

9. Schäden an O-Ringen

Es ist oft schwierig, ein Urteil darüber abzugeben, ob konstruktive Parameter, Montagefehler oder sich ändernde Betriebsbedingungen für den Ausfall von O-Ringen verantwortlich sind. Meist sind es verschiedene, gleichzeitig auftretende Ursachen, die zu Fehlern führen.

Deshalb ist es wichtig, ein Maximum an Betriebsdauer und Zuverlässigkeit zu erreichen, indem durch gute Konstruktionspraxis, richtige Werkstoffauswahl, praktische Tests und geschultes Montagepersonal die Wahrscheinlichkeit eines Dichtungsausfalls reduziert wird.

Die aufgeführten Ausfallursachen stellen die häufigsten Arten dar, und beschreiben deren Abhilfe.

9.1 Die Anforderungen an O-Ringe

Der Einsatz einer Dichtung in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen kann zu jeweils anderen Anforderungen führen. In der Regel werden gefordert:

- Medienbeständigkeit
- Temperaturbeständigkeit
- Druckbeständigkeit
- Abriebbeständigkeit
- geringer Platzbedarf
- Austauschbarkeit
- kurze Lieferzeit
- Verfügbarkeit
- preiswerte Dichtung

Weil die Einsatzmöglichkeiten vielfältig sind und die relativ einfache Geometrie vorgegeben ist, haben die chemischen und physikalischen Eigenschaften besondere Bedeutung. An dieser Stelle setzt unsere Anwendungsberatung ein, um aus der Vielzahl von synthetischen Kautschukqualitäten diejenige zu bestimmen, die den Anforderungen am besten gerecht wird oder einen guten Kompromiß zwischen den unterschiedlichen Anforderungen bildet.

Die Fehler lassen sich meist am O-Ring selbst erkennen. Dadurch ist eine Korrektur, zum Beispiel in Form einer Werkstoffänderung, möglich.

9.2 Extrusion oder Spalteinwanderung

Der Druckaufbau und seine Folgen

Der O-Ring dichtet aufgrund seiner Elastizität in verpreßtem, drucklosen Zustand zwischen zwei Dichtflächen (Bild 9.1). Bei Druckaufbau verhält sich der O-Ring wie eine inkompressible Flüssigkeit und erhöht proportional zum Druck seine Anpreßkraft auf die Dichtflächen (Bild 9.2). Mit steigendem Druck wird ein immer größeres O-Ring-Volumen in den Dichtspalt gedrückt, schert ab – wird „abgeschält“ – oder wird durch das Atmen der Maschinenteile „angeknabbert“ (Bild 9.3 und 9.4).

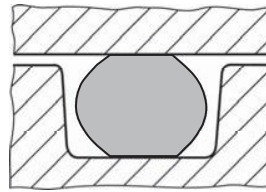


Bild 9.1 Der O-Ring dichtet aufgrund seines elastischen Verhaltens im verpreßten drucklosen Zustand zwischen zwei Dichtflächen

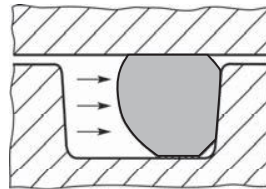


Bild 9.2 Bei Druckaufbau verhält sich der O-Ring wie eine inkompressible Flüssigkeit und erhöht proportional zum Druck seine Anpreßkraft

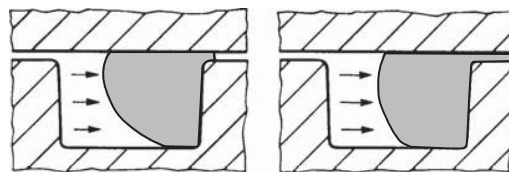


Bild 9.3 und 9.4 Bei höherem Druck wird ein größeres O-Ring-Volumen in den Dichtspalt gedrückt

Abhilfe bringt hier ein Stützring, der die Spalteinwanderung verhindert (Bild 9.5).

