollhydraulischen Lenkung über. Die Gründe dafür sind die geringen erforderlichen Lenkkräfte, die kürzeren Ansprechzeiten sowie die bedeutende Masseinsparung. In den Landmaschinen E 280, E 301 und E 512 sowie im Traktor ZT 303 bewährt sich diese Baugruppe seit Jahren im Praxiseinsatz.

Wie alle hydraulischen Baugruppen unterliegt auch die vollhydraulische Lenkung dem natürlichen Verschleiß. Solche Verschleißerscheinungen an wichtigen hydraulischen Bauelementen der Anlage beeinträchtigen das Lenkverhalten und können zum vollständigen Ausfall der Lenkung führen.

#### Aufbau der vollhydraulischen Lenkung

Im Bild 1 ist der Aufbau einer vollhydraulischen Lenkung dargestellt, wie sie in den o. g. Landmaschinen eingesetzt wird. Anstelle des Arbeitszylinders wird im Traktor ZT 303 ein Hydroschwenkantrieb eingesetzt, der die Längsbewegung des Kolbens sofort in eine Drehbewegung der Antriebswelle umwandelt. Die Übertragung der für die Lenkung erforderlichen Energie von der Zahnradpumpe zum

Arbeitszylinder erfolgt rein hydrostatisch über Rohr- bzw. Schlauchleitungen. Dadurch sind solche vorteilhaften Eigenschaften bedingt wie die hohe Kraftverstärkung bei geringen Handkräften am Lenkrad, die hohe Lenkgenauigkeit aufgrund der geringen Kompressibilität des Hydrauliköls und die frei wählbare Anordnung der Lenkmechanismen innerhalb des jeweiligen Fahrzeugs.

Die wesentlichen Bestandteile des vollhydraulischen Lenksystems sind der Druckstromerzeuger a (in diesem Fall eine Zahnradpumpe), der Druckstromverbraucher b (doppeltwirkender Arbeitszylinder bzw. Hydroschwenkantrieb HST 80), das hydrostatische Lenkaggregat c, das Ölfilter d mit einer Maschenweite von 0,063 mm, der Ölbehälter e sowie das Druckbegrenzungsventil VD 1 und die Rückschlagventile VR 1 und VR 2. Innerhalb des Lenkaggregats befinden sich außerdem zwei weitere Rückschlagventile (Schockventile), die dem Abbau eventueller Stoßbeanspruchungen von außen dienen.

Die vom Fahrzeugmotor angetriebene Zahnradpumpe saugt das Betriebsmedium aus dem Ölbehälter an und fördert es zum Lenkaggregat. Dieses ist direkt mit dem Lenkrad über die Lenksäule verbunden. Bei unbetätigter Lenkung fließt das Hydrauliköl drucklos durch das Lenkaggregat in den Ölbehälter zurück. Im eigentlichen Servolenkbetrieb wird bei Betätigung des Lenkrades durch den Verdränger ein

dem Lenkraddrehwinkel proportionales Öl-volumen vom Eingangsstrom des Lenkaggregats abgezweigt und unter Druck dem Lenkzylinder zugeführt, so daß dort die Lenkbewegung ausgelöst wird.

#### Verschleißerscheinungen an spielausgeglichenen Zahnradpumpen

Mit Hilfe der Zahnradpumpe wird am Eingang des Lenkaggregats ein konstanter Förderstrom zur Verfügung gestellt, der eine gewisse Mindestgröße nicht unterschreiten darf. Beim Unterschreiten dieses Grenzwerts kann ein notenkähnliches Verhalten des Lenksystems auftreten, so daß die Servounterstützung nicht mehr in der geforderten Größe wirksam ist und das Handlenkmoment spürbar ansteigt. An einer größeren Stichprobenzahl von Zahnradpumpen des Typs ZPS A 16 wurden Verschleißuntersuchungen durchgeführt, die als Grundlage zur Ermittlung des Einflusses der Leckverluste im Axial- und Lagerspalt beim Fördervorgang dienen sollen. Diese Untersuchungen können als Ergänzung zu den bereits von Hlawitschka [1] vorgelegten Ergebnissen am Radialspalt von spielausgeglichenen Zahnradpumpen angesehen werden. Die durch den Axial- und Lagerspalt hervorgerufenen Leckverluste verringern den effektiven Förderstrom von Zahnradpumpen und hängen entscheidend von den Spaltabmessungen ab.

