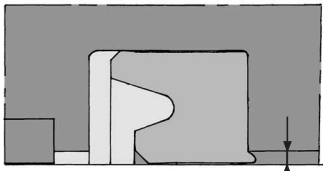
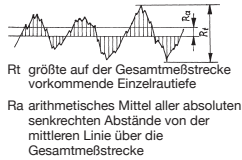




# Zusammenhang Dichtheit - Verschleiß - Oberflächengüte



Dichtungsextrusion durch zu großen Spalt



hoher Traganteil  $R_p$  mit runder Kontur der Oberfläche ohne scharfe Spitzen, z.B. durch Rollieren

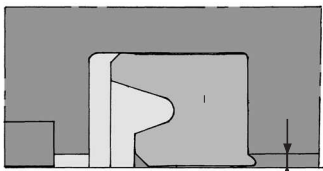
Der Zusammenhang zwischen metallischer Gleitfläche und Dichtungsverschleiß sowie Leckage-Dichtheit kann wie folgt vereinfacht dargestellt werden:

Von "dynamischer Dichtheit" spricht man, wenn der ausgeschleppte Ölfilm beim Rückhub der Kolbenstange wieder zur Gänze in den Druckraum zurückgefördert wird. Dazu ist die Wahl des richtigen Abstreifers, in Kombination mit dem richtigen Dichtungsprofil wichtig. Dieser hauchdünne Film, in der Größenordnung von tausendstel Mikrometern, wird durch die Oberflächenrauheit der Gleitfläche während der Bewegung unter der Anlagefläche der Dichtung durchgezogen. Die Ölfilmdicke wird durch Material und Formgebung der Dichtung, die Oberflächengüte der Stahlteile (mittlere Rautiefe  $R_a$ ), die Viskosität des Druckmediums sowie die Relativgeschwindigkeit zwischen Dichtung und Gleitfläche in Abhängigkeit vom Druck bestimmt. Die Rückförderung ist beim drucklosen Ausfahren und Einfahren unter Druck, sowie bei höherer Ausfahr- als Einfahrgeschwindigkeit schlechter. Passen die Parameter nicht zusammen, sind Leckage bzw. "Trockenlauf" der Dichtung und damit vorzeitiger Verschleiß die Folge.

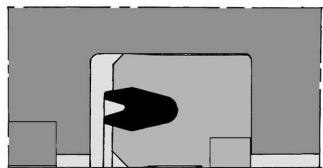
Der Reibungsverschleiß der Dichtelemente wird neben der Schmiereigenschaft der Hydraulikflüssigkeit, der Druckhöhe, Temperatur und Gleitgeschwindigkeit sowie der Formgebung und Materialeigenschaft der Dichtungen hauptsächlich von der Oberflächenbearbeitungsart bestimmt. Ein Oberflächen-Materialanteil (Traganteil) von 50 bis 80% (gemessen an einer Tiefe von 25% von  $R_z$  ausgehend von einer Referenz-Bezugslinie  $C_{ref}$  5%) mit runder Kontur der Oberfläche ist anzustreben.

Als Bearbeitungsarten bieten sich für Stangen Schleifen und Polieren, für Zylinderrohre Honen oder Rollieren an. Die Oberflächenhärte sollte bei ca. 55 bis 60 HRC liegen. Siehe auch folgende Seiten.

## Einige wichtige Einflüsse im praktischen Betrieb



Dichtungsextrusion durch zu großen Spalt



Extrusion durch Backring (z.B. Typ S 621) verhindert

- **Aufbau von hydrodynamischem Schleppdruck**

Ursache und Vermeidung siehe unter „Wissenswertes zu Führungen“.

- **Dichtungsextrusion**

Die erlaubten Spaltgrößen auf der druckabgewandten Seite der Dichtung sind in den Datenblättern genau angegeben. Zu beachten sind dabei zusätzlich folgende Punkte:

- Bei hohen Temperaturen nimmt die Festigkeit von allen Kunststoffmaterialien ab. Bei kleinen Öltankvolumen, engen Ventilbohrungen aber auch bei hohen Hubfrequenzen und schlecht schmierenden Medien muß mit zum Teil beträchtlicher Temperaturerhöhung durch Reibung gerechnet werden.
- Im Betrieb treten oft (auch bei nicht gedämpften Zylindern) Druckstöße auf, die von außen verursacht werden. Sie erreichen in der Regel ein Vielfaches des Systemdruckes. Genaue Analyse des Anwendungsbereiches und der Arbeitsweise der Zylinder ist bereits bei der Auswahl der Dichtungen erforderlich.
- Weiters muß damit gerechnet werden, dass sich Führungen im Lauf der Zeit abnutzen. Meist liegt die Kolbenstange außermittig bzw. "einseitig" an. Zur Sicherheit immer vom größtmöglichen Spaltmaß bei der Auswahl der Dichtungen bzw. Festlegung der Passung ausgehen.