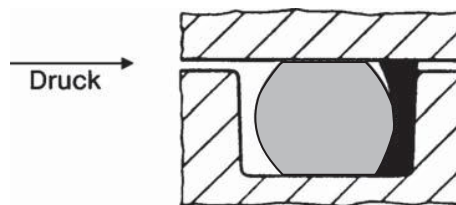


Bild 9.5 Der Stützring auf der druckabgewandten Seite verhindert die Spalteinwanderung

„Abgeschälte“ oder „angeknabberte“ Oberflächen kennzeichnen den häufigsten Fehler an O-Ringen (Bild 9.6 bis 9.8). Dabei wird das ausgepreßte O-Ring-Volumen in den Dichtspalt eingeklemmt und abgeschert.



Bild 9.6 Extrudierter O-Ring

9. O-ring failure

9. O-ring failure

Although made responsible for many disasters, O-rings seldom are the cause. More frequently the people responsible for design, assembly or maintenance have made an error.

Optimum lifetime and reliability can be achieved only by selecting the proper O-ring compound and having full understanding of the various factors that influence the function of a seal.

The following descriptions characterize the most frequent types of O-ring failures, stating their causes and how these can be corrected to prevent future failure.

9.1 Requirements to be met by O-rings

Since seals are used in a wide range of different applications, the resulting requirements may differ as well. Typical requirements include:

- Media resistance
- Temperature resistance
- Pressure resistance
- Abrasion resistance
- Space-saving design
- Exchangeability
- Short lead times
- Availability
- Cost effectiveness

Owing to the diversity of applications and the fact that the relatively simple geometry is specified, chemical and physical properties are particularly critical factors. This is where our field application consulting support comes in to help identify the material best suiting the user's needs from the wide range of synthetic rubber compounds available or to select the one that offers a viable compromise for the various requirements.

Usually, defects are evident directly on the o-ring. This enables corrections to be made, such as changing the compound.

9.2 Extrusion or clearance gap

The effect of pressurisation

The pressure ranges given by the extrusion diagram (Fig 8.6) have been obtained by experiment and give important hints as to when it is necessary to use backup rings. See figures 9.1, 9.2, 9.3 and 9.4.

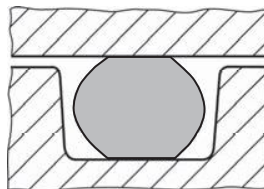


Fig. 9.1 Before pressurising, the O-ring sits deformed between two prepared surfaces

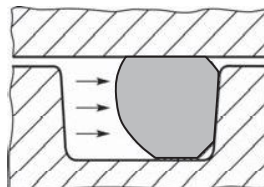


Fig. 9.2 On pressurising, the O-ring acts like an incompressible fluid, exerting a pressure on the gland proportional to the system pressure

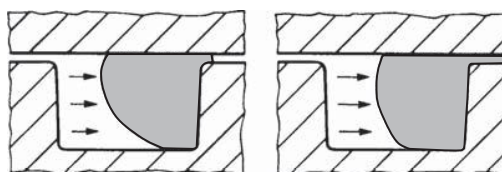


Fig. 9.3 and 9.4 At high pressure a large volume of material is forced into the clearance gap with in turn damage the O-ring

A Parbak® ring prevents extrusion of the O-ring (Fig. 9.5).

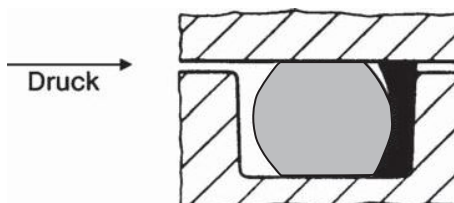


Fig. 9.5 A back-up ring placed on the pressure side of the O-ring resists the O-ring entering into the clearance gap

Extrusion is characterized by "peeling" or "nibbling" of the O-ring surface and is the most common cause of O-ring failure (see Fig. 9.6 top 9.8).



