

# Zum Wirkungsmechanismus der Schädigungen am Rollenkettengetriebe

Dipl.-Ing. A. Schwedler, KDT/Prof. Dr. sc. techn. J. Müller, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Der außerordentlich hohe Ersatzteilbedarf an Rollenketten im Bereich der Landtechnik [1] erfordert eine gründliche Schadensanalyse [2]. Die verschiedenen Schäden am Rollenkettengetriebe bedingen sich teilweise gegenseitig; die Kenntnis der wechselweisen Beeinflussung ist somit erforderlich, um wirkungsvolle Maßnahmen zur Beseitigung oder Verminderung der Schadensursachen und damit zur Grenzdauererhöhung ableiten zu können. Wesentliche Schäden und ihre Ursachen werden nachfolgend kurz dargelegt und ihr Zusammenwirken in einem „Wirkungsmechanismus der Schädigungen“ zusammengestellt.

## 1. Schäden und Schadensursachen

Dargestellt werden nur die Schäden, die durch die Elementenpaarung von Kettenrad und Rollenkette an diesen beiden Bauteilen entstehen.

### 1.1. Kettenräder

An den Kettenradzähnen sind folgende Abnutzungserscheinungen von Bedeutung:

- Seitenverschleiß der Kettenradzähne
- Zahnflankenverschleiß.

Der Seitenverschleiß (Bild 1) wird — wie Untersuchungen in Instandsetzungsbetrieben zeigen [2] — häufig als einziges Aussonderungskriterium („Spitzenbildung“ an den Kettenradzähnen) für Kettenräder verwendet. Seine Ursache ist die fehlerhafte Montage der Kettenräder (Nichtfluchten und Taumelschlag der Kettenräder).

Beim Einlauf der Kette in das Kettenrad schlagen die Innenlaschen der Kettenglieder seitlich auf die Kettenradzähne, so daß diese Abnutzungserscheinungen in Abhängigkeit von Kettengeschwindigkeit, Kettenzugkraft und Größe des Fluchtungsfehlers der Kettenräder mehr oder weniger schnell zu beobachten sind.

Der Zahnflankenverschleiß am Kettenrad (Bild 2) entsteht durch die Wälzpressung zwischen

den Gelenkteilen der Kette und der Zahnflanke infolge zügiger und stoßartiger Kräfte [3]. Besonders der Eingriffsstoß zwischen Kette und Kettenradzahn, bedingt durch die Polygonwirkung des Kettenrades, ist für den Zahnflankenverschleiß verantwortlich, der seinerseits als wesentliche Ursache für die Geräuschbildung bei Rollenkettengetrieben anzusehen ist [4]. Aufgrund der starken Polygonwirkung verschleißen somit die Zahnflanken von Kettenrädern mit geringen Zähnezahlen besonders schnell.

### 1.2. Rollenketten

An Rollenketten sind folgende Schäden zu nennen:

- Verschleiß der Innenlaschen
- Lockerung der Preßsitze zwischen Buchse und Lasche
- Zerstörung von Rollen und Buchsen
- Verschleiß in den Gelenkflächen des Kettengelenks.

Der Verschleiß an den Innenseiten der Innenlaschen tritt in Verbindung mit dem Seitenverschleiß der Kettenradzähne auf und ist analog auf unzulässige Fluchtungsfehler und Taumelschlag der Kettenräder zurückzuführen.

Im Bild 3 ist ein zerstörtes Kettenglied dargestellt. Die Zerstörung von Rollen und Buchsen äußert sich durch Bruch in mehrere Teile, in manchen Fällen tritt auch ein örtliches Abbröckeln auf. Als weitere Schädigung kann eine Lockerung zwischen Buchse und Lasche auftreten.

Die genannten Schäden sind auf die Stöße beim Eingriffsbeginn der Kettengelenke mit den Kettenradzähnen aufgrund der Kinematik des Kettengetriebes zurückzuführen [3].

Von besonderer Bedeutung für die Funktionsfähigkeit der Rollenketten und damit des Rollenkettengetriebes ist der Verschleiß in den Gelenkflächen, d.h. zwischen Bolzen und Buchse. Im Bild 4 sind die Hauptverschleiß-

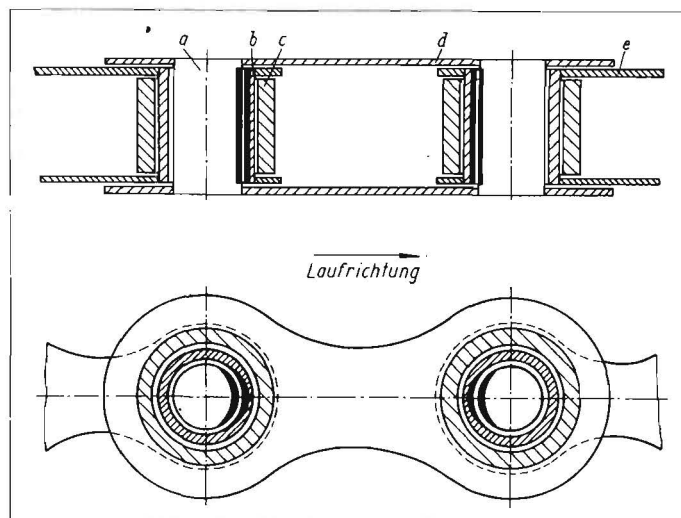


Bild 4 Hauptverschleißstellen im Kettengelenk (geschwärzt dargestellt) [3]; a Bolzen, b Buchse, c Rolle, d Außenglied, e Innenglied

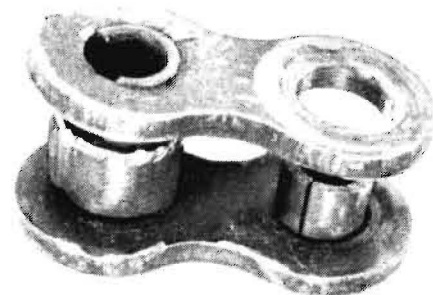


Bild 1. Abnutzung am Kettenrad durch Seitenverschleiß



Bild 2. Abgenutzte Zahnflanken am Kettenrad

Bild 3. Zerstörtes Kettenglied



stellen im Kettengelenk schematisch dargestellt. Der Verschleiß entsteht durch die Schwenkbewegung der Bolzen gegenüber den Buchsen beim Ein- und Auslaufen aus der Kettenradverzahnung und führt durch Abrieb zur Vergrößerung der mittleren Kettenteilung. Daraus resultiert infolge der Vielzahl der Gelenke eine Verlängerung der Rollenkette. Weiterhin findet eine Reduzierung der Bolzen- und Buchsenquerschnitte statt. Schlechte Schmierung und die Einwirkung abrasiver Stoffe fördern in starkem Maß den Verschleiß im Kettengelenk [5].

## 2. Auswirkungen der Schädigungen auf Betriebsverhalten und Funktion des Rollenkettengetriebes

### 2.1. Montage- und Fertigungsfehler

#### 2.1.1. Rundlauf- und Fluchtungsfehler der Kettenradverzahnung

Entscheidend für den einwandfreien Lauf des Kettengetriebes ist die Größe des gesamten Rundlauffehlers und des gesamten Fluchtungsfehlers der Kettenradverzahnung.

Der gesamte Rundlauffehler der Verzahnung setzt sich aus den Rundlauf Fehlern der Welle und des Kettenrades zusammen. Bei niedrigen Drehzahlen führt der gesamte Rundlauffehler zu periodischen Bewegungen der beiden Kettentrume in transversaler Richtung und zur Schwankung des Durchhangs. Bei höheren Drehzahlen können auf diese Weise transversale Schwingungen im Kettengetriebe angeregt werden, aus denen dynamische Blindlasten des belasteten Trums resultieren [3]. Diese zusätzlichen dynamischen Belastungen wirken nicht nur zerstörend auf die Kette, sondern auch auf die Kettenräder und Verbindungselemente sowie auf die Welle und ihre Lager. Ebenfalls erfolgt eine Zunahme der Verschleißintensität mit wachsender Belastungsamplitude [6] [7].

Der gesamte Fluchtungsfehler der Verzahnung, der sich aus dem Achsschränkungsfehler, den axialen Spielen der Wellen und dem Taumelschlag der Kettenräder zusammensetzt, führt neben dem Seitenverschleiß der Kettenradzähne und dem Verschleiß der Ketteninnenlaschen (s. Abschnitt 1) zu seitlichen Schwingungen der Trume. Daraus folgen Störungen des normalen Eingriffs der Zähne des Kettenrades mit der Kette. Zusätzliche Spannungen und Deformationen treten in den Kettengelenken auf, der Verschleiß der Rollenkette wird gefördert [7].

Der Einfluß der betrachteten Faktoren auf die Herabsetzung der Nutzungsdauer des Kettengetriebes ist um so größer, je größer Kettenzugkraft und -geschwindigkeit des Kettengetriebes sind.

#### 2.1.2. Teilungsfehler der Kette und des Kettenrades

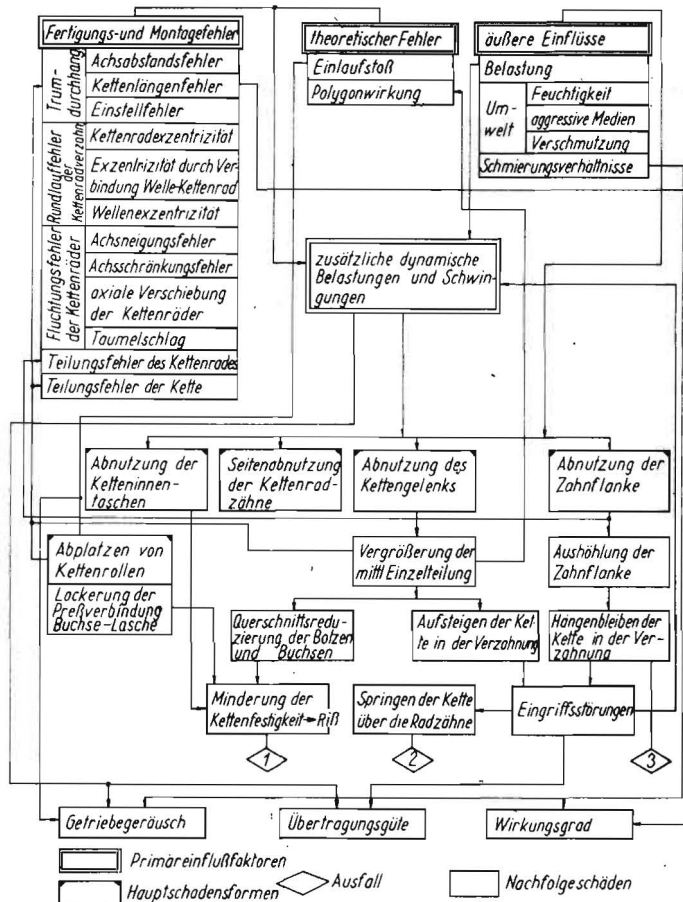
Teilungsfehler der Kette führen infolge der durch sie verursachten Schwingungen zu besonders kritischen Betriebszuständen bei höheren Drehzahlen [3] [6]. Ebenfalls können Teilungsfehler des Kettenrades eine Ursache der Schwingungserregung im Kettengetriebe sein.

Die aus diesen Teilungsfehlern resultierenden dynamischen Belastungen wirken verschleißfördernd auf die Rollenkette.

