



Gleitringdichtungen für Pumpen



Gleitringdichtungen für Pumpen

Copyright 2009 GRUNDFOS Management A/S. Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Dokument ist durch internationale Gesetze urheberrechtlich geschützt. Ohne schriftliche Genehmigung der GRUNDFOS Management A/S ist eine kommerzielle Nutzung, Weiterverwendung der Inhalte oder Vervielfältigung in irgendeiner Form - und sei es auch nur auszugsweise - nicht zulässig.

Haftungsausschluss

Die Anfertigung des vorliegenden Dokuments erfolgte mit größter Sorgfalt. Dennoch ist es nicht ausgeschlossen, dass das Dokument inhaltliche Fehler aufweist. Für direkte oder indirekte Schäden, die sich als Folge aus dem Vertrauen auf den Inhalt ergeben, kann die GRUNDFOS Management A/S nicht haftbar gemacht werden.

1. Ausgabe

Illustration: Gills Illustrations Services

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Kapitel 1: Einführung	7
1. Arten von Wellenabdichtungen.....	8
2. Gleitringdichtungen.....	10
3. Funktionsprinzip.....	12
4. Historische Entwicklung.....	22
Kapitel 2: Arten von Gleitringdichtungen und Dichtungssysteme	25
1. Arten von Gleitringdichtungen.....	26
2. Dichtungssysteme.....	31
3. Auswählen einer Gleitringdichtung.....	42
Kapitel 3: Werkstoffe	45
1. Werkstoffe der Dichtflächen.....	46
2. Werkstoffpaarungen der Dichtflächen.....	51
3. Werkstoffprüfungen und allgemeine Prüfungen.....	55
4. Nebendichtungen.....	59
5. Werkstoffe weiterer Bauteile der Gleitringdichtung.....	61
Kapitel 4: Tribologie	63
1. Schmierung.....	65
2. Verschleiß.....	72
Kapitel 5: Schäden an Gleitringdichtungen	75
1. Einführung.....	76
2. Mangelhafte Schmierung.....	77
3. Schäden durch Verunreinigungen.....	78
4. Zersetzung und mechanischer Verschleiß.....	80
5. Einbaufehler.....	84
6. Nicht bestimmungsgemäße Betriebsbedingungen.....	86
7. Fehleranalyse bei Gleitringdichtungen.....	89
Kapitel 6: Normen und Zulassungen	93
1. EN 12756 - Europäische Norm für Gleitringdichtungen.....	94
2. Zulassungen.....	97
Stichwortverzeichnis	102

Vorwort

Der Erfolg von Grundfos beruht zu einem großen Teil auf den zahlreichen innovativen Technologien, die unsere Pumpen auszeichnen. Das war schon in der Anfangszeit so und wird auch in Zukunft so bleiben.

Doch unsere heutige Marktposition mussten wir uns hart erarbeiten. Und daran wollen wir auch in Zukunft festhalten, indem wir weiterhin wegweisende Produkte anbieten und unsere Aktivitäten in der Werkstoffentwicklung weiter ausbauen.

Zu den qualitätsbestimmenden Komponenten gehört bei den meisten Pumpen zweifelsohne die Gleitringdichtung. Und auch in diesem Bereich - der Entwicklung, der Herstellung und dem Einsatz von Gleitringdichtungen - verfügt Grundfos über jahrzehntelange Erfahrung, die maßgeblich dazu beigetragen hat, unsere Führungsposition in der Pumpentechnologie zu festigen.

Deshalb freue ich mich, Ihnen dieses Handbuch, in dem wir unsere Erfahrung bezüglich der Gleitringdichtungen zusammengetragen haben, präsentieren zu können. Ich möchte Sie ermutigen, das vorliegende Handbuch auch in Ihrem Unternehmen als Nachschlagewerk und Orientierungshilfe zu verwenden. Denn um die bestmögliche Lösung zu erreichen, ist es besonders wichtig, vorhandenes Wissen und Erfahrung mit anderen zu teilen.

Viel Spaß beim Lesen !