Fig. 9.6 Extruded O-ring

9. Schäden an O-Ringen



Bild 9.6 Extrudierter O-Ring



Fig. 9.8 Peeled O-ring

Extrusion (Spalteinwanderung) kann auftreten bei:

- Dynamischen Abdichtungen
- Statischen Abdichtungen mit pulsierendem Druck
- Statischen Abdichtungen mit hohem Druck
- Atmenden Maschinenteilen
- Zu großen Dichtspalten

Die Ursachen sind bekannt: Der Zwang zur wirtschaftlichen Bearbeitung hat häufig zu große Toleranzen und damit zu breite Dichtspalte zur Folge. In anderen Fällen bleibt unberücksichtigt, dass sich Deckel, Flansche oder Zylinderwände unter Druckbeaufschlagung elastisch aufweiten oder Verschraubungen dehnen.

Dann reicht die innere Festigkeit des Elastomer-Werkstoffes nicht mehr aus, um sich schneller zurückzuziehen als das Maschinenteil, das den Spalt öffnet. Oder die Festigkeit des Elastomers wird überschritten, Teile des O-Rings scheren ab und werden in den Spalt gedrückt.

Zur Beurteilung der Extrusionsbeständigkeit kann der Spannungswert (Modul bei 100% Dehnung gemessen in N/mm²) dienen. Liegen diese Werte nicht vor, kann man die Härte als Kriterium für den Widerstand gegen Auspressung heranziehen.

Die physikalischen Eigenschaften (Spannungswerte) können sich durch erhöhte Temperatur und durch Quellung verschlechtern.

Weitere Einflüsse, die Extrusion bewirken, sind:

- zu weiches O-Ring-Material
- physikalische und/oder chemische Einwirkungen (Quellung, Härteänderung usw.)
- unregelmäßiger Spalt durch Exzentrizität
- scharfkantige O-Ring-Nut
- überfüllte Nut
- bei höheren Temperaturen weicher werdender O-Ring-Werkstoff

Wenn aufgrund der aufgeführten Ursachen Spalteinwanderung auftritt, kann der Ausfall des O-Rings durch folgende Maßnahmen verhindert werden:

- engere Toleranzen, die das Spaltmaß verringern
- Stützring einsetzen
- Härte des O-Ring-Werkstoffes erhöhen
- Medienbeständigkeit überprüfen
- Toleranzen einengen, die zur Exzentrizität führen, oder Änderung der Maschinenteile, die zum Atmen führen
- Nutradius brechen (mindestens 0.10 bis 0.40 mm).

Die Bereiche, in denen infolge von hohen Drücken bzw. großem Durchmesser Spiel Stützringe eingesetzt werden müssen, sind aus Bild 9.6 (Kapitel 9 „Parbak® -Stützringe“) ersichtlich. Bei wechselseitig bewegter Abdichtung sind zwei Stützringe zu verwenden.

9.3 Ausfall durch hohe bleibende Verformung

Ein weiterer häufiger Dichtungsfehler entsteht durch die bleibende Formänderung eines O-Ringes im eingebauten Zustand. Wenn der O-Ring nicht mehr elastisch an den Dichtflächen anliegt, dichtet er nicht mehr.

Die Ursache hierfür liegt überwiegend im Werkstoff des O-Rings und den Betriebsbedingungen.

Die elastische Eigenschaft des Materials hängt einerseits von der Gummizusammensetzung und der Betriebstemperatur, aber auch von Art und Dauer der Verformung sowie von der Alterungseigenschaft und der chemischen Beständigkeit ab. Die Dichtwirkung des O-Rings beruht maßgeblich auf einem **niedrigen** Druckverformungsrest. Dieser beschreibt das elastische Verhalten im Betriebszustand und über die Betriebszeit (vgl. Kapitel 6.5 „Druckverformungsrest“).