- **Zerstörung von Dichtungen und O-Ringen durch Luftblasen**

Die Ursache der Beschädigungen sind gelöste und nicht gelöste Luftanteile im Öl. Es treten dabei drei Beschädigungsarten auf, die sich im Prinzip wie folgt beschreiben lassen:

1. Die Luftbläschen werden unter Druck komprimiert und diffundieren in die Dichtungswerkstoffe ein. Bei Druckabbau expandieren sie wieder und reißen Gummiteile aus dem Dichtungswerkstoff.
2. Die Luftbläschen sammeln sich in Dichtungsnuten. Bei sehr schnellem Druckanstieg kann das Öl-Luft-Gemisch so stark erhitzt werden, dass es zu Kompressionszündungen kommt = Dieseleffekt.
3. Bei dynamisch beanspruchten Dichtungen und auch Führungen expandiert die Luft wenn sie durch die Bewegung an die druckabgewandte Seite kommt. Erst reißt sie dort kleine Teile des Dichtungswerkstoffes weg. Über die geschwächten Stellen strömt das Öl mit enormer Geschwindigkeit und trägt das Material linienförmig in kleinen Kanälen ab (Kavitation).

Um diese Zerstörungen zu vermeiden nützt nur sorgfältiges Entlüften des Hydrauliksystems vor Inbetriebnahme und die Verwendung von Entlüftungsschrauben am obersten Punkt der Zylinder und Leitungen, wo sich im Lauf der Zeit die nicht gelöste Luft ansammelt.

- **Stick-Slip-Effekt (Reibung)**

Da die Haftreibung (Anfahrreibung) von Dichtelementen höher als die Gleitreibung (Bewegungsreibung) ist, kommt es bei manchen Anwendungen zu ständig wechselnden Reibverhältnissen. Die Höhe der Bewegungsreibung ist hauptsächlich von der Gleitgeschwindigkeit und der Schmierfilmbildung unter der Dichtlippe abhängig. Bei ungünstigen Temperaturen und langsamer Bewegung kann der Schmierfilm wieder "abreißen". "Stick-Slip", eine laufende Wiederholung von Schmierfilmaufbau und Haftreibung zwischen Gleitfläche und Dichtelement ist die Folge. Als Gegenmaßnahme setzt man Dichtungstypen mit geringer Reibung ein. Materialien wie PTFE (S16/S216, K54/K254) aber auch TPE (S716 / K754) bieten sich an.

### Haftreibung:

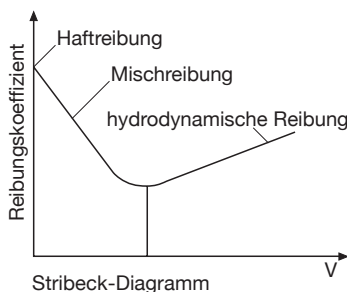
Die Dichtlippe liegt an der Gegenfläche an.

### Mischreibung:

Durch Bewegung der Dichtfläche entsteht ein Schmierfilm.

### Hydrodynamische Reibung:

Bei höherer Geschwindigkeit "hebt" die Dichtlippe vollends ab. Die Reibung entsteht ausschließlich durch Schubspannung in der Flüssigkeit.

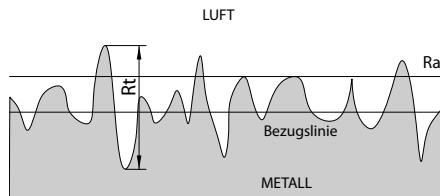


Dynamische Dichtungen arbeiten in der Praxis meist im Bereich der Mischreibung. Der ausgeschleppte Ölfilm wird wieder ins System zurückgefördert.



# Oberflächenrauheit

Die Oberflächenrauheit von Stangen und Zylinderrohren hat einen entscheidenden Einfluß auf die Lebensdauer und die Dichtheit (Leckagemenge) des eingesetzten Dichtsystems.



Bitte beachten: der vertikale Maßstab entspricht dem 40-fachen des horizontalen Maßstabes.

## Definition

Es können viele Parameter zum Beschreiben einer Oberflächenbeschaffenheit herangezogen werden. Die in der Fluidtechnik am häufigsten zur Anwendung kommenden Parameter werden in den Normen ISO 4287 und ISO 4288 beschrieben.

## R<sub>t</sub>-Wert

ist der senkrechte Abstand zwischen höchstem und tiefstem Punkt des Rauheitsprofils innerhalb der Messstrecke "ln".  
Hohe R<sub>t</sub>-Werte wirken sich negativ auf den Dichtungsverschleiß aus.