Carsten Bjerg
Konzernpräsident



Kapitel 1

Einleitung



1. Arten von Wellenabdichtungen
2. Gleitringdichtungen
3. Funktionsprinzip
4. Historische Entwicklung

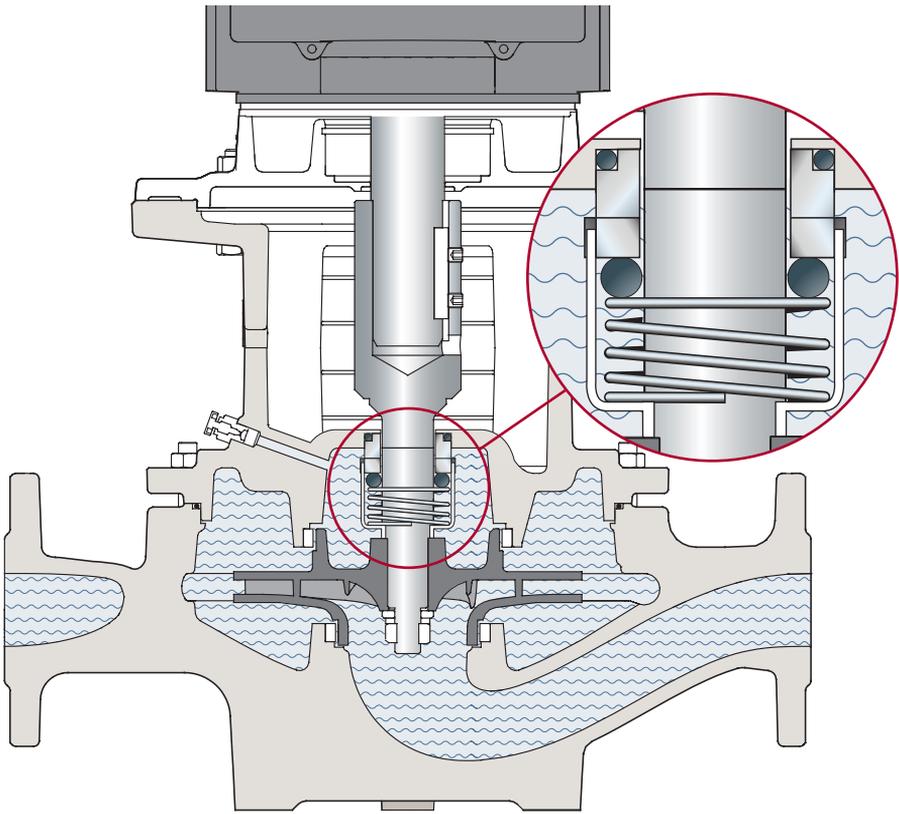


Abb. 1.1: Anordnung der Wellendichtung in der Pumpe

1. Arten von Wellenabdichtungen

Bei fast allen Pumpen mit rotierenden Wellen kommen Wellendichtungen zum Einsatz. Die Wellendichtung bildet dabei eine Barriere zwischen dem Innern der Pumpe und der Umgebung.

Eine Pumpe mit durchgehender Welle ist jedoch niemals vollständig gegenüber der Umgebung abgedichtet, so dass immer ein funktionsbedingter Leckagestrom auftritt. Es ist jedoch eine Herausforderung für die Pumpenindustrie, die Leckrate auf ein Minimum zu reduzieren.

Es gibt eine Vielzahl an Wellendichtungen, die die Vielfalt der von der Pumpenindustrie angebotenen Produkte und den Bedarf an speziellen Lösungen für jeden Einzelfall widerspiegeln. Grundsätzlich besteht fast jede Wellendichtung aus einem rotierendem Bauteil und einem feststehenden Bauteil. Bei ordnungsgemäßem Einbau wird der rotierende Teil von einem nur 0,00025 mm dicken Schmierfilm getragen. Ist der Schmierfilm zu dick, kann das Fördermedium entweichen. Ist der Schmierfilm zu dünn, erhöht sich die Reibung, so dass die Kontaktflächen überhitzen und die Dichtung ausfällt.

Die Dichtung hat großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der gesamten Pumpe. Bei ordnungsgemäßer Funktion verrichtet die Dichtung unbemerkt ihren Dienst. Sobald jedoch Leckagen auftreten, kann es zu ernsthaften Problemen kommen, wie z.B. einem Pumpenausfall oder einer Gefährdung der Umwelt. Deshalb darf die Bedeutung der Wellendichtung niemals unterschätzt werden. Dies gilt sowohl bei der Konstruktion, dem Betrieb als auch der Wartung.