Für die den Axialspalt bildenden Lagerbuchsen-

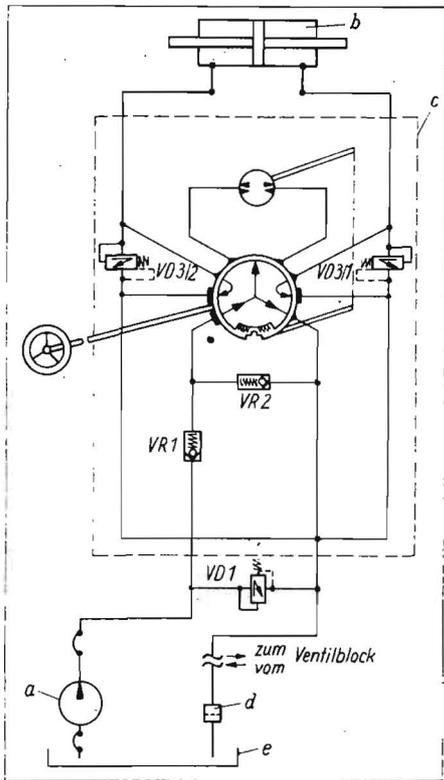


Bild 1. Schaltbild einer vollhydraulischen Lenkung; a Zahnradpumpe ZPS A 16, b Arbeitszylinder, c Servo-Handlenkaggregat, d Ölfilter, e Ölbehälter

Tafel 1. Prozentuale Anteile der einzelnen Schadensfälle an 34 untersuchten Zahnradpumpen

Schadensfall	Anteil %
totaler Flächenverschleiß der Lagerbuchsenlaufflächen	32,0
partieller Flächenverschleiß der Lagerbuchsenlaufflächen (saugseitig)	23,5
partieller Flächenverschleiß der Lagerbuchsenlaufflächen (druckseitig)	11,7
Flächenverschleiß der Ritzel an der Stirnseite der Zähne	82,3
Grundkreisverschleiß an der Lagerbuchsenlauffläche	64,7
Grundkreisverschleiß an der Stirnseite der Ritzel	91,0
Schlagkerben an den Buchsennasen	15,0
Riffenverschleiß an den Lagerbuchsenlaufflächen	5,0
Riefen an der Buchsenmantelfläche	70,0
Gleitlagerverschleiß an den Lagerbuchsenbohrungen	31,0
Wellenzapfenverschleiß	18,0

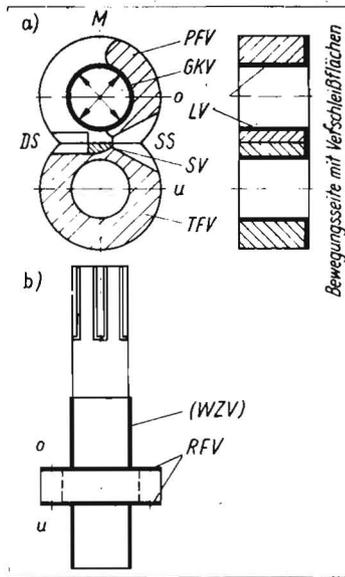
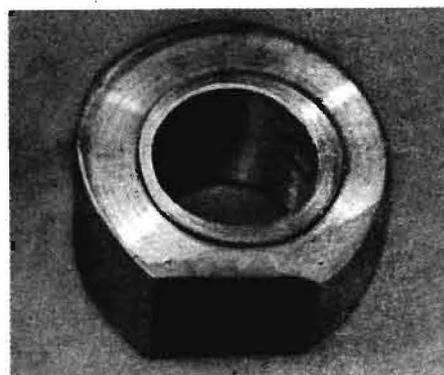


Bild 2. Verschleißstellen an Lagerbuchsen (a) und Ritzelwelle (b) axialspielausgeglichener Zahnradpumpen des Typs ZPS A 16; a antriebsseitig, u ritzelseitig, SS Saugseite der Pumpe, DS Druckseite der Pumpe, M Buchsenmitte, PFV partieller Flächenverschleiß, TFV totaler Flächenverschleiß, GKV Grundkreisverschleiß, SV Sichelverschleiß, LV Lagerverschleiß der Buchsen, RFV Ritzelflächenverschleiß, (WZV) Wellenzapfenverschleiß

und Ritzelstirnseiten wurden folgende Schadensfälle bzw. Schadenserscheinungen festgestellt (s. a. Bild 2):