Ganz allgemein läßt sich das Nachlassen der elastischen Eigenschaft durch den Verlust von Bindungen in der Molekularstruktur oder durch die Bildung zusätzlicher Bindungen (unter Energiezufuhr – Verhärtung) erklären. Der Druckverformungsrest in der Kälte ist im allgemeinen reversibel: Mit zunehmender Temperatur kehrt die Elastizität und damit die Anpreßkraft auf die Dichtflächen zurück. Hieraus ergibt sich ein Maß für die Kälteflexibilität des Elastomers.

Die Ursachen für hohe bleibende Verformung und für den damit verbundenen Verlust der Dichtwirkung sind:

- mangelhafte Werkstoffqualität
- falsche Auslegung der Nut (zu geringe und ebenso zu starke Verformung erhöht den prozentualen Druckverformungsrest, siehe Kapitel 6.5 „Druckverformungsrest“)
- Betriebstemperatur ist höher als angenommen (der Gummi verhärtet)
- Kontakt mit unverträglichen Medien.

Ausfälle aufgrund dieser Fehler lassen sich durch folgende Änderungen verhindern:

- Auswahl eines beständigen O-Ring-Materials, das den Betriebszuständen entspricht
- Verwendung einer qualitativ guten Werkstoffmischung mit geringer bleibender Verformung
- Reduzierung der Systemtemperatur an der Dichtung
- Reduzierung der Reibungswärme
- Materialkontrolle der O-Ringe
- richtige Auslegung der Nut.

9. O-ring failure



Bild 9.6 Extruded O-ring



Fig. 9.8 Peeled O-ring

Extrusion is caused by:

- dynamic sealing
- static sealing with pulsating pressure
- static sealing with high pressure
- machine parts prevent breathing
- large clearance

The main reason for this failure is known. The production department needs larger tolerances for more economic manufacture. The other reason which goes largely unnoticed is the tendency of lids, flanges or cylinders to flex and that of bolts to stretch under load.

Extrusion is caused by the O-ring cross-section being forced into the clearance gap (see Fig 9.4). This type of failure is exaggerated in dynamic applications where material is clamped in the clearance gap and sheared. Machine elements which "breathe" or operate under high or pulsating pressures are particularly susceptible.

The resistance to extrusion of materials can be optimally compared using modulus values at 100% elongation. If no modulus values be available, hardness in IRHD can be usefully compared and used to select the appropriate maximum pressure level.

Original physical properties are a function of temperature. An example of this would be silicone (VMQ) and fluorosilicone (FVMQ) elastomers. Both show reduced tensile strength values at higher temperatures. With such compounds the clearance gap should be reduced by 50%.

Extrusion failure is caused by the following situations:

- unnecessarily large clearance
- high pressure
- soft O-ring
- physical or chemical changes which weaken the O-ring
- eccentricity
- sharp edges in O-ring gland
- wrong O-ring size

Corrective action:

- tighten tolerances
- use a back-up ring
- increase hardness of O-ring
- check medium compatibility
- prevent eccentricity
- strengthen machine parts to prevent breathing
- gland radii from 0.10 to 0.40mm

The range of pressures and/or clearance gaps which require the use of Parbak® back-up rings can be seen in Fig 8.6. In reciprocating applications two Parbaks® are necessary.

9.3 Compression set

Compression set, the partial or total loss of an elastomer's elastic memory is the most common failure. It is characterised by double-sided flattening of an O-ring (radial or axial, to application) and can be clearly seen after disassembly.

The problem is caused solely by selection of the wrong compound. Elasticity of a seal depends not only on the rubber recipe but also on working temperature, type and length of deformation and on ageing caused by a medium (e.g. air, steam, acid, petroleum).

Compression set can be described simply as the loss of cross-link sites between molecule chains or as the creation of new sites (brought about through temperature changes).

The compression set clearly visible at temperatures below freezing generally is reversible. At higher temperatures the elasticity returns and the sealing force acts again.

