

Dichtungsschäden in Hydraulikanlagen und ihre Ursachen

Dr. sc. techn. E. Hlawitschka, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

1. Einleitung

Dichtungen haben die Aufgabe, Räume mit unterschiedlichem Druckniveau gegeneinander abzudichten, so daß sowohl der Druckausgleich als auch der Stofffluß zwischen diesen Räumen verhindert werden. Außerdem sollen sie das Eindringen von Verunreinigungen in die Hydraulikgeräte ausschließen. Somit werden die Funktionstüchtigkeit und die Betriebssicherheit von Hydraulikgeräten und -anlagen wesentlich durch das Verhalten der Dichtungen bestimmt.

Die Funktion einer elastischen Dichtung kann anhand ihres Dicht- und Reibungsverhaltens eingeschätzt werden. Während das Dichtverhalten die Größe des Masse- und Druckverlustes kennzeichnet, bestimmt das Reibungsverhalten die Höhe der Energieverluste beim Dichtvorgang. Die Dichtwirkung wird durch die Konstruktion der Dichtung, die Geometrie des Einbauriums, die Werkstoffeigenschaften, die Betriebsgrößen und nicht zuletzt durch das Hydrauliköl beeinflusst. Sie geht jedoch während des Betriebs der Geräte allmählich infolge der sich einstellenden Abnutzung oder spontan aufgrund hoher Belastungen verloren. Dieser Schädigungsvorgang, in dessen Verlauf sich die Konstruktionsparameter der Dichtung und ihre physikalisch-chemischen Eigenschaften ändern, ist vor allem durch Verschleiß, Alterung, Ermüdung und Strömungserosion gekennzeichnet, aber auch eine Überbeanspruchung führt häufig zur Zerstörung von Dichtungen.

In Hydraulikanlagen der Landtechnik gelangen vornehmlich Rundringe (TGL 6365, TGL 84484) und Lippenringdichtungen (TGL 6357, TGL 6359, TGL 6361, TGL 34482, TGL 34483, TGL 22300) zum Einsatz. Diese meist aus ölbeständigem Nitrilbutadienkautschuk bestehenden Dichtungen sind relativ kurzlebige Elemente, die je nach Typ im Durchschnitt 200 bis 700 km Gleitweg ertragen [1]. Sie sind sehr billig, können jedoch beim Auftreten von Dichtungsschäden hohe Ausfallkosten der Maschine bzw. Anlage hervorrufen. Daher ist der Schadensverhütung und der Aufdeckung von Schadensursachen besondere Bedeutung beizumessen.

Ausgefallene gummielastische Dichtungen weisen meist mehrere Schädigungsarten auf [2]. Eine ursächliche Schädigung ruft häufig andersartige Folgeschäden hervor, so daß es recht schwierig ist, die eigentliche Schadensursache zu erkennen und daraus Maßnahmen zu deren Beseitigung abzuleiten. Im folgenden sollen häufig auftretende Schäden an Dichtungen in Hydraulikgeräten gezeigt und die wichtigsten Ursachen angegeben werden.

2. Abtragverschleiß

Infolge des Gleitens der Dichtung auf dem Gleitpartner tritt Abtragverschleiß auf. Bei dieser Gleitbewegung kann Flüssigkeits-, Misch- oder Festkörperreibung an den Dichtflächen vorliegen. Soll Verschleiß an der Dichtung durch Abrasion ausgeschlossen werden, muß sowohl die Oberflächenfeinstruktur der Gleitfläche den Forderungen der Dichtungshersteller entsprechen (z. B.

darf die Rauhtiefe der Gleitfläche bei Betriebsdrücken von $p = 20 \text{ MPa}$ $R_z = 0,8 \dots 1,6 \mu\text{m}$ nicht übersteigen) als auch zwischen Dichtung und Gleitfläche ein Ölfilm vorhanden sein, der die unmittelbare Berührung beider Elemente ausschließt. Obwohl die Hydraulikgerätehersteller aufgrund besonderer konstruktiver Maßnahmen (Dichtungsabmessungen, Bauteilbemessung, Ölviskosität usw.) das Entstehen eines Ölfilms sichern, kann es während des Betriebs zum Zerstören dieses Ölfilms kommen. Ölverunreinigungen, besonders mineralischer und metallischer Art, sowie zu große Rauheit der metallischen Gleitflächen — entstanden durch Schmutz-, Korrosions- oder Schlageinwirkung — führen zum Abrieb an den Dichtflächen. Als Schadensbild der Dichtung zeigt sich eine matte Oberfläche, und örtlich begrenzt können auch tiefe Ausschabungen auftreten, die senkrecht zur Gleitrichtung verlaufen (Bild 1a). Während durch Schlag- oder Korrosionseinwirkung am Gleitpartner meist örtlich begrenzte Schädigungen an der Dichtung entstehen (z. B. an Dichtungen von Kolbenstangen), führt verschmutztes Hydrauliköl zu einer gleichmäßigen Verteilung feiner Schleifspuren über den gesamten Bereich der Dichtfläche.