## R<sub>a</sub>-Wert

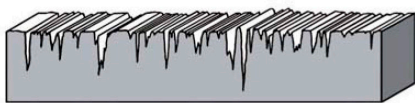
ist als das arithmetische Mittel der Absolutbeiträge aller Rauheiten innerhalb der Messstrecke des betrachteten Profils.  
Größere R<sub>a</sub>-Werte ziehen in der Regel höhere Leckagewerte nach sich.

## R<sub>a</sub> und R<sub>t</sub>

reichen nicht aus um die Qualität einer Oberfläche zu beschreiben. In der Praxis ist auch die Profilform von entscheidender Bedeutung. Ein Profil wie in **Bild x** zu sehen, würde mit den herausragenden Spitzen zu schnellem Verschleiß der Dichtung führen. Bevorzugt werden sollte daher ein Profil wie in **Bild y** mit geringen Spitzen, aber einzelnen Vertiefungen um eine optimale Schmierung für die Dichtungen und Führungen zu erreichen.



**Bild x** R<sub>a</sub> = 0,2 µm, R<sub>mr</sub> = 40 %



**Bild y** R<sub>a</sub> = 0,2 µm, R<sub>mr</sub> = 80 %

Derartige Oberflächenprofile lassen sich durch den Materialanteil R<sub>mr</sub> charakterisieren, welcher das in Prozent angegebene Verhältnis von materialerfüllter Länge zur Gesamtmessstrecke "ln" im Schnittniveau "c" ist.

## Dynamische Gegenaufläen

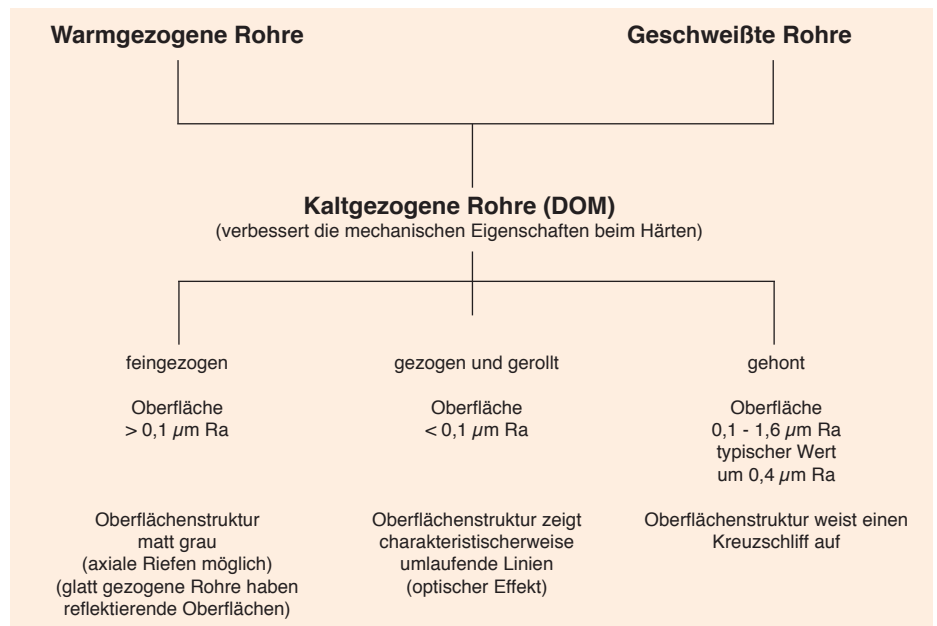
### Oberflächen von Kolbenstangen

sind üblicherweise hartverchromt. Die Härte der Oberfläche sollte mindestens 45 HRC, besser 55 - 60 HRC betragen, was exzellente tribologische Eigenschaften der Oberfläche ergibt. Erfahrene Hersteller produzieren in der Regel Stangenoberflächen zwischen 0,05 bis 0,3 µm R<sub>a</sub>. Die optimale Oberflächenrauheit kann jedoch in Abhängigkeit des verwendeten Dichtungsmaterials und den Anforderungen in speziellen Anwendungen von diesen Werten abweichen.

### Oberflächen von Zylinderrohren

Die typischen Methoden zur Oberflächenherstellung von Zylinderrohren sind in untenstehender Übersichtgrafik beschrieben.

- **Gezogene Rohre** (DOM = Drawn Over Mandrel) können den Anforderungen im Einsatz nur selten genügen, abhängig von der erreichten Oberflächenstruktur und der Anwendung.
- **Fein gezogene Rohre** (SSID = Special Smooth Inside Diameter) werden zunehmend eingesetzt. Unter bestimmten Bedingungen, insbesondere wenn die Dichtungen unter Druck verfahren werden, kann es zu Dichtungsverschleiß durch Strömungserosion kommen. Verursacht wird dieser durch herstellungsbedingt vorhandene axiale Riefen in der Oberfläche des Zylinderrohres. Gezogene Rohre erfordern eine umsichtige Spezifikation.
- **Gerollte und gehonte Rohre** sind generell zu bevorzugen.  
Achtung: Bei zu glatter Oberfläche (<0,1 µm R<sub>a</sub>) kann es zu einer Behinderung des Schmierfilmaufbaus kommen. Eine trocken laufende Dichtung hat eine erheblich verkürzte Lebensdauer.  
Gehonte Rohre mit einer Rauheit zwischen 0,1 und 0,4 µm R<sub>a</sub> sind zwar die teuerste Herstellungsvariante für Zylinderrohre, haben sich aber als die beste Gegenaufläe für Kolbendichtungen erwiesen.



Typische Herstellungsmethoden für Hydraulikzylinderrohre und daraus resultierende Oberflächenstrukturen.

## Statische Flächen

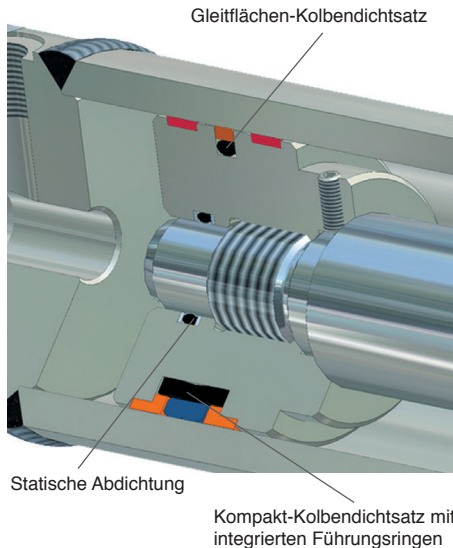
Die Beschaffenheit der statischen Dichtflächen darf zur Vermeidung von Leckagen nicht vernachlässigt werden. Diese Oberflächen sollten feingedreht und frei von Rattermarken sein.

Weitere Details finden Sie auch in den Einzeldatenblättern.

Bei Fragen bezüglich der Eignung von Dichtelementen für bestimmte Oberflächengüten wenden Sie sich bitte an unsere Technik - HENNLIICH & ZEBISCH berät Sie gerne.



# Wissenswertes zu Kolbendichtungen



## Dynamische Kolbendichtung

Grundsätzlich muß man zwischen einfachwirkenden und doppelwirkenden (beidseitig druckbeaufschlagten) Hydraulik-Zylindern unterscheiden:

### Allgemeines:

Aus Kostengründen sind einteilige Kolben zweiteiligen Konstruktionen vorzuziehen.

Die Endbearbeitung der Lauffläche des Rohres soll erst nach Durchführung der je nach Bauart zu erledigenden Schweißarbeiten (Anschlußgewinde, verschweißte Zylinderböden) gemacht werden (Gefahr von Ovalität durch Schweißverzug).

Handelsübliche, nahtlose oder geschweißte Rohre mit gehonten Oberflächen sind aus dichtungstechnischer Sicht zu bevorzugen.

Bei gerollten Rohren mit sehr feinen Oberflächen sind Gummi- und Gummi-Gewebe-Dichtungen nicht geeignet. Es müssen PTFE- oder TPE Dichtungen (K54/K254, K754, K730, K735, ...) verwendet werden.

Wesentlich für die Dichtungsauswahl ist auch, ob es sich um **gedämpfte** oder **unge-dämpfte Zylinder** handelt. Gerne empfehlen wir Ihnen eine geeignete Dichtungstypen und senden Ihnen unseren technischen Fragebogen zu.

## Einfachwirkende Zylinder

- sind dichtungstechnisch genau wie Stangendichtungen zu betrachten, nur dass die dynamische Bewegung außen ist.
- In der Praxis sollte darauf geachtet werden, dass der nicht druckbeaufschlagte Zylinderraum entweder im Ölkreislauf abgeschlossen wird oder dass zumindest das Eindringen von Feuchtigkeit und Schmutz (Flugrostbildung) durch Sinterbronzefilter etc. weitestgehend verhindert wird.
- Wichtig ist die Wahl möglichst leakagearmer Dichtungen, wie z.B. Hythane-Nutringe K606.
- Bei einfachwirkenden Zylindern ist auf eine gute Rohroberfläche besonders zu achten. Um geringe Leckage zu erzielen, müssen Oberflächenwerte wie bei Kolbenstangen angestrebt werden.

## Doppelwirkende Zylinder

- Hier ist dichtungstechnisch vorerst festzulegen, ob der Zylinder am Kolben "leakgedicht" sein muß. (Positionieren, Halten von Lasten - auch bei abgesperrtem Ventil). Oder ob minimale "Leckagen" über den Kolben erlaubt sind. (Weil der Zylinder immer in die Endlage fährt und die Pumpe den Ölstrom dabei bis zum Umschalten weiterfördert.) Als "leakgedichte" Standardreihen stehen K730, K753 und K780 und je nach Aufgabenstellung und Belastung auch K754, K764 und K735 zur Verfügung.
- Bei sehr schnellen Bewegungen, wo eine gewisse Leckage zur besseren Schmierung und Reibungsverminderung z. B. bei auf tretenden hohen Frequenzen erwünscht ist, empfehlen wir die Standard-PTFE-Dichtung K54/K254.
- Für hohe Druckspitzen und robusten Betrieb (Stahlwerke, Pressen) sind nach wie vor NBR-Gewebe-Dachform- und Nutring-Dichtsätze (K51, K52) im Einsatz. Weiters empfehlen sich moderne Dichtungstypen wie die TPE-Kolbendichtung K730 (erlaubt statische Drücke bis zu 1.200 bar) und K735 (Baggerbetrieb).

## Statische Abdichtung (am Kolben innen)

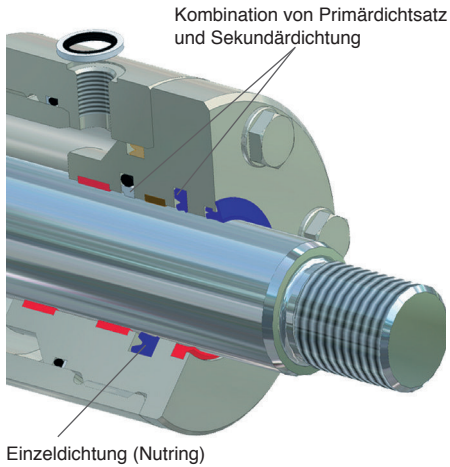
- Bei verschweißten Kolben ist zu beachten, dass bei Beschädigung der Stange auch der Kolben gewechselt werden muß. Unsachgemäße Fertigung kann Schweißverzug und unzulässige Führungsbelastung verursachen.
- Bei verschraubten Kolben können die inneren statischen O-Ringe je nach den gegebenen Platzverhältnissen am Stangenzapfen oder im Kolben angeordnet sein. Eine Schraubensicherung ist vorzusehen.
- Bei gedämpften Zylindern zeigt die Praxis, dass auch die statischen O-Ringe innen am Kolben Extrusionsverschleiß unterliegen. Die Anordnung beidseitiger Stützringe ist sinnvoll.

## Statische Abdichtung - Zylinderboden/Zylinderrohr

Wenn der Zylinderboden nicht geschweißt, sondern z.B. geschraubt oder geflanscht wird, gelten die gleichen Kriterien wie bei der Abdichtung des Zylinderkopfes. Siehe „Wissenswertes zu Stangendichtungen“.



# Wissenswertes zu Stangendichtungen



## Dynamische Stangendichtung

Vorauswahl hinsichtlich Druckbeanspruchung, Temperatur und Gleitgeschwindigkeit in Tabelle im Kapitel „Stangendichtungen“. Beanspruchungsart/Verwendungsart des Hydraulikzylinders mit einbeziehen.

Bei besonderen Problemen wenden Sie sich bitte an unsere Kundenberatung. Es hilft uns, wenn Sie dazu den technischen Fragebogen ausgefüllt an uns senden. Beachten Sie, dass bei hochbeanspruchten Zylindern Anforderungen wie Leckagedichtheit bei gleichzeitiger Leichtgängigkeit sowie langer Lebensdauer und möglichst auch Wartungsfreiheit oftmals nur mit Dichtsystemen beherrscht werden können.

Zumeist ist es von Vorteil, hochwertige Dichtelemente nach genauer Prüfung der Abdichtungsart einzusetzen. Sie erreichen damit eine längere Lebensdauer. (Auch eine hochwertige Stangendichtung und ein guter Abstreifer kosten im Vergleich zu einer Reparatur wenig).

Siehe auch die allgemeinen Bemerkungen zu Leckagedichtheit, Oberflächengüte und Reibungsverschleiß.

Montage-Empfehlungen der verschiedenen Dichtungstypen entnehmen Sie bitte den Einzelblättern bzw. der allgemeinen Beschreibung im Kapitel „Stangendichtungen“.

## Statische Abdichtung (Zylinderkopf/Rohr)

Zuerst die Platzverhältnisse prüfen und O-Ring-Schnurdurchmesser  $d_s$  so groß wie möglich wählen. Siehe auch Kapitel O-Ringe.

Bei hohen oder pulsierenden Drücken hinter dem O-Ring einen Stützring vorsehen.

Bei der Montage der O-Ringe darauf achten, dass alle Nuten entgratet sind.

Die Einbauschrägen müssen ebenfalls entgratet und gut gerundet sein.

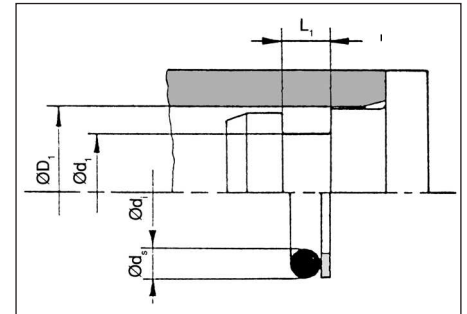
Vorsichtig aufdehnen und darauf achten, dass der O-Ring nicht verdrillt eingebaut wird. Nicht über zylindrische Flächen "rollen".

Gewinde z.B. mit Kunststoff-Hülsen abdecken.

Bei Verwendung von Stützringen die endlose Ausführung bevorzugen - auf richtige Auslegung achten.

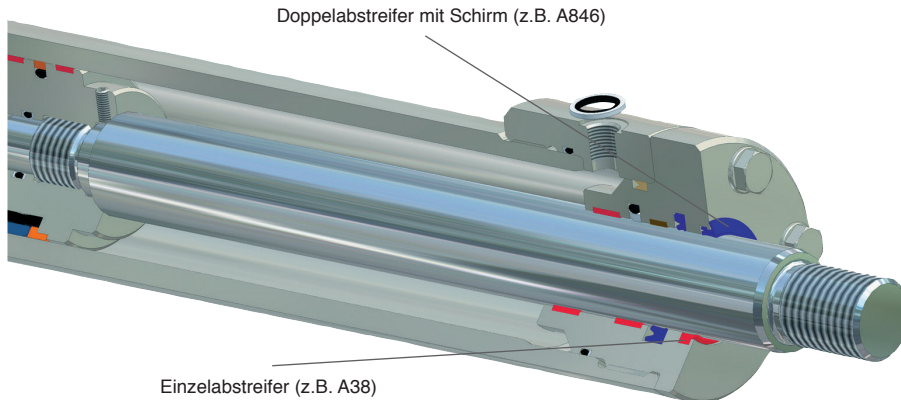
Siehe auch Kapitel Statische Abdichtung - Stützringe.

Die Clic-Montage-Version ermöglicht eine einfache und schnelle Montage.





# Wissenswertes zu Abstreifer



Abstreifer sind sehr wichtige Elemente an Hydraulikzylindern. Sie schützen das "Innenleben" vor dem Eindringen von Schmutz und Feuchtigkeit von außen. Leider wird ihrem Einfluß auf das Dichtsystem oft zuwenig Beachtung geschenkt.

## Die Hauptauswahlkriterien

- Verschmutzungsgrad der Umgebung
- Temperaturbeanspruchung
- Leckagedichtheit der gewählten Stangendichtung

Der minimale, aber doch notwendige, ausgeschleppte Mikro-Restölfilm soll beim Rückhub unter der Abstreiflippe wieder ins Zylinderinnere zurückgezogen werden. Staub und Schmutzpartikel müssen aber abgestreift werden.

### Für extreme Einsatzfälle

z.B. Baggerbetrieb, Minustemperaturen mit Gefahr der Eisbildung an den Stangen, Stahl- u. Hüttenwerksbetrieb mit heißer, staubiger Umgebung und Zunder eignet sich besonders die Abstreiferqualität A38.

Sie bedingt aber Dichtungen mit geringem Restölfilm an der Stangenoberfläche, da A38 besonders gut abstreift.

Geeignet sind z.B. Hythane-Nutringe mit zwei inneren Dichtkanten (S605, S610, S621) oder Dachformdichtsätze.

### Stangen mit etwas "dickerem" Ölfilm

(z.B. von harten Nutringen) sollten mit Polyurethan-Abstreifern (A831, A834, A860) geschützt werden.

### Sehr schnell bewegte Stangen

werden mit PTFE-Dichtungen (S16/S216) gedichtet, die einen relativ "dicken" Mikro-Ölfilm auf der Stange belassen.

Man zieht in diesem Falle PTFE-Abstreifer (A116, A117) vor.

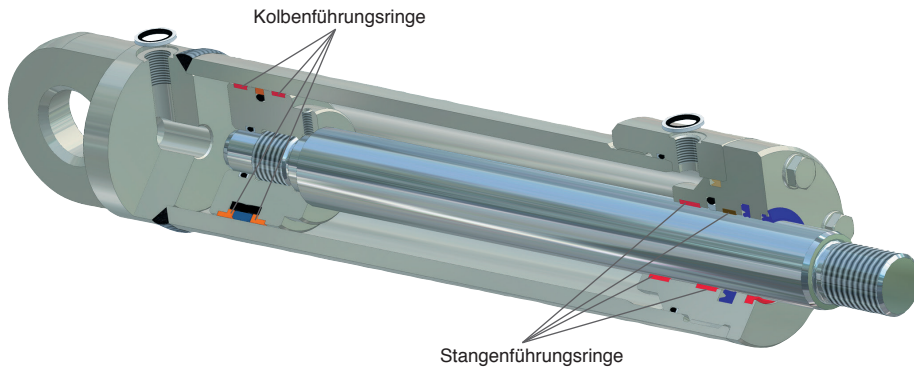
Wenn möglich soll aber angestrebt werden, die Ölfilmthicken in Stufen zu reduzieren und so den Einsatz "guter" Abstreifer zu ermöglichen: z.B. S16 + S616 + A846. (A846 ist ein Doppelabstreifer mit Entlastungsfunktion.)

Generell sollen bei Neukonstruktionen Abstreifer zum Einschnappen in eingestochene Nuten denen mit Metallversteifung vorgezogen werden. Bei ungünstiger Lage der Toleranzfelder, oder bei Durchbiegungen der Stange bei langen Hüben, kann es in der Praxis vereinzelt vorkommen, dass Abstreifer aus axial offenen Aufnahmebohrungen gezogen werden.

Bitte fragen Sie unsere Anwendungstechniker.



# Wissenswertes zu Führungen

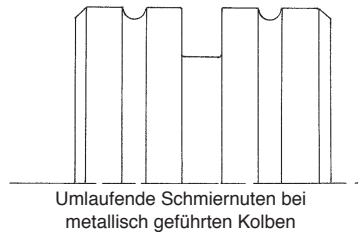
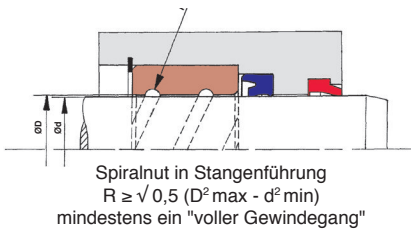


Wichtig für das gute Funktionieren von Hydraulik-Zylindern sind ausreichend ausgelegte Führungen.

Bei der Berechnung sind immer die maximal auftretende Querkraft bzw. das ungünstigste Moment zugrunde zu legen.

Besonderes Augenmerk ist schrägen Anschlägen, nicht zueinander fluchtenden Teilen und möglichen Wärmedehnungen zu schenken.

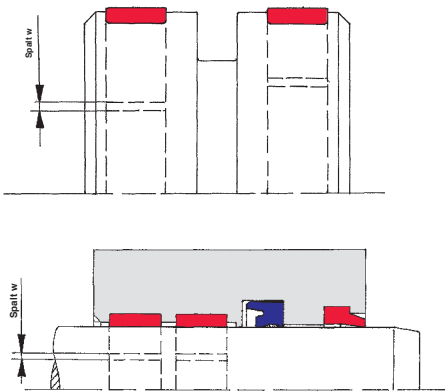
## Metallführungen



Der Druckausgleich durch axiale Bohrungen ist nicht vorteilhaft, weil die Strahlwirkung der Hydraulikflüssigkeit die Stangendichtung zerstört.

Alle Kanten abschrägen und Grate wegschleifen um ein Ausbrechen bei Verkantungen zu verhindern. Es sollen Spiralnuten in Stangenführungen bzw. umlaufende Schmiernuten in Kolben angeordnet werden. Sie vermeiden dadurch weitgehend den Aufbau von hydraulischem Schleppdruck durch den Gleitlagereffekt langer Führungen.

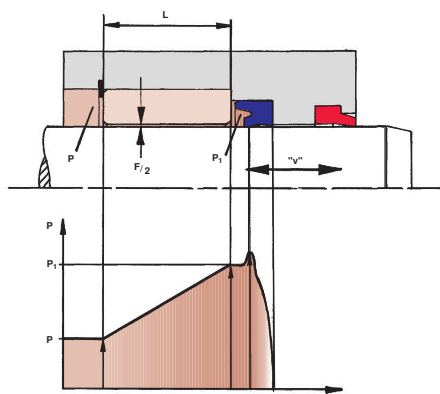
## Kunststoff-Führungsringe



### Kunststoff-Führungsringe

Sie haben im Vergleich zu Metallführungen den Vorteil, dass Schläge von außen und Schwingungen in gewissem Umfang gedämpft werden. Oftmals ist der Einsatz von fertigen Führungsringen auch preiswerter, weil Kolben und Zylinderkopf aus Stahl verwendet werden können, was teure Grauguß-, Rotguß- bzw. Bronzelegierungen erspart. Verschweißte Kolben und Zylinderköpfe anstelle von geschraubten Teilen werden möglich. Kunststoff-Führungsringe sollen so angeordnet werden, dass sie vom Medium geschmiert werden (vor der Stangendichtung).

## Aufbau von hydrodynamischem Schleppdruck



In langen Führungen mit engem Spalt baut sich durch die Schleppströmung ein hydrodynamischer Druck zusätzlich zum Systemdruck auf. Die Höhe dieses Drucks ist abhängig von der Führungslänge, der Spaltgröße  $F$ , der Gleitgeschwindigkeit und der Viskosität des Druckmediums. Es ist bei metallischen Führungen zweckmäßig, Spiralnuten bzw. umlaufende Schmiernuten anzuordnen, um diesen Druckaufbau zu vermeiden. Bei Verwendung von Kunststoff-Führungsringen ist der Druckausgleich bereits durch die axiale Spalte gegeben.



# Berechnung des max. zulässigen Dichtspaltes

Die Einzel-Datenblätter enthalten Angaben über den maximalzulässigen Dichtspalt für Dichtungen im Einsatz. Diese Angaben sind Anhaltswerte und dienen hauptsächlich als Vergleichswerte der Dichtungstypen und -werkstoffe untereinander. Der tatsächliche Wert für Dichtspalte ist natürlich u.a. abhängig vom jeweiligen Durchmesser und Profilquerschnitt der Dichtung.

Der Dichtspalt kann anhand der Bauteiltoleranzen und unter Berücksichtigung eventuell auftretender Aufweitungen beziehungsweise Verformungen unter Druck wie folgt errechnet werden:

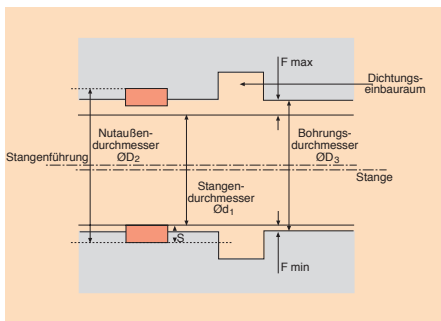
## Stangen

### Maximaler Dichtspalt

$$F \max = \frac{(\varnothing D_3 \max + \varnothing D_2 \max)}{2} - S \min - \varnothing d_1 \min$$

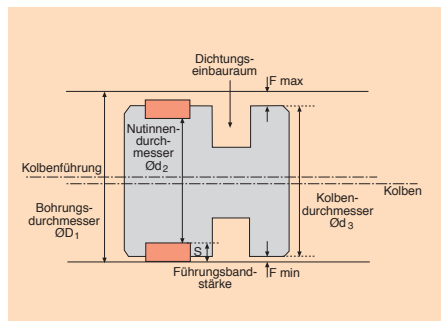
### Minimales metallisches Führungsspiel (Dichtspalt)

$$F \min = S \min - \frac{(\varnothing D_2 \max - \varnothing D_3 \min)}{2}$$



### Stangenföhrung

Achtung: die Stange ist wegen des Föhrungsspielcs nicht konzentrisch zur Stangenbuchse (Darstellung übertrieben)



### Kolbenföhrung

Achtung: der Kolben ist wegen des Föhrungsspielcs nicht konzentrisch zur Zylinderbohrung (Darstellung übertrieben)

## Kolben

### Maximaler Dichtspalt

$$F \max = \varnothing D_1 \max - S \min - \frac{(\varnothing d_3 \min + \varnothing d_2 \min)}{2} + \text{Aufweitung/Verformung}$$

### Minimales metallisches Führungsspiel (Dichtspalt)

$$F \min = S \min - \frac{(\varnothing d_3 \max - \varnothing d_2 \min)}{2}$$

Berechnen Sie sowohl F max als auch F min.

Stellen Sie sicher, dass F min größer als 0,1 mm und F max kleiner als der im Datenblatt der Dichtung genannte maximal zulässige Dichtspalt in Abhängigkeit vom vorgesehenen Betriebsdruck ist.

Für metallische Föhrungen ist die Berechnung des Dichtspaltes einfacher:

Für F max:

Stange :  $\varnothing D_3 \max - \varnothing d_1 \min$

Kolben :  $\varnothing D_1 \max - \varnothing d_3 \min + \text{Aufweitung/Verformung}$

F min muss Null sein.

Maximaler Dichtspalt = F max (siehe Zeichnung)

F max ist der maximal zulässige Extrusionsspalc für die Dichtung.

Minimales metallisches Führungsspiel = F min (siehe Zeichnung)

F min muss auch für Zylinder mit geringen Seitenkräften > 0,1 mm betragen.

**Spaltextrusion hängt zudem eng mit Betriebsdruck und -Temperatur zusammen.**

**Generell lässt sich sagen, dass Dichtungen bei möglichst kleinen Spaltmaßen die besten Einsatzergebnisse und die höchste Lebensdauer erzielen.**

Die in den Datenblättern angegebenen Werte für die Dichtspalte sind Maximalwerte.

Mittenversatz und Rohraufweitungen beachten!