The causes of high temperature compression set and loss in sealing effect are connected and can be described as follows:

- O-ring compound has a poor compression set
- wrong gland dimensions (low deformation gives high compression set, see Section 6.5)
- working temperature higher than expected
- higher deformation through tight gland are
- contact to non-compatible medium (assembly grease or working medium)
- poor O-ring quality

Failures of this kind can be avoided by changes as follows:

- select elastomer with low compression set
- select elastomer to working conditions
- reduce system temperature at seal
- check whether O-ring compound is suitable
- use correct gland design

9. Schäden an O-Ringen



Bild 9.9 Schadensbild durch hohe bleibende Verformung (Compression Set)

9.4 Verdrehte O-Ringe, Spiralfehler

Diese Schäden haben eine typische Erscheinungsform. Die äußeren Merkmale sind spiralförmige Markierungen oder Einschnitte in der O-Ring-Oberfläche, die meist bis zur Zerstörung führen (Bild 9.10 und 9.11).

Die Schäden haben in der Regel folgenden Ablauf:

- Bei bewegten Anwendungen kann dieser Fehler durch unterschiedlich große Verpressungen des O-Ring-Querschnitts in Folge Unrundheit oder Exzentrizität der abzudichtenden Teile eintreten. Dabei gleiten Teile des O-Rings, während andere rollen. Dies führt zu spiralförmigen Markierungen oder Einschnitten durch die Verdrehung des O-Rings. Sie haben meist einen Winkel von unter 45°.
- Bei ruhenden Anwendungen ist der O-Ring meist bereits verdreht in die Nut eingelegt worden. Aufgrund eines ungünstigen Schnurstärke/Innendurchmesser-Verhältnisses (Durchmesser groß und Schnurstärke klein) rollt er auf der Montagefläche in die Nut.



Bild 9.10 Verdrehter O-Ring mit spiralförmigen Markierungen



Bild 9.11 Verdrehter O-Ring mit Einschnitten in der O-Ring-Oberfläche

Die Ursachen der Schäden sind:

- unrunde Bauteile;
- exzentrische Bauteile; hohe Oberflächenrauigkeit;
- fehlende oder mangelhafte Schmierung;
- zu weiches O-Ring-Material (fehlende Formstabilität);
- zu geringe Hubgeschwindigkeit (der Schmierfilm lässt sich wegdrücken);

- Montagefehler (O-Ring bereits gerollt eingelegt);
- ungünstiges Schnurstärke/Innendurchmesser-Verhältnis.

Ausfälle aufgrund dieser Fehler lassen sich durch folgende Änderungen verhindern:

- mögliche Unrundheit oder Exzentrizität der Bauteile verringern;
- geringere diametrale Verformung des O-Ring-Querschnitts;
- Schmierung sicherstellen;
- Verbesserung der Oberflächengüte;
- größeres Schnurstärke/Innendurchmesser-Verhältnis wählen;
- sorgfältige Montage unter Verwendung eines Schmiermittels (z. B. Parker O-Lube oder Super-O-Lube).

9.5 Explosive Dekompression

Da alle Elastomere permeabel sind, dringen Gase unter Druck in das Dichtungsmaterial ein. Je höher der Druck ist, um so mehr Gas wird in die Dichtung hineingepreßt. Wird der Druck in der Umgebung der Dichtung schnell abgebaut, dehnt sich das eingedrungene Gas aus und entweicht, oder es bilden sich Blasen an der Oberfläche. Einige können platzen und die Oberfläche beschädigen. Diesen Vorgang nennt man explosive Dekompression. Die Schadensanfälligkeit hängt z. B. vom Druck, von der Zeit der Druckentlastung, vom Gas, vom Werkstoff und vom Querschnitt des O-Rings ab. Selten treten Probleme unterhalb von 30 bar auf. Im allgemeinen führt CO₂-Gas zu häufigerer Blasenbildung und Oberflächenzerstörung als Stickstoff, jedoch kann jedes komprimierte Gas durch eine plötzliche Entspannung diese Oberflächenzerstörung verursachen (Bild 9.12).