- Flächenverschleiß an den Laufflächen der Lagerbuchsen (Bild 3)
- Flächenverschleiß an den Laufflächen der Ritzel
- Grundkreisverschleiß an den Laufflächen der Ritzel und Lagerbuchsen

Bild 4. Aufbau des Lenkaggregats 80-12 (TGL 21 534); a Gehäuse, b innerer Rotationsschieber, c äußerer Rotationsschieber, d Zahnring mit Rollen, e Verdrängerrad, f Füllstück, g Antriebswelle, h Sechskantschraube, i Deckel, k Anlaufscheibe, l Rückschlagventil, m Stift, n Dichtring

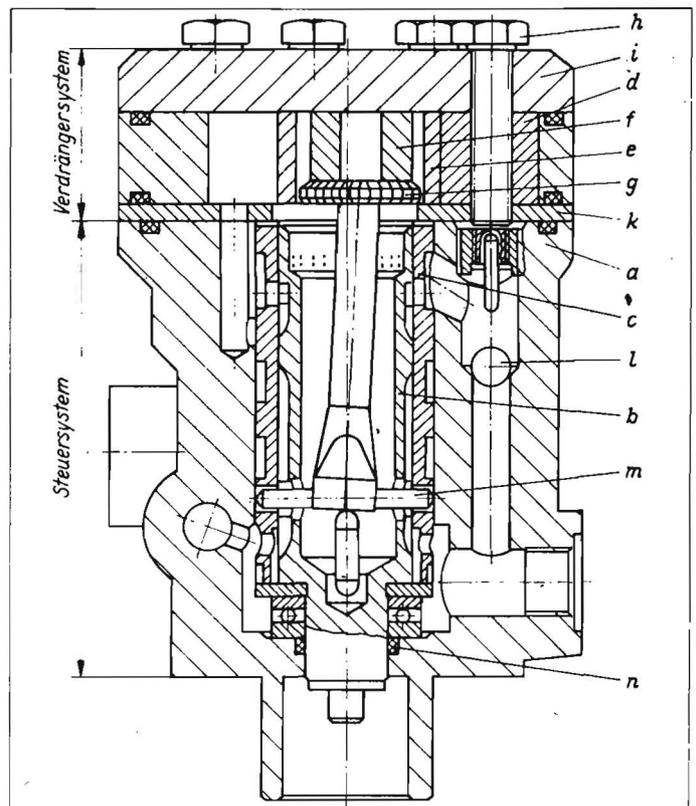


Bild 3. Totaler Flächenverschleiß an der Lauffläche einer Lagerbuchse der Zahnradpumpe ZPS A 16

- „Sichelverschleiß“ an den Laufflächen der Lagerbuchsen
- Schlagkerben an den Buchsennasen
- Riefen in den Laufflächen der Lagerbuchsen.

Weiterhin wurde an mehreren Pumpen eine Verringerung des Bohrungsdurchmessers der Gleitlagerbuchsen festgestellt. Hierzu hat offenbar die Umverlagerung der zur Verbesserung der Laufeigenschaften aufgetragenen Zinnschicht beigetragen, die in einzelnen Fällen zum Festfressen der Wellenzapfen im Lager führte. Die einzelnen Schadensfälle haben die in Tafel 1 aufgeführten Anteile.

Der Flächenverschleiß an den Lagerbuchsen- und Ritzelstirnseiten und dessen Einfluß auf die Höhe der Leckverluste ist in weiteren Untersuchungen zu betrachten. Neben anderen Schäden kann dieser in extremen Fällen zum Ausfall des Spielausgleichs der Zahnradpumpe führen und damit die Wirkung eines wichtigen Funktionsprinzips aufheben. Aus ersten Hypothesen über den Wirkmechanismus der Schädigung in spielausgeglichenen Zahnradpumpen muß abgeleitet werden, daß vor allem die Einlagerung von Schmutzteilen zwischen Lagerbuchsenmantelfläche und Gehäusebohrung eine entscheidende Ursache für die erwähnten Verschleißerscheinungen darstellt [2]. Daneben bewirken mechanische Verunreinigungen des Hydrauliköls in jedem Fall einen raschen Verschleißfortschritt in allen anderen Paarungen. Deshalb muß an die Betreiber von Hydraulikanlagen appelliert werden, die Pflege- und Wartungsmaßnahmen sorgfältig und gewissenhaft durchzuführen und die erforderlichen Ölwechselintervalle strikt einzuhalten, um den geforderten Reinheitsgrad des Betriebsmediums zu gewährleisten.

### Schadensfälle am hydrostatischen Lenkaggregat

Eine Reihe von Verschleißerscheinungen an hydraulischen Bauelementen des Lenkaggregats (Bild 4) wirkt sich spürbar auf das Lenkverhalten des Fahrzeugs aus. Der Ver-

Tafel 2. Verschleißerscheinungen am Lenkaggregat, deren Ursachen und Auswirkungen

Verschleißerscheinung	Ursache	Auswirkung
Verschleiß im Spalt zwischen äußerem und innerem Rotationsschieber	verschmutztes Betriebsmedium bzw. verschlissene äußere Abdichtung des Lenkaggregats	Federkraft der Druckfeder reicht nicht mehr für die Rückstellung des äußeren Rotationsschiebers aus
innerer Rotationsschieber verklemmt im äußeren Rotationsschieber	von der Lenksäule werden Querkräfte auf den inneren Rotationsschieber aufgebracht	Ölstrom ist nicht mehr proportional der Lenkraddrehung („lenkt selbst“)
Verschleiß zwischen Gehäuse und äußerem Rotationsschieber	verschmutztes Öl	erhöhte innere Leckverluste, schnellere Lenkradbetätigung nötig
Verschleiß zwischen Verdrängerrad und Rollen	typischer Berührungsverleiß, aber auch Fertigungsungenauigkeiten oder Nichteinhaltung der Härtevorschriften	erhöhte innere Leckverluste, schnellere Lenkradbetätigung nötig
Abrieb am Verdrängerrad und an den Rollen (Pittingbildung)	hohe Hertz'sche Pressung an den Abrollflächen, Fragen der Balligkeit der Verzahnung	erhöhte innere Leckverluste und Verschmutzung des Öls („Glitzereffekt“)
Verschleiß zwischen Gehäuse und Verdrängersystem und Stirnseite des Verdrängerrades	durch ungleiche Schraubenanzugsmomente erfährt der Deckel eine Durchbiegung, an deren extremer Stelle sich beide Verschleißpartner berühren	erhöhte innere Leckverluste
Verschleiß am Rückschlagventil	Ausschlagen des Kegelsitzes durch ständige Drucksitzen (auch bei unsachgemäßer Fahrweise), Rundringe verschlissen (auch Abscherung bei Montage)	Druckspitzen vom Lenkzylinder können nicht mehr abgebaut werden, Gefahr für das Lenkaggregat und Stoßmomente am Lenkrad
Verschleiß an allen bewegten Teilen	Lenken bei extrem niedrigen Außentemperaturen (warmes Hydrauliköl im kalten Lenkaggregat): „Temperaturschock“	erhöhte innere Leckverluste

schleiß im Steuersystem, im Verdrängersystem und an den Kegelsitzen der Rückschlagventile beeinflusst die hier auftretenden Leckverluste sowohl im Servo- als auch im Notlenkbetrieb. Tafel 2 enthält eine Übersicht über die häufig auftretenden Verschleißerscheinungen am Lenkaggregat, wobei gleichzeitig versucht wurde, deren Ursachen und Auswirkungen anzugeben. Die genannten Auswirkungen der Schäden werden besonders im Notlenkbetrieb spürbar, weil das Lenkaggregat praktisch dann als Pumpe arbeitet und erhöhte Druckdifferenzen auftreten.

#### Schadensfälle am Hydroschwenkantrieb

In diesem Beitrag werden nur die Schäden an den Bauelementen genannt, die unmittelbar die Hydraulikeinheit des Lenkaggregats bilden. Ein typischer Schadensfall am Hydroschwenkantrieb des Traktors ZT 303 beeinflusst besonders das statische Verhalten der Lenkung dieses Traktors: das Herausdrücken der Dichtringe aus der im Kolben angebrachten Nut (Bilder 5 und 6). Diese Schadenserscheinung führt dazu, daß im druckbeaufschlagten Zylinder bei

längerem Lenkeinschlag (Kurvenfahrt) der Kolben langsam in seine Ausgangslage zurückgeht. Diese so verursachte Instabilität des Lenkvorgangs kann zur folgenschweren Beeinträchtigung des Fahrverhaltens des Traktors führen.

Das Ausstülpen der Dichtringe aus der Nut im Kolben ist auf deren „Pumpwirkung“ während der Hubbewegung des Kolbens zurückzuführen. Hierbei wird im Ringspalt der Kolbenführung ein hoher Überdruck („Schleppdruck“) aufgebaut, der zum Herauspressen der Dichtringe aus der Nut am Kolbenende führen kann [3]. Dichtringe in diesem Zustand haben dann nur noch eine kurze Lebensdauer, da sie zwischen den sich bewegenden Flächen sehr rasch zerrieben werden. Dieser typische Schadensfall ist an nahezu der Hälfte aller zur Instandsetzung angelieferten Hydroschwenkantriebe festzustellen.

Andere Schadensfälle, die auf unsachgemäße Fahrweise zurückgeführt werden können, treten besonders am Gehäuse und an der Lenkwelle auf. Die Folge starker Stoßbean-

spruchungen beim Überfahren von großen Hindernissen, harten Kanten usw. sind Risse und Gewaltbrüche.

#### Zusammenfassung

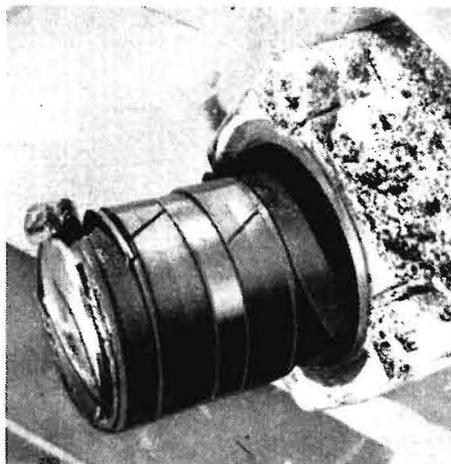
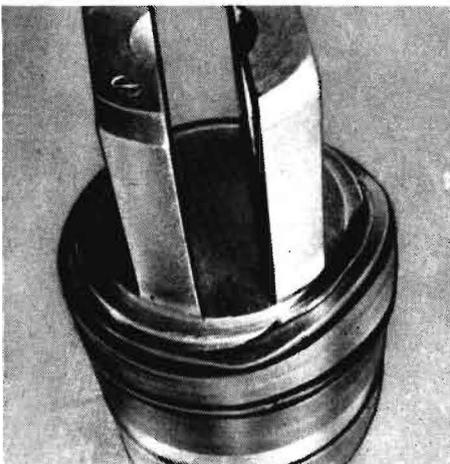
Das vollhydraulische Lenksystem besteht aus Bauelementen, die dem Verschleiß unterliegen.

In Ergänzung zu den von Hlawitschka [1] angegebenen schadensanalytischen Untersuchungen für den Radial- und Gleitlagerspalt von axialspielausgeglichenen Zahnradpumpen werden Erkenntnisse zu Verschleißerscheinungen im Axialspalt wiedergegeben. Auf den Zusammenhang zwischen guter Pflege und Wartung und Verschleiß wird hingewiesen. Neben den Informationen über Verschleißerscheinungen an Bauteilen des hydrostatischen Lenkaggregats werden deren Ursachen und Auswirkungen genannt.

Als typischer Schaden an hydraulischen Bauelementen des Hydroschwenkantriebs wurde das Ausstülpen der Dichtringe aus den Nuten festgestellt, das als Folge des hohen „Schleppdrucks“ bei der Hubbewegung auftritt.

Bild 5. Aus der Kolbennut gepreßter Dichtring als Folge der Pumpwirkung im Arbeitszylinder des Hydroschwenkantriebs

Bild 6. Zwischen Kolbenwand und Kolben zerriebener Dichtring am Hydroschwenkantrieb



#### Literatur

- [1] Hlawitschka, E.: Schadensanalytische Untersuchungen an Zahnradpumpen. agrartechnik 26 (1976) H. 9, S. 424—426.
- [2] Wosniak, R.: Untersuchungen zur Bestimmung der Schädigungsgrenzen an hydraulischen Lenkgetrieben. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Studie 1977 (unveröffentlicht).
- [3] Wosniak, R.: Schadensanalytische Untersuchungen an Hydroschwenkantrieben. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1976 (unveröffentlicht) A 1713