Nach [1] sind Dichtungsschäden, die durch erkennbaren linearen Abtragverschleiß und dessen gleichmäßige Verteilung über die Dichtfläche charakterisiert werden, nicht die häufigste Schädigungsart. Vielmehr fallen Dichtungen im überwiegendem Maß aufgrund anderer Schäden bzw. Mängel schon früher aus, bevor der Abtragverschleiß die Untauglichkeit herbeiführt.

3. Spaltextrusion

Dichtungen legen sich infolge ihrer Vorpressung beim Einbau und durch die Druckbeaufschlagung während des Betriebs vor den abzudichtenden Spalt. Wird der für die Spaltweite und die Werkstoffqualität geltende Höchstdruck überschritten, dann wird die Dichtung durch die auftretenden Zugkräfte überlastet, und der Gummi fließt in den Spalt (Bild 2). Unterstützt wird dieser Vorgang durch eine Relativbewegung zwischen Dichtung und Dichtungspartner. Durch die Extrusion

kann es zur vollständigen Zerstörung oder zumindest zum Aufreißen bzw. Aufbrechen der Dichtungsoberfläche kommen (Bild 1b). Auch plastische Verformungen stellen sich ein. Unterstützt wird dieser Vorgang durch das elastische Verformen der metallischen Bauteile durch hohen Druck, wodurch sich die Dichtspalte erweitern. Dadurch wandert der Dichtungswerkstoff in den Spalt und vermag sich bei Druckminderung nicht schnell genug zurückzuziehen. Abquetschungen und Ausbröckelungen sind die Folge.

Zur Unterdrückung der Spaltextrusion werden häufig Stützringe („Back-Ringe“) verwendet. Diese Ringe dehnen sich bei Belastung infolge ihrer konstruktiven Gestaltung und verringern damit die Spaltweite. Auch durch die Bemessung des Dichtungseinbauriums und die Gummiqualität wird Einfluß auf die Spaltextrusion genommen.

4. Umstülpen

Dieser Vorgang stellt sich bei Verwendung von Lippendichtungen (z. B. in Arbeitszylindern) ein und ist dadurch gekennzeichnet, daß die Dichtung teilweise aus dem vorgesehenen Einbauraum herausgedrückt wird.

Ursache für das Umstülpen der Dichtung sind sowohl die Reibkräfte als auch der Schleppdruck. Letzterer entsteht durch die Haftfähigkeit des Öls. Deshalb wird bei Bewegung einer Spaltwand mit dieser Öl auch gegen einen im Dichtungsraum herrschenden Druck gefördert. Dieser Druck kann sehr hohe Werte annehmen [3]. Damit wirken große Kräfte auf die Bodenseite der Dichtung, so daß diese zunächst ankippt. Damit wachsen die Reibkräfte, bis schließlich die Dichtung umstülpt und aus ihrem Einbauraum wandert. Hierbei wird die Dichtung meist bleibend verformt, die Dichtlippe wird angeschnitten oder abgequetscht, und Teile

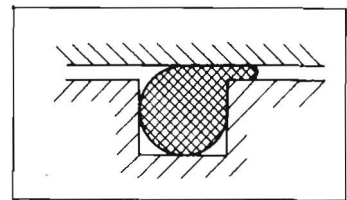


Bild 2
Spaltextrusion eines
Rundrings

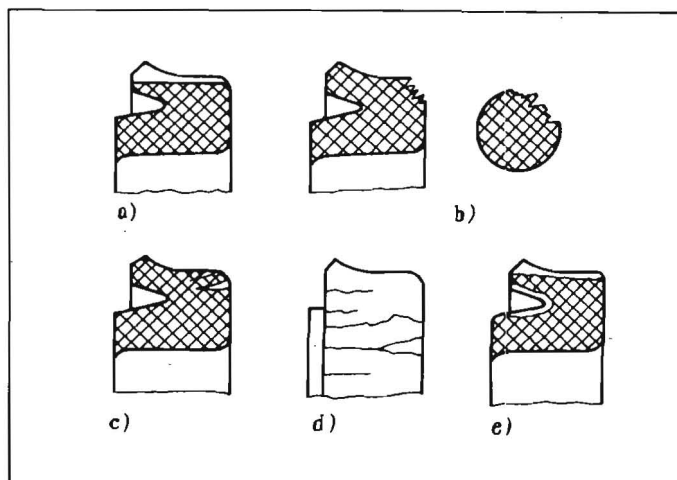


Bild 1
Dichtungsschäden
(schematisch);
a) Abtragverschleiß
b) Spaltextrusion
c) Luftblasenexpansion
d) Strömungserosion
e) Dieseleffekt

der Dichtung werden vollkommen zerstört. Die Dichtwirkung geht damit völlig verloren.