Bild 9.12 Oberflächenzerstörung durch explosive Dekompression

Treten diese Schadensmerkmale auf, kann schon die Verwendung von O-Ringen mit geringerem Querschnitt Abhilfe schaffen, weil sich dadurch die freie Oberfläche verringert. Die Neigung zur Bläschenbildung nimmt im allgemeinen mit zunehmender Härte ab.

Werkstoffe mit sehr hohen Gasdurchlässigkeitsraten – wie z. B. Silikon-Werkstoffe – geben bei einer schnellen Druckentlastung das eingedrungene Gas schneller wieder frei als solche mit sehr niedrigen Gasdurchlässigkeitsraten wie z. B. Butyl-Werkstoffe.

Folgende Werkstoffe zeigen eine gute Beständigkeit gegen die explosive Dekompression: N 552-90, S 604-70.

Maßnahmen zur Verhinderung der Zerstörung eines O-Rings durch explosive Dekompression:

- Verlängerung der Entspannungszeit, so dass das in die Dichtung eindiffundierte Gas langsamer entweichen kann;
- Verringerung der Schnurstärke;
- Wahl eines O-Ring-Werkstoffes, der eine gute Resistenz gegen explosive Dekompression zeigt;

9. O-ring failure



Fig. 9.9 Characteristic compression set. High deformation

9.4 Twisted O-ring, spiral damage

Another O-ring failure is caused by dry running. The O-ring surface is characterized by a spiral mark which eventually develops into a deep cut causing failure (see Fig 9.10 and 9.11).

The failure occurs as follows:

- In a dynamic application rolling of the O-ring is caused by varying deformation of the cross-section (eccentricity), or when the lubricating film breaks during a long stroke allowing rubber/metal contact.
- In a static application the O-ring becomes twisted during assembly. This is mainly due to the unsuitable relationship between large inner diameter and small cross-section diameter.



Fig. 9.10 Twisted O-ring with spiral marking



Fig. 9.11 Twisted O-ring with spiral cuts in surface

The causes of failure are:

- eccentric parts;
- large clearance gap means that moving parts can be non-concentric to static parts;
- rough surface finish,
- non-existent or poor lubrication,
- O-ring material too soft,

- slow dynamic movement (lubricating film breaks up),
- O-ring assembly already rolled.

This failure can be avoided as follows:

- prevent eccentricity,
- improve surface finish,
- use harder O-ring,
- improve lubrication (internal lubrication or lubrication pockets),
- reduce cross-section deformation,
- select alternative seal form.

9.5 Explosive decompression

Since all elastomers are permeable, pressurised gases will permeate the sealing material. The higher the pressure the more gas is pressed into the seal. If the ambient pressure around the seal is reduced quickly, the gas inside the seal will expand and escape, or there will be a formation of blisters. Some of these blisters may burst and damage the surface. This process is called explosive decompression. A seal's susceptibility to damage depends, for example, on pressure, decompression time, the type of gas, type of compound and the o-ring cross-section. Damage rarely occurs below 30 bar. Generally, CO₂ gas is more likely to lead to blistering and surface destruction than nitrogen, yet any compressed gas may cause this type of surface destruction after sudden decompression (figure 9.12)



Fig. 9.12 O-ring damaged by explosive decompression

Whenever there is any indication of such damage the mere use of o-rings with a smaller cross-section may remedy this situation because this reduces the free surface. Normally, the tendency to blister is reduced as hardness increases.

Compounds with very high gas permeability rates – such as silicone compounds – will release the gas inside more quickly in case of rapid decompression than those with very low gas permeability rates, such as butyl compounds.

The following compounds show good resistance to explosive decompression: N 552-90, S 604-70

This problem can be solved in the following ways:

- extend time for decompression
- design for a smaller O-ring cross-section
- select an O-ring material with higher strength
- select an elastomer with higher resistance to explosive decompression

The following Parker compounds show good resistance to explosive decompression: N 552-90, S 604-70.

9. Schäden an O-Ringen

- in extremen Fällen den Einsatz von Parker-Metall-Dichtungen erwägen.



Bild 9.13 Schäden durch Abrieb als einseitige Abflachung an der Innenseite erkennbar

9.6 Abrieb

Bei dynamisch eingesetzten O-Ringen tritt Reibung und damit Abrieb auf. Hierbei sind folgende Zusammenhänge zu berücksichtigen:

- die Reibung ist proportional zur Flächenpressung
- der Abrieb ist proportional zur Reibung
- die Erwärmung der Dichtung ist proportional zur Reibung

Die einzelnen Parameter müssen erfaßt und mit der Medienbeständigkeit zu einem guten Kompromiß vereint werden.

Bei der statischen Anwendung können Schäden durch Abrieb in Verbindung mit sehr hohem pulsierendem Druck auftreten. Durch den pulsierenden Druck wird der O-Ring in der Nut bewegt, was bei einer schlechten Oberflächengüte zu erhöhtem Abrieb führt. Abhilfe kann durch eine geringere Oberflächenrauheit erzielt werden.

9.7 Einbaufehler

Um eine einwandfreie Funktion des O-Rings über lange Zeiträume hinweg zu gewährleisten, müssen bei der Montage folgende Hinweise beachtet werden, um die Dichtungen nicht zu beschädigen. Einbaufehler können entstehen:

- durch Ziehen des O-Ringes über scharfe Kanten und Gewinde
- beim Überfahren von Kammern und Bohrungen in Ventilblöcken
- beim Einsatz überdimensionierter O-Ringe in Kolben/Zylinderanwendungen
- beim Einsatz unterdimensionierter O-Ringe in Stangendichtungen (gedehnt eingebaut, z. B. Joule-Effekt)
- Verdrehen und/oder Abscheren von O-Ringen bei der Montage
- Montieren ohne Montagefett
- durch Verschmutzungen.

Die Einbaufehler lassen sich durch folgende Maßnahmen am besten verhindern:

- Brechen aller scharfen Kanten, Montagehülsen verwenden oder Gewinde abkleben
- Einführschrägen von 15 bis 20° vorsehen
- Sauberkeit bei der Montage
- Montagefett verwenden
- O-Ring-Größen vor dem Einbau prüfen
- mit Umsicht montieren.

Beachten Sie dazu die Einbauhinweise in Kapitel 10.

9. O-ring failure



Fig. 913 Wear is seen as flattening of O-ring on one side

9.6 Wear

Wear is possibly the most understandable form of O-ring failure in reciprocating, rotating and oscillating machine parts. In understanding this type of failure it is important to note that friction is proportional to deformation and that applied pressure and wear are proportional to friction, and further that the temperature increase of the seal is proportional to friction.

The single parameters must be considered along with the medium to arrive at the optimum compromise. In static applications damage through wear is caused by pulsating pressure which causes the O-ring to abrade on relatively rough surfaces or the edges of the glands.

9.7 Fitting errors

Even if all the above hints and rules are observed failure can still occur. Many of these failures can be traced back to assembly stage.

O-rings are highly sensitive precision products and should be treated with the greatest respect. They must not be mishandled. Only assembly carried out with great care will pay a good dividend in the form of a trouble-free machine and a satisfied customer.

The alternative is a piece of equipment which could fail on commissioning or shortly thereafter.

Assembly failures can be caused easily by:

- using undersized O-rings (eventual cause of failure due to "Joule effect")
- twisting, shearing or cutting of O-ring
- assembly without proper equipment
- assembly without lubrication
- assembly under non-clean conditions.

Assembly failures can be avoided by:

- breaking all sharp edges
- leading edge chamfer between 15° and 20°
- cleanliness
- check O-ring size before assembly.

Damage to O-rings can be caused by compounding of the above causes. On the failure of an O-ring all the above causes should be checked. Further information can be taken from section 10. Assembly hints.