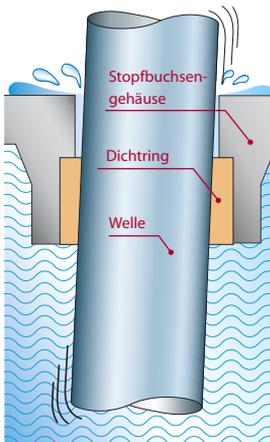


Abb. 1.2: Geflochtene Stopfbuchsenpackung mit Gehäuse

Stopfbuchse

Eine geflochtene Stopfbuchsenpackung, die zwischen der Welle und dem Pumpengehäuse angeordnet ist, ist die einfachste Art der Wellenabdichtung. Siehe Abb. 1.2.

In dem in der Abb. 1.2 gezeigten Stopfbuchsengehäuse wird ein weicher Dichtungsring axial zusammengedrückt, bis er die Welle berührt. Während des Betriebs unterliegt der Dichtungsring einem gewissen Verschleiß. Deshalb muss die Stopfbuchse immer wieder nachgestellt werden. Durch das Nachstellen wird der Dichtungsring weiter zusammengedrückt, um einen zu großen Leckagestrom zu verhindern.

Schwingungen und Falschachsrichtung führen bei dieser Wellendichtung jedoch schnell zu einer erhöhten Leckage.

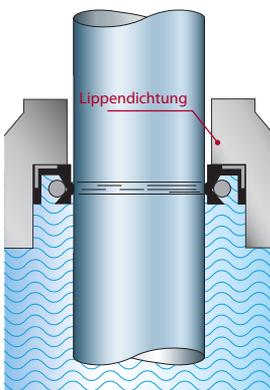


Abb. 1.3: Lippendichtung

Lippendichtung

Im Allgemeinen besteht eine Lippendichtung aus einem Gummiring, der an der rotierenden Welle anliegt. Siehe Abb. 1.3. Diese Art der Wellendichtung wird hauptsächlich in Verbindung mit geringen Druckdifferenzen und kleinen Betriebsdrehzahlen eingesetzt.

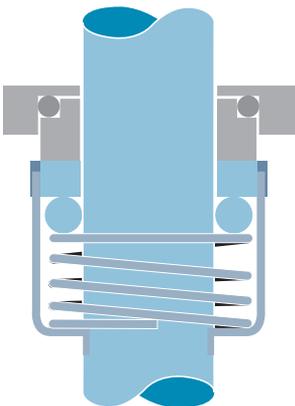


Abb. 1.4: Gleitringdichtung

- Feststehender Teil
- Rotierender Teil

Gleitringdichtung

Eine Gleitringdichtung besteht aus zwei Hauptkomponenten: einem rotierenden Teil und einem feststehenden Teil, siehe Abb. 1.4. Der rotierende Teil wird dabei axial gegen den feststehenden Teil gedrückt. Im Folgenden wird als wichtigste Form der Wellenabdichtung ausschließlich die Gleitringdichtung mit ihren unterschiedlichen Bauformen und Anwendungsmöglichkeiten behandelt.

2. Gleitringdichtungen

In diesem Abschnitt werden der Aufbau und die Komponenten der Gleitringdichtung kurz beschrieben.

Wie bereits zuvor erwähnt ist eine Pumpe mit durchgehender Welle niemals frei von Leckagen. Eine die Welle umschließende Gleitringdichtung reduziert jedoch den Leckagestrom, der zwischen der Pumpe und der Umgebung auftritt, auf ein notwendiges Minimum. Dazu muss der Dichtspalt zwischen dem feststehenden und dem rotierenden Teil der Gleitringdichtung so klein wie möglich sein.

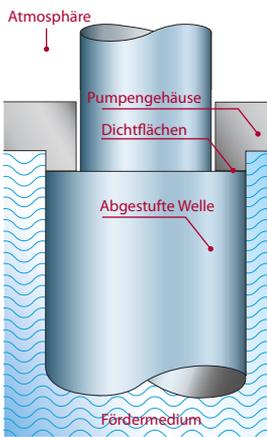


Abb. 1.5: Wellenabdichtung mit Hilfe von zwei axial zueinander ausgerichteten Oberflächen

Gleitringdichtung mit zwei axialen Dichtflächen

Die beste Möglichkeit, eine Abdichtung mit kleinstmöglichem Spalt und damit kleiner Leckrate zu realisieren, besteht darin, zwei axiale Oberflächen gegeneinander zu pressen. Die beiden axialen Oberflächen können z.B. eine abgestufte Welle und eine ebene Fläche im Pumpengehäuse sein. Siehe Abb. 1.5.