#### 2.1.3. Trumdurchhang

Das richtige Einstellen des Durchhangs des unbelasteten Trums ist für den ruhigen Lauf des

Bild 5  
Wirkungsmechanismus der Schädigungen am Rollenkettengetriebe



Kettengetriebes von Bedeutung. Ein zu kleiner Durchhang ergibt unnötige Zugbelastungen der Kette, die zur Leistungsübertragung keinen Beitrag liefern. Bei zu großem Durchhang verringert sich der Umschlingungswinkel der Kette um die Kettenräder. Bei zu kleinem Stützpunkt im Leertrum ist dann nicht zu vermeiden, daß die Kette über die Zähne des Kettenrades springt.

#### 2.2. Zahnflankenverschleiß

Wie im Bild 2 dargestellt, führt der Zahnflankenverschleiß zur Aushöhlung der Zahnflanke und zur Hakenbildung. Ist die Aushöhlung entsprechend weit fortgeschritten, so bleibt die Kette in der Kettenradverzahnung beim Auslaufen aus dem Kettenrad hängen, wodurch sehr starke Schwingungen des Leertrums angeregt werden und das Kettengetriebe unruhig läuft.

#### 2.3. Vergrößerung der mittleren Kettenteilung

Die Vergrößerung der mittleren Kettenteilung ist aufgrund der ungünstigen Einsatzbedingungen besonders in der Landtechnik (wenig oder keine Schmierung, starke Verschmutzung der meist ohne ausreichenden Schutz laufenden Kettengetriebe) die Hauptsache für den Ausfall der Kettengetriebe [8]. Infolge des Gelenkverschleißes tritt eine Kettenlängung ein.

Aus der Spezifik der Rollenkettenkonstruktion folgt, daß sich nur die Teilung der Außenglieder vergrößert, während die Innenteilung unverändert bleibt. Die Auswirkung ist eine von Glied zu Glied ungleichmäßige Auflage der Kette auf dem Kettenrad. Die Kette steigt auf einen Laufkreis, der oberhalb des Teilkreises liegt. Die Vieleckwirkung (Polygoneffekt) nimmt zu und damit gleichzeitig die mit der Zahnfrequenz dynamischen Blindlasten [3].

Bei entsprechender verschleißbedingter Teilungsvergrößerung steigt die Kette auf die Verzahnung auf und springt schließlich über die Kettenradzähne. Dadurch besteht die akute Gefahr, daß die Kette reißt und das Kettengetriebe funktionsuntüchtig wird.

## 3. Wirkungsmechanismus der Schädigungen

Die Untersuchungsergebnisse aus den Abschnitten 1 und 2 lassen sich im „Wirkungsmechanismus der Schädigungen am Rollenkettengetriebe“ (Bild 5) zusammenstellen. Dieser enthält in Form einer Blockbilddarstellung alle wesentlichen Einflussfaktoren auf die Schädigungen am Rollenkettengetriebe, die Hauptschadensformen und die Schadensfolgen (Nachfolgeschäden). Mit dieser Abstraktion können der komplizierte und komplexe Zusammenhang der einzelnen Schädigungen am Kettengetriebe und ihre Wechselwirkungen in übersichtlicher Weise verdeutlicht werden. Man unterscheidet vier Komplexe von primären Einflussfaktoren auf die Schädigungen:

- Fertigungs- und Montagefehler
- theoretische Fehler, bedingt durch die Kinematik des Getriebes
- äußere Einflüsse, wobei die Umwelteinflüsse neben der Belastung detailliert ausgeführt sind, da diese in der Landtechnik eine bedeutende Rolle spielen
- zusätzliche dynamische Belastungen und Schwingungen, die ihre Ursachen im Polygoneffekt der Kettenräder sowie häufig in Fertigungs- und Montagefehlern haben und einen erheblichen Einfluß auf die Schädigungen ausüben.

Die Verbindungslinien mit den dazugehörigen Richtungspfeilen zu den Hauptschadensformen und weiter zu den Schadensfolgen (Nachfolgeschäden) geben die Auswirkungen der Schä-

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 verschleiß erhöhenden 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.: Kettenriebe. 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 Lenksystemen

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 notlenkähnliches 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-