

Verfahren zur Überprüfung des Verschleißzustands der Kurbelwellenlagergruppe von Fahrzeugdieselmotoren

Dr.-Ing. H.-H. Maack, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

1. Problemstellung

Das Kurbelgetriebe von Dieselmotoren ist die wichtigste Baugruppe zur Umwandlung der durch Verbrennung freigesetzten thermischen Energie in mechanische Bewegungsenergie. Neben der Pleuellager-Gruppe sind die Pleuellager, d. h. die Hauptlager und die Pleuellager, relativ starken Abnutzungserscheinungen im Motorbetrieb unterworfen. Störungen und Schäden an dieser wichtigen Baugruppe ziehen meist einen längeren Ausfall des Motors und damit des Arbeitsmittels oder gar einer ganzen Maschinenkette nach sich.

Während für die Überprüfung des Verbrennungskomplexes verschiedene anwendungsbereite Verfahren vorliegen [1], z. B. die Messung von Leistung, Rauchgasdichte, Durchblasmaenge, Kompressionsdruck und Ölverbrauch, wird für die Überprüfung des Schmierölkreislaufs lediglich das Öldruckmeßverfahren genannt.

Im folgenden sollen die Probleme bei der Lagerspieldiagnose für die Kurbelwellenlagergruppe von Dieselmotoren dargelegt und ein neues Verfahren vorgestellt werden. Die Ausführungen beschränken sich auf solche Verfahren, die möglichst schnell ohne großen Untersuchungs- und Entwicklungsaufwand im landtechnischen Prüfwesen angewendet werden können.

2. Lagerspieldiagnose mit Hilfe der Öldruckmessung

Bei modernen Dieselmotoren wird zur Vermeidung von Verschleiß fast ausschließlich die Druckumlaufschmierung angewendet. Im Bild 1 ist schematisch der Aufbau eines solchen Schmiersystems dargestellt. Die Ölversorgung der einzelnen Lagerstellen wird zwangsläufig über eine Zahnradölpumpe und ein entsprechendes Leitungs- bzw. Kanalsystem realisiert. Zur Reinigung, Kühlung sowie zum mechanischen Schutz der Bauteile sind je nach Motortyp Armaturen in den Kreislauf eingeschaltet, so daß sich ein mehrfach verzweigter Kreislauf ergibt. Die sich im Schmierölkreislauf einstellenden Parameter Öldruck und Ölstrom bilden sich als Gleichgewichtszustand zwischen den Förderdaten der Ölpumpe und der Drosselwirkung der einzelnen Lagerspalte sowie der vorhandenen Armaturen heraus.

Wenn alle auf den Kreislauf einwirkenden Faktoren konstant gehalten werden können, läßt sich der vor den Lagerstellen einfach zu messende Öldruck eindeutig dem über der Nutzungsdauer veränderlichen mittleren Lagerspiel zuordnen. Dieser Sachverhalt kann mit der hydrodynamischen Schmiertheorie für Gleitlager theoretisch begründet werden und ist experimentell von Thum [2] für ältere Typen von Traktorenmotoren nachgewiesen worden. Das gilt auch für die gegenwärtig in großer Stückzahl in Fahrzeugen und Landmaschinen eingesetzten modernen Dieselmotoren der Typenreihe VD 14,5/12-1 SRW [3][4].

Bei der praktischen Realisierung der Öldruckmessung und deren Bewertung treten jedoch einige Schwierigkeiten auf, die zu einer starken

Einschränkung der Aussagekraft dieses Verfahrens führen:

- Durch den Öldruck wird nur ein mittlerer (summarischer) Verschleiß signalisiert.
- Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist der gleichmäßige Verschleiß von Pleuel- und Hauptlager. Vorzeitige Spielvergrößerung der Hauptlager führt zu Fehldiagnosen.
- Der Öldruck ist stark drehzahl- und temperaturabhängig, so daß ein bestimmtes Meßregime eingehalten werden muß bzw. nachträglich Korrekturen notwendig sind.
- Veränderungen des Öldrucks können auch durch Ölpumpenschleiß bzw. durch anormale Funktion der vorhandenen Armaturen (Ventile, Filter, Leitungen) verursacht werden.
- Die Wirkung der einzelnen Störfaktoren ist bei verschiedenen Motortypen nicht einheitlich und erfordert jeweils spezielle Untersuchungen.
- Durch das vorhandene kreislaufinterne Druckregelventil wird der Öldruck in einem weiten Bereich unabhängig vom vorhandenen Lagerspiel auf einen konstanten Wert geregelt, so daß die Durchführung des Verfahrens durch notwendige Eingriffe in den Schmierölkreislauf (Überprüfung bzw. Blockierung der Druckregelventile, Abschaltung von Nebenschläufen) erschwert wird.
- Die Verwendung von bereits gelaufenen und von neuen Schmierölpumpen im Instandsetzungsprozeß des Motors führt nach [2] zu Fehlaussagen auch bei entsprechend vorbereiteten Ölkreisläufen.

Wenn trotzdem die Öldruckmessung zur Überprüfung der Lagergruppe von Dieselmotoren vorgeschlagen wird, so beruht das vor allem darauf, daß hierbei eine meßtechnisch relativ einfach zu ermittelnde Größe erfaßt werden kann, die ohnehin über das Betriebsmanometer angezeigt wird und somit auf Richtigkeit hinsichtlich eines vorgeschriebenen Minimalwerts zu kontrollieren ist. Dieser Mindestöldruck ist zur Aufrechterhaltung der Motorschmierung erforderlich und muß unabhängig von den anzuwendenden Diagnoseverfahren überprüft werden.

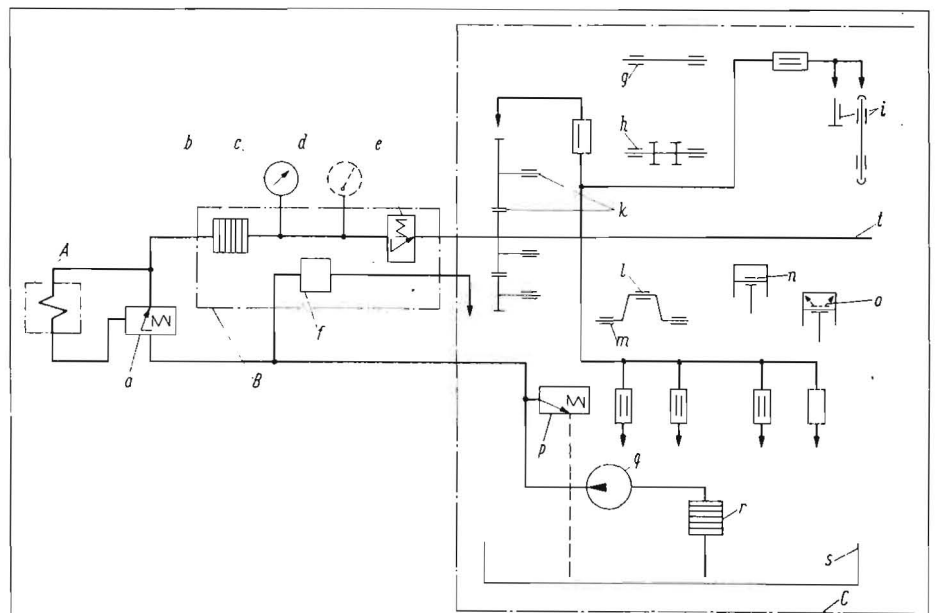
3. Lagerspieldiagnose mit Hilfe der Ölstrommessung

Für praktische Belange hat sich neben der Öldruckmessung die Erfassung des durch die Lager hindurchgesetzten Ölstroms als brauchbare Diagnosemethode herausgestellt. Grundsätzlich ergeben sich dabei die gleichen Nachteile wie beim Öldruckmeßverfahren, d. h., alle am Schmierölkreislauf angeschlossenen Lagerstellen und Armaturen (Ölpumpe, Filter, Ventile, Spritzdüsen u. a.) sowie die Betriebsparameter (Drehzahl, Belastung, Ölviskosität, Temperatur) können die Ergebnisse beeinflussen.

Vorteile werden erst dann erzielt, wenn die Ölversorgung des Motors mit konstantem Speisedruck erfolgt. Dazu muß aber der Motorölkreislauf geöffnet und meist an ein externes Versorgungssystem angeschlossen werden, ohne die Motorschmierung zu gefährden. Der Einspeisungspunkt für den definierten Ölstrom muß so nahe wie möglich an den Lagerstellen liegen, damit der Einfluß eventuel-

Bild 1. Schema des Ölkreislaufs der Dieselmotoren-Typenreihe VD 14,5/12-1 SRW;

A Öl-Wasser-Wärmetauscher, B Ölfilterkombination, C Motorgehäuse, a Umgehungsventil für Wärmetauscher, b Feinsiebfilter, c Öldruckmanometer, d Fernthermometeranschluß, e Druckregelventil, f Rotations-Ölfilter, g Kipphebelwelle, h Nockenwelle, i Ventil- und Stoßführung, k Steuerräder, l Pleuellager, m Hauptlager, n Kolbenbolzenlager, o Spritzdüsen, p Pumpenschutzventil, q Zahnradölpumpe, r SiebkorbfILTER, s Ölwanne, t Hauptölkanal



ler Verzweigungen und anderer Armaturen ausgeschaltet werden kann. Da bei den derzeitigen Motorkonstruktionen die Lagerversorgungssysteme im einzelnen von außen nicht zugänglich sind, bleibt nur die Öffnung des Ölhauptkanals als im Augenblick günstigste Anschlußmöglichkeit, soweit sie konstruktiv überhaupt nach außen geführt ist.

Eine Variante des Ölstrommeßverfahrens wurde bereits von Thum [2] erprobt. Der prinzipielle Aufbau des dazu benutzten Geräts und der Anschluß an den Motor gehen aus dem Schaltplan (Bild 2) hervor. Der störende Einfluß der Ölpumpe wurde ausgeschaltet, indem die Versorgung des Kreislaufs während des Meßvorgangs von einem Vorratsbehälter aus mit konstantem Druck erfolgt. Der Ölstrom wird hier direkt über die Entleerungszeit des definierten Behälterinhalts bei laufendem Motor bestimmt. Der Anschluß am Motor erfolgt über einen Verbindungsflansch, der je nach Möglichkeit anstelle des Ölfiltergehäuses oder eines anderen geeigneten Bauteils zu montieren ist. Da die Messungen bei laufendem Motor durchgeführt werden, ergibt sich aus der notwendigen Aufrechterhaltung der Motorschmierung sowie aufgrund des intermittierend arbeitenden Meßverfahrens ein relativ hoher Aufwand an Armaturen.

Fehlbedienungen, die zum Unterbrechen des Ölstroms führen, sind nicht ausgeschlossen. Entscheidend für die Funktion der Meßapparatur ist die richtige Einstellung der Druckventile. Schwierigkeiten ergeben sich teilweise beim Einhalten des Temperaturbeharrungszustands, weil trotz der Wärmeisolierung des Behälters und einiger Armaturen zwischen dem Meßbehälter und der Ölwanne Temperaturdifferenzen von 12 bis 15 K auftreten. Trotz dieser Einschränkungen wurden im Gegensatz zur Öldruckmessung unter gleichen Bedingungen wesentlich bessere Ergebnisse erzielt, d.h. wesentlich geringere Streuungen der Meßwerte in Abhängigkeit vom Lagerspiel [2].

Die hiermit bewiesene prinzipielle und praktische Brauchbarkeit dieses Verfahrens wurde auch mit einem weiterentwickelten Ölstrommeßgerät für den Motortyp 6 VD 14,5/12-1 SRW [3] bestätigt. Gegenwärtig wird dieses Gerät in einem Kraftverkehrsbetrieb einer weiteren Praxiserprobung unterzogen.

Bei einer anderen Variante zur Ölstrommessung wird ein Gerät, das aus einem Druckregelventil zur Erzeugung des konstanten Speisedrucks und aus einer Drosselstelle in Form einer Kapillare (kalibrierte Bohrung) besteht, in den Ölkreislauf eingeschaltet [4], so daß während des Motorbetriebs ständig Öl durch das Gerät fließt (Bild 3). Der Ölstrom wird über die Differenzdruckmessung vor und hinter der Drosselstelle ermittelt. Zur Messung der Öltemperatur ist vor der Drosselstelle ein Thermometer angebracht. Die Anordnung des Geräts im Ölstrom erlaubt auch die Überprüfung des Ölpumpenzustands, indem das Absperrventil gedrosselt und mit dem Prüfmanometer die Größe des von der Ölpumpe aufgebauten Drucks kontrolliert werden.

Die Vorteile dieser Gerätevariante sind der einfachere Aufbau und das aufgrund des kontinuierlichen Meßverfahrens weitaus geringere Temperaturgefälle. Grundsätzlich ist aber zu bemerken, daß bei beiden Varianten die gleichen Einflußfaktoren wie bei der Öldruckmessung berücksichtigt und kompensiert werden müssen, um eindeutige Aussagen treffen zu können.

Die kurzen Darlegungen haben gezeigt, daß von

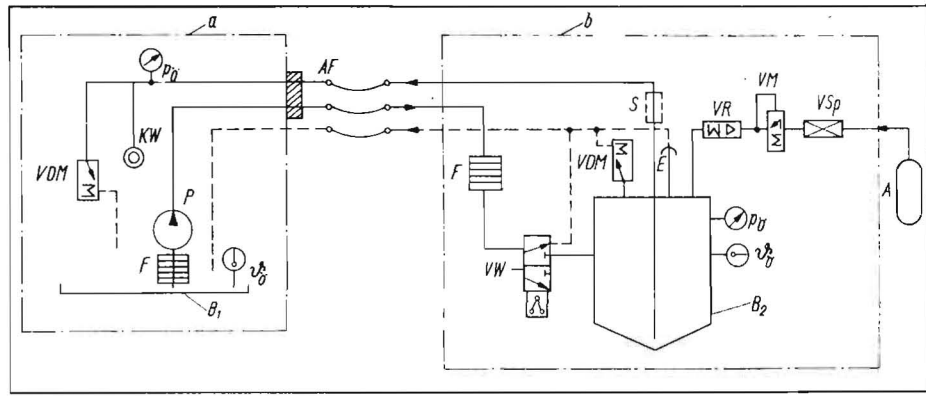


Bild 2. Schaltplan des Ölstrommeßgeräts nach [2]; a Motor, b Ölstrommeßgerät, F Filter, P Ölpumpe, VDM Maximaldruckventil, VM Druckminderventil, VR Rückschlagventil, VSp Absperrventil, VW Wegeventil, S Schauglas, E Entlüftung, A Druckspeicher, KW Kurbelwelle, AF Anschlußflansch, B₁ Ölwanne, B₂ Meßbehälter, p₃ Meßstelle für Öldruck, ϑ_0 Meßstelle für Öltemperatur

Bild 3. Kreislauf des Ölstrommeßgeräts zur Lagerspieldiagnose bei laufendem Motor; Kurzzeichen s. Bild 2

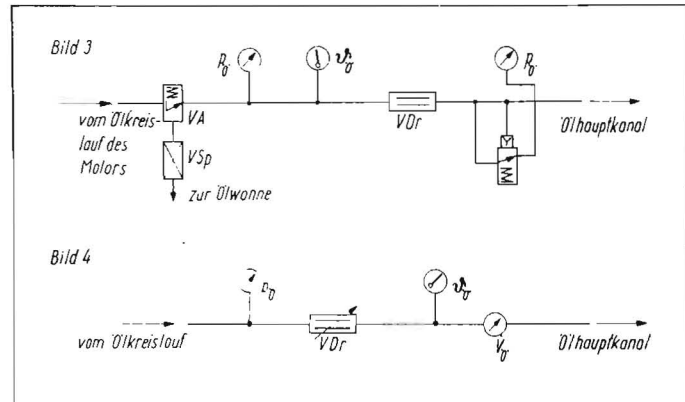


Bild 4. Meßeinrichtung zur kombinierten Erfassung von Ölstrom, Öldruck und Öltemperatur

den betrachteten Verfahren die Ölstrommessung trotz einiger prinzipbedingter Nachteile den Forderungen der Praxisanwendbarkeit gegenwärtig am besten genügt. Deshalb wird vorgeschlagen, das nur aus rein mechanisch wirkenden Bauteilen bestehende Ölstrommeßgerät entsprechend Bild 3 weiterzuentwickeln und zu erproben, damit der Praxis kurzfristig ein Gerät zur Lagerspieldiagnose am Motor zur Verfügung gestellt werden kann.

4. Weiterentwickelte Variante der kombinierten Ölstrom- und Öldruckmessung zur Lagerspieldiagnose

Entsprechend den Darlegungen der Abschnitte 2 und 3 liefert die Ölstrommessung bei konstantem Speisedruck ($p_0 = \text{const.}$) wie auch die Öldruckmessung bei gleichbleibenden Bedingungen ($\dot{V}_0 = \text{const.}$) aussagekräftige Diagnoseergebnisse. Daraus resultiert, daß durch die gleichzeitige Erfassung von Öldruck und Ölstrom ebenfalls eine Lagerspieldiagnose möglich sein muß. Dieser Sachverhalt läßt sich theoretisch begründen. Voraussetzung ist das Vorhandensein von geeigneten Meßeinrichtungen zur kontinuierlichen und druckverlustarmen Messung des Ölstroms. Mit einem an der Sektion Landtechnik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock entwickelten elektrischen Meßwertaufnehmer für den Ölstrom und einer handelsüblichen HLW-Druckmeßdose in Einheit mit einer elektrischen Temperaturmeßeinrichtung wurde eine relativ kompakte Meßeinheit geschaffen (Bild 4), die die gleichzeitige Erfassung von Ölstrom und Öldruck ohne nennenswerte Rückwirkungen auf den Ölkreislauf (Druckverlust) gestattet. Mit den gemessenen

Werten (p_0 , \dot{V}_0) ergibt sich der Betriebspunkt als Gleichgewichtszustand zwischen der Fördercharakteristik der Ölpumpe, dem Verhalten der Regelorgane des Ölkreislaufs und dem vorhandenen Lagerspiel. Da Ölstrom und Öldruck direkt vor dem Ölhauptkanal gemessen werden, spielt die Charakteristik der Ölpumpe und der Druckregelorgane keine Rolle, so daß das Lagerspiel unter Zuhilfenahme eines Kennfelds ermittelt werden kann [5].

Aufgrund des einfachen Aufbaus und bei Ausnutzung der elektrischen Meßtechnik für Druck, Ölstrom und Temperatur läßt sich der in den Ölkreislauf einschaltbare Geräteteil sehr kompakt ausbilden, so daß bei auszuführender Wärmedämmung ein unbedeutender Einfluß auf die Temperaturkonstanz des Ölkreislaufs zu erwarten ist, zumal der kontinuierliche Ölfluß nicht unterbrochen wird und keine weiteren Verzweigungen vorhanden sind.

Ein Funktionsmuster dieses Geräts wurde im Jahr 1976 einer erfolgreichen Erprobung unterzogen [6]. Aussagen über die Veränderung der Meßwerte in Abhängigkeit vom Lagerspiel können z. Z. noch nicht getroffen werden. Dazu sind noch weiterführende Untersuchungen notwendig.

5. Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden die Verfahren der Öldruckmessung, der Ölstrommessung sowie die kombinierte Öldruck- und Ölstrommessung für die Lagerspieldiagnose am Kurbelgetriebe von Dieselmotoren vorgestellt. Während die Öldruckmessung als einziges, gegenwärtig in der Praxis durchführbares Verfahren lediglich

zur Kontrolle der Anzeige des Betriebsmanometers und des für den Motor erforderlichen Mindestöldrucks geeignet ist, liefert die Ölstrommessung bei Einhaltung eines bestimmten Meßregimes Aussagen über den mittleren Verschleiß der am Schmierölkreislauf angeschlossenen Lagerstellen. Dieses Verfahren mit der entsprechenden Gerätevariante wird für die landtechnische Praxis als geeignet eingeschätzt.

Zur gleichzeitigen Messung von Ölstrom und Öldruck wird eine Kombination von elektrischen Meßwertaufnehmern vorgestellt. Dieses Verfahren ist ebenfalls zur Lagerspieldiagnose geeignet und bietet einige anwen-

dungstechnische Vorteile. Es befindet sich gegenwärtig im Erprobungsstadium.

Literatur

- [1] Wohlbe, H. u. a.: Überprüfung von Traktoren und Lastkraftwagen. Ing.-Büro für vorbeugende Instandhaltung Dresden 1975.
- [2] Thum, E.: Die technische Restnutzungsdauerprognose als Mittel zur Rationalisierung der landtechnischen Instandhaltung. Karl-Marx-Universität Leipzig, Habilitationsschrift 1968.

- [3] Fenske: Demontageleose Verschleißzustandsbestimmung. VEB Dieselmotorenwerk Schönebeck/E., Themenabschlußbericht 08-00.02-76.
- [4] Balusinski, J.; Kutscherek, E.: Beurteilung des technischen Zustandes von Kurbelwellengleitlagern ohne Demontage des Motors. Warszawa, Forschungsarbeit 1968 (Übersetzung der Versuchs- und Entwicklungsstelle des Kraftverkehrs Dresden).
- [5] Maack, H.-H.; Troppens, D.: Verfahrenssystematisierung Technische Diagnostik. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Abschlußbericht 1975.
- [6] Schleede, H.: Testung einer Ölstrom-Öldruck-Meßeinrichtung. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1976. A 1599

Lässigkeitsverluste in Axialkolbenpumpen

Hochschul.-Gertraud Wolff, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Die hydraulischen Antriebe haben auch im Landmaschinenbau in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Eine Analyse der technischen Entwicklung im internationalen Landmaschinenbau zeigt, daß überall an der Schaffung spezialisierter leistungsfähiger Landmaschinen gearbeitet wird. Besonders weit fortgeschritten ist diese Entwicklung bei den Maschinen für die Halmfrüchtere. Für den Mährescher ergibt sich ein kompliziertes Belastungs-Bewegungs-Verhalten, das aus der Doppelfunktion dieser selbstfahrenden Landmaschine resultiert. Einmal ist die Funktion eines vollwertigen Fahrzeugs zu erfüllen und zum anderen die Funktion einer Halmfrüchtermaschine (Mähen, Transportieren, Dreschen, Trennen und Ausgabe der Ernteprodukte). Aufgrund dieser Anforderungen lassen sich die angewendeten hydraulischen Ausrüstungen moderner Landmaschinen in zwei Gruppen teilen, nämlich in die Arbeitshydraulik und in die Fahrhydraulik. Die weiterentwickelten Landmaschinen, wie der Mährescher E 516, sind

mit einem hydrostatischen Fahrtrieb ausgerüstet. Die Begründung für diesen Schritt ergibt sich aus den Vorteilen des stufenlosen hydrostatischen Antriebs, aus der Bedienerleichterung für das Fahrpersonal und aus der Freizügigkeit der Anordnung (neue Anordnungs- und Einbaumöglichkeiten bei minimaler Behinderung des eigentlichen technologischen Prozesses in der Maschine). Nachteilig wirkt sich dagegen aus, daß hydrostatische Fahrtriebe schlechtere Wirkungsgrade und höhere Herstellungskosten als mechanische aufweisen.

Als Verdrängeraggregate (Hydraulikpumpe und -motor) werden im hydrostatischen Fahrtrieb ausnahmslos Axialkolbenaggregate (Bild 1) eingesetzt. Bei der Entwicklung der Axialkolbenaggregate ist eine Tendenz zur Steigerung der Betriebsdrücke zu verzeichnen, damit das Masse-Leistungs-Verhältnis geringer wird. Das erfordert wiederum zur Verringerung der Lässigkeitsverluste besonders enge und damit schmutzempfindliche Dichtspalte zwischen den bewegten, an der Flüssigkeitsförderung betei-

ligten Elementen. Wie sehr gerade ein hoher Betriebsdruck z. B. einer Pumpe die Schmutzempfindlichkeit vergrößert, wird im Bild 2 verdeutlicht [1].

Axialkolbenaggregate sind also komplizierte technische Gebilde, die hohe Ansprüche z. B. an die Qualität des Öls und an die Qualifikation des Bedien- und Instandsetzungspersonals stellen. Jeder Ausfall ruft wegen des Kampagnecharakters der landwirtschaftlichen Produktion erhebliche Störungen und Unterbrechungen des Produktionsablaufs hervor. Da aber Hydraulikaggregate besonders in Landmaschinen wegen der ungünstigen Betriebsbedingungen hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind, wird ihre Betriebstauglichkeit weniger durch kurzzeitige Überlastung als vielmehr durch hohe Verschleißbeanspruchung gemindert [1]. Häufig existieren aber noch Unklarheiten über

- Arten und Grad des Verschleißes, dem die einzelnen Bauelemente unterliegen
- Verschleißursachen
- Auswirkungen der Schädigung auf das Betriebsverhalten der Axialkolbenaggregate.

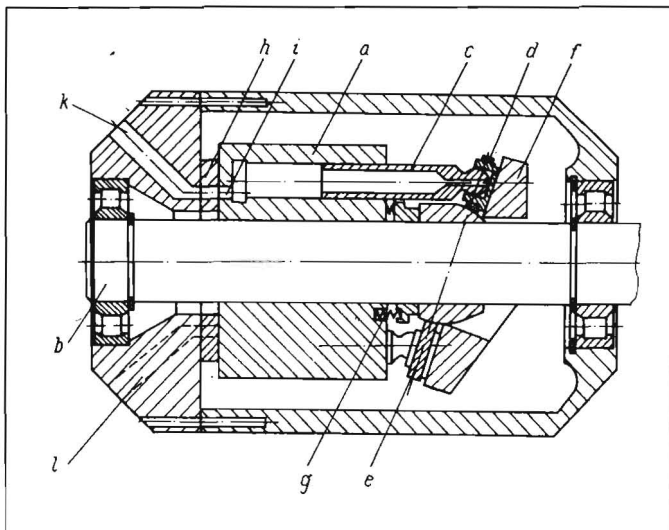


Bild 1. Axialkolbenpumpe der Schrägscheibenbauform (schematisch):
 a Zylindertrommel, b Antriebswelle, c Kolben, d Gleitschuh, e Andrückplatte, f Schrägscheibe, g Feder, h Steuerspiegel, i Steuerscheibe, k Saugleitung, l Druckleitung

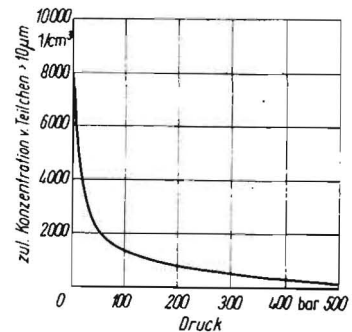


Bild 2. Zulässige Verschmutzung als Funktion des Systemdrucks für eine Pumpe bei gleicher Grenznutzungsdauer (nach [1])