Die Welle und das Pumpengehäuse müssen dabei aus verschleißfesten Werkstoffen hergestellt sein und die Oberflächen müssen genau zueinander ausgerichtet sein.

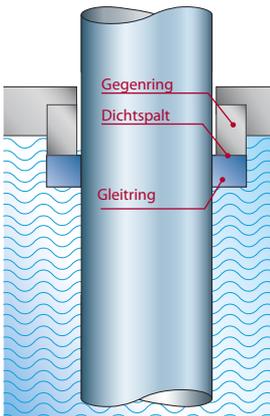


Abb. 1.6: Gleitringdichtung mit rotierendem Dichtring und feststehendem Dichtring

Gleitringdichtung mit rotierendem und feststehendem Dichtring

Eine weitere Möglichkeit der konstruktiven Ausführung besteht darin, einen rotierenden Dichtring (Gleitring) auf der Welle anzuordnen und einen feststehenden Dichtring (Gegenring) im Pumpengehäuse einzusetzen. Der enge Raum, der dabei zwischen beiden Dichtflächen entsteht, wird als Dichtspalt bezeichnet. Siehe Abb. 1.6.

Diese Bauweise ermöglicht die Verwendung unterschiedlichster Werkstoffe für den Gleitring und den Gegenring und somit eine individuelle Anpassung an die Anwendung.

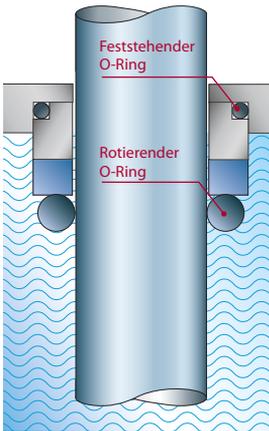


Abb. 1.7: Nebendichtungen unterbinden den Leckagestrom Richtung Umgebung.

Nebendichtungen

Die Nebendichtungen sind z.B. aus Elastomeren gefertigte O-Ringe oder Faltenbälge. Sie verhindern, dass Leckagen zwischen der Welle und dem Gleitring sowie dem Gegenring und dem Pumpengehäuse auftreten.

Zur Minimierung der Leckage muss der Gleitring gegen den Gegenring gedrückt werden. Deshalb muss der Gleitring axial beweglich auf der Welle montiert sein. Die axiale Beweglichkeit ist gewährleistet, wenn als Nebendichtung entweder ein Faltenbalg oder ein O-Ring, der auf der Welle gleitet, verwendet wird.

Die Nebendichtung, die für die Abdichtung zwischen dem Gleitring und der Welle sorgt, rotiert zusammen mit der Welle. Die zwischen dem Gegenring und dem Pumpengehäuse eingesetzte, statische Nebendichtung führt keine Bewegung aus. Siehe Abb. 1.7.

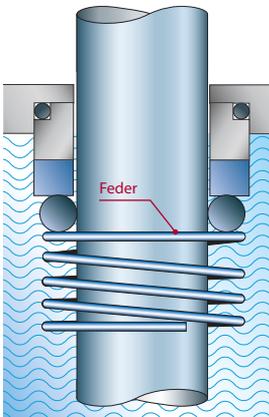


Abb. 1.8: Eine Feder drückt den Gleitring gegen den Gegenring.

Feder

Die mitrotierende Feder drückt den Gleitring und den rotierenden O-Ring axial gegen den Gegenring. Siehe Abb. 1.8.

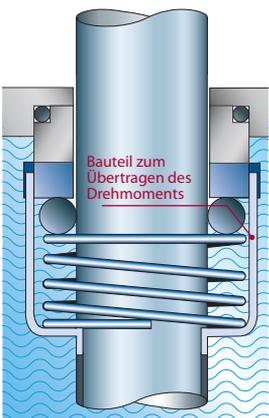


Abb. 1.9: Das Bauteil zur Drehmomentübertragung ist das letzte Bauteil der Gleitringdichtung.