5. Luftblasenexpansion

Hydrauliköl ist niemals völlig luftfrei. In Untersuchungen wurde festgestellt, daß vornehmlich bei großen Hubgeschwindigkeiten von Arbeitszylindern aufgrund der vorliegenden Druckverhältnisse die Dichtlippe leicht angehoben wird. Demnach bildet sich eine Art Schmierkeil aus, in dem der Druck noch weiter ansteigt. Ein in diesen Spalt gelangtes komprimiertes Luftbläschen durchwandert ihn bis zum Rückrand der Dichtung. Hier fällt der Druck plötzlich auf niedrige Werte ab. Dadurch expandiert das Luftbläschen (bei einer Druckdifferenz von 20 MPa vergrößert sich sein Volumen bei adiabater Expansion auf etwa das 45fache) und reißt damit die umgebende Dichtungspartie auf (Bild 1c). Eine ähnliche zerstörende Wirkung zeigt Luft, die von der Hochdruckseite her in den Dichtungswerkstoff eindiffundiert (gewebeverstärkte Dichtungen sind wegen ihrer Inhomogenitäten besonders anfällig), ihn durchwandert und bei Druckentlastung die Oberfläche aufreißt.

Schädigungserscheinungen infolge Luftblasenexpansion zeigen sich häufig bei liegend angeordneten Arbeitszylindern an der höchsten Stelle der Dichtung, da sich dort die Luftbläschen sammeln. Durch die Expansionswirkung der Luft können sich rasch kleine Kanäle bilden. Durch diese strömt dann Flüssigkeit mit hoher Geschwindigkeit und führt sekundär zur Strömungserosion.

6. Strömungserosion

Die Strömungserosion beruht auf der materialabtragenden und damit zerstörenden Wirkung einer mit hoher Geschwindigkeit strömenden Flüssigkeit. Sie stellt sich meist als Folgeschaden einer vorausgegangenen andersartigen Schädigung ein. Nimmt man an, daß z. B. durch die Luftblasenexpansion oder durch harte Verunreinigungen des Hydrauliköls Mikroschnitte bzw. kleine Kanäle entlang der Dichtungslänge entstanden sind oder daß aufgrund mangelnder Vorpressung die Dichtwirkung verlorengegangen ist, so trägt die mit hoher Geschwindigkeit durchströmende Flüssigkeit Dichtungsmaterial ab (Bild 1d). Nach [4] kommt es dabei zu lawinenartig anwachsenden Zerstörungen. Erosionsbeschleunigend wirken große Druckdifferenzen und die Expansionsfähigkeit der Luft. Die Strömungserosion führt sehr rasch zur völligen Zerstörung der Dichtung.

7. Dieseleffekt

Öl hat die Eigenschaft, bei Druckerhöhung Luft molekular zu binden. Bei Druckminderung wird diese Luft frei. Es entstehen Luftblasen, die auch Öldämpfe enthalten, wodurch ein zündfähiges Gemisch zustande kommt. Werden mit diesem Gemisch ge-

füllte Blasen stark verdichtet, dann kann die Zündtemperatur erreicht werden. Es tritt der Dieseleffekt auf, der durch die Verbrennung von Öl, aber auch von Dichtungswerkstoff gekennzeichnet ist. Die Dichtungen weisen an der Oberfläche Ausbrennungen und Verschmelzungen auf (Bild 1e). Nebenher entstehen hohe Druckspitzen, und der Alterungsprozeß des Öls wird erheblich vorangetrieben.

8. Werkstoffalterung

Das Altern ist ein chemischer Vorgang, durch den sich die physikalischen Eigenschaften von Elastomeren irreversibel ändern. Vornehmlich der Luftsauerstoff ruft eine zeitlich abhängige Verhärtung und Versprödung des Werkstoffs hervor. Damit nimmt die Elastizität der Dichtelemente ab. Gleichzeitig wächst die Reibkraft von Bewegungsdichtungen, und die Dichtwirkung geht zurück. Von Extremen abgesehen, die durch Risse und Brüche gekennzeichnet sind, ergibt der Alterungsprozeß nicht unmittelbar ein erkennbares äußeres Schädigungsbild.

Der Alterung unterliegt auch das Hydrauliköl. Die dabei entstehenden Produkte (z. B. unlösliche Harze, Lacke usw.) setzen sich an den Dichtungen ab und bilden eine festsitzen- de, den Dichtungsprozeß behindernde Schicht.

9. Montagefehler

Unsachgemäße Montage führt vielfach zu Dichtungsschäden. Sobald Dichtungen ohne vorgeschriebene Montagevorrichtungen montiert werden (z. B. Schieben über scharfe Kanten, Gewinde, Querbohrungen usw.), besteht die Gefahr des Verletzens der Dichtlippen. Nicht genau eingelegte Rundringe können gequetscht werden. Maßlich nicht passende Dichtungen begünstigen die Undichtheit bzw. werden bei der Montage beschädigt.

10. Hinweise zur Reduzierung von Dichtungsschäden

Dichtungsschäden sind zwar nicht völlig vermeidbar, jedoch wirken die nachfolgend genannten Maßnahmen schädigungsmindernd:

- Einwandfreie Filterung und gute Filterpflege sichern ein ausreichend sauberes Hydrauliköl, das zur Verminderung des Abtragverschleißes notwendig ist.
- Bei Montage- bzw. Instandsetzungsarbeiten ist größte Sauberkeit erforderlich. Nach Biege- und Schweißarbeiten an Rohren müssen diese gebeizt werden. Zunder wirkt besonders dichtungsschädigend.
- Alle Maßnahmen zur Reduzierung des Luftanteils im Hydrauliköl wirken schädigungsmindernd.
- Große Oberflächenrauheiten bzw. Be-

schädigungen der Oberfläche des Gleitpartners sind zu vermeiden.

- Dichtungen dürfen nicht absolut trocken eingebaut werden.
- Bei stark und schnell wechselnden Drücken sind besondere konstruktive Maßnahmen (z. B. Verwendung von Back-Ringen) erforderlich.
- Verschmutzte Dichtelemente sind nur mit sauberem Lappen und warmem Wasser zu reinigen. Benzin, Dieselkraftstoff, Lösungsmittel, Drahtbürsten, Schmirgelpapier, harte Gegenstände dürfen zur Reinigung nicht benutzt werden.
- Zur Montage sind ggf. Montagehülsen zu verwenden. Das Schieben über scharfe Kanten führt zur Beschädigung der Dichtung.
- Bei der Montage ist auf richtigen Sitz bzw. exakte Lage der Dichtung zu achten.
- Bei Instandsetzungsarbeiten nach längerer Betriebszeit sollten grundsätzlich neue Dichtungen eingesetzt werden. Nicht jede Dichtungsschädigung ist leicht erkennbar.
- Dichtungen sind kühl (Lagertemperatur -5 bis 20°C), trocken, staub- und verformungsfrei zu lagern. Sauerstoff, Feuchtigkeit, Wärme, direkte Sonnenbestrahlung und Lösungsmitteldämpfe wirken schädigend.
- Die Lagerzeit ist kurz zu halten. Dichtungen aus Gummiwerkstoffen sind innerhalb eines Jahres zu verwenden.

11. Zusammenfassung

Gummielastische Dichtungen in Hydraulikgeräten sind vielfältigen schädigenden Einflüssen ausgesetzt. Die wesentlichsten den Dichtungsprozeß beeinflussenden Schädigungen werden gezeigt, die Schädigungsursachen beschrieben und die Schädigungsbilder angegeben. Bei real geschädigten Dichtungen überlagern sich die einzelnen Schädigungsarten. Grundsätzlich verursachen häufig Nachfolgeschäden, so daß das Aufdecken der Schädigungsursachen meist schwierig ist. Der Anlagenbetreiber kann durch die Beachtung von Hinweisen zur Reduzierung von Dichtungsschäden beitragen.

Literatur

- [1] Schrader, K.: Häufige Schäden an gummielastischen Dichtungen hydrostatischer Antriebe. Maschinenbautechnik, Berlin 29 (1980) 6, S. 265-267.
- [2] Schrader, K.: Schäden und Berechnungen an gummielastischen Dichtungen. Tagungsmaterial der 3. Fachtagung Hydraulik und Pneumatik, Teil 2, Dresden 1979.
- [3] Panzer, P.; Beitler, G.: Arbeitsbuch der Ölhdraulik. Mainz: Krausskopf-Verlag 1969.
- [4] Schrader, K.: Hydraulik-Dichtungen, Teil II: Schadensbilder, -ursachen, -vermeidung. Ölhdraulik und pneumatik, Mainz 26 (1982) 5, S. 357-361. A 3879

KATALOG

über die lieferbare und in Kürze erscheinende Literatur des
VEB VERLAG TECHNIK kostenlos erhältlich durch jede Fachbuchhandlung
oder direkt durch den Verlag, Abteilung Absatz-Werbung