Bauteil zur Übertragung des Drehmoments

Das Bauteil zur Übertragung des Drehmoments sorgt dafür, dass der Gleitring zusammen mit der Welle rotiert. Siehe Abb. 1.9.

Alle Bauteile einer Gleitringdichtung sind jetzt benannt und wurden kurz beschrieben.

3. Funktionsprinzip

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie der Schmierfilm im Dichtspalt einer flüssigkeitsgeschmierten Faltenbalg-Gleiringdichtung aufgebaut wird. Die hier gezeigte Bauform unterscheidet sich geringfügig von der in Abb. 1.9 dargestellten Gleitringdichtung mit O-Ringen als Nebendichtung.

In ihrer einfachsten Form besteht eine Gleitringdichtung aus zwei Hauptkomponenten: dem rotierenden und dem feststehenden Teil. Siehe Abb. 1.10.

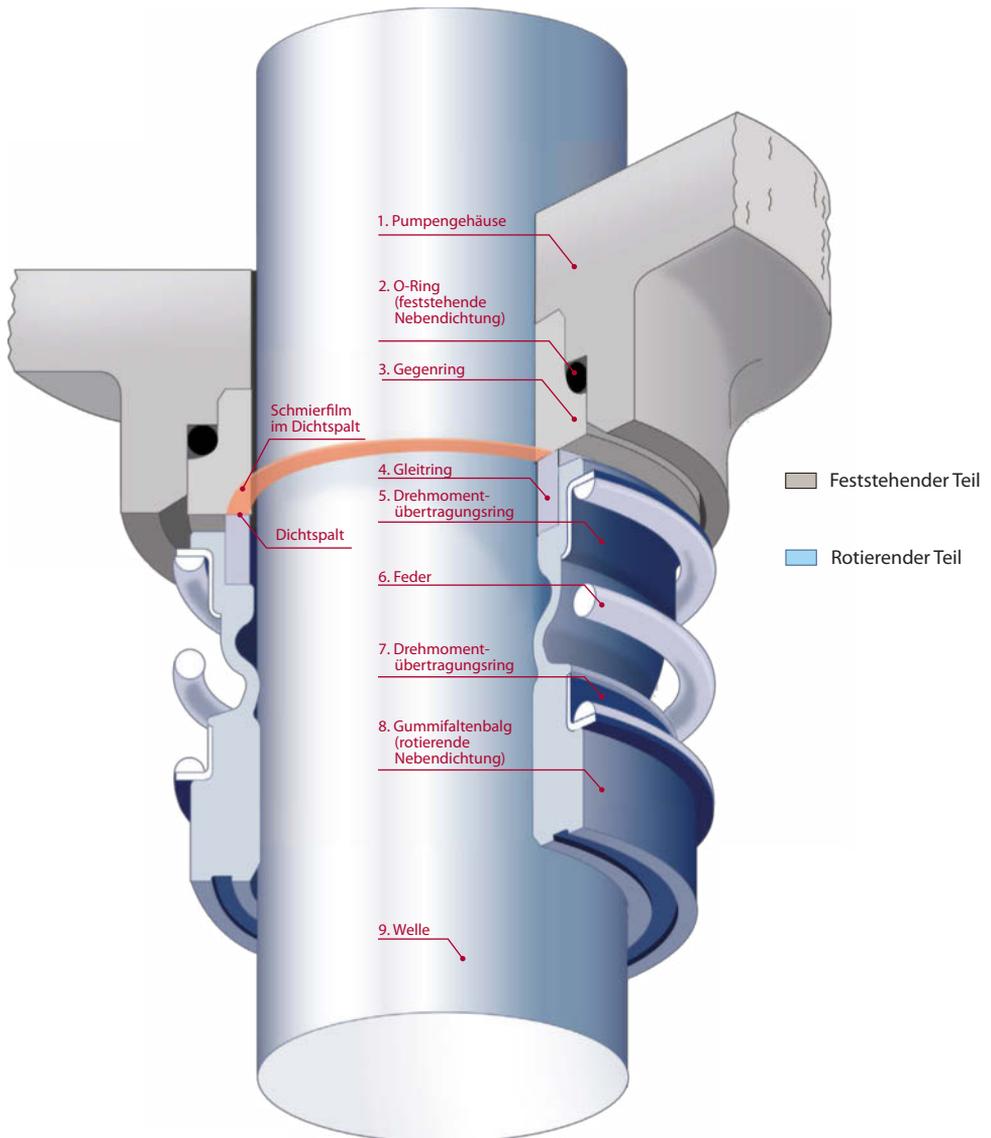


Abb: 1.10: Faltenbalg-Gleitringdichtung

Beschreibung des rotierenden Teils

Der rotierende Teil der Gleitringdichtung ist fest auf der Welle angeordnet und rotiert während des Pumpenbetriebs im Fördermedium.

Durch den vom Faltenbalg (8) aufgebrachtten Anpressdruck, der auf die Welle (9) und einen der beiden Drehmomentübertragungsringe (7) wirkt, wird der rotierende Teil auf der Welle gehalten. Siehe Abb. 1.10. Das Drehmoment wird von der Feder (6) auf die Drehmomentübertragungsringe (7 und 5) übertragen. Der Gleitring (4) ist mit dem Gummifaltenbalg (8) verbunden. Der Drehmomentübertragungsring (5) drückt den Gummifaltenbalg (8) dabei gegen den Gleitring (4). Der Gummifaltenbalg verhindert das Auftreten von Leckagen zwischen der Welle (9) und dem Gleitring (4). Gleichzeitig sorgt er für eine axiale Beweglichkeit, auch wenn sich Verschmutzungen und Ablagerungen bilden.

Bei einer Faltenbalg-Gleitringdichtung, wie in Abb. 1.10 gezeigt, wird die axiale Beweglichkeit durch die elastische Verformung des Gummifaltenbalgs sichergestellt. Bei der in Abb. 1.9 dargestellten O-Ring-Gleitringdichtung hingegen gleitet der O-Ring auf der Wellenoberfläche, so dass auf diese Weise die axiale Beweglichkeit realisiert wird.

Durch die Anpresskraft der Feder werden die beiden Dichtflächen im Stillstand und während des Betriebs auch dank der Elastizität des Faltenbalgs bzw. des O-Rings zusammengehalten. Auch bei einer axialen Verschiebung der Welle, bei Verschleiß der Oberflächen oder bei Einlaufen der Welle sorgt die Elastizität der Nebendichtungen dafür, dass die Dichtflächen in Kontakt bleiben.

Beschreibung des feststehenden Teils

Der feststehende Teil ist im Pumpengehäuse (1) angeordnet. Er besteht aus einem Gegenring (3) und einer feststehenden Nebendichtung aus Elastomer (2). Die Nebendichtung verhindert das Auftreten von Leckagen zwischen dem Gegenring (3) und dem Pumpengehäuse (1) und dass der Gegenring im Pumpengehäuse rotiert. Siehe Abb. 1.10.

In der Regel ist das abzudichtende Fördermedium (A) in Kontakt mit der Außenfläche des Gleitringes (B). Siehe Abb. 1.11. Fängt die Welle an zu drehen, gelangt das Fördermedium durch die Druckdifferenz zwischen dem im Pumpengehäuse befindlichen Fördermedium (A) und der Atmosphäre (D) in den Dichtspalt (zwischen Punkt B und C), so dass der erforderliche Schmierfilm aufgebaut wird.

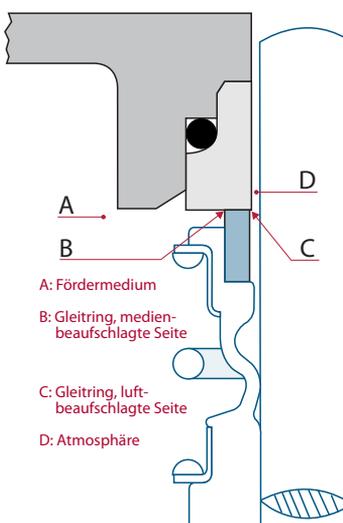


Abb. 1.11: Position des Dichtspalts

Der Druck im Dichtspalt nimmt Richtung Welle (von Punkt B zu Punkt C) ab, bis der Druck an der Stelle D erreicht ist. Leckagen treten deshalb aufgrund der Druckverhältnisse immer am Punkt C auf.

Der Druck am Punkt B entspricht dem Druck am Punkt A. Den Druckabfall im Dichtspalt während des Stillstands zeigt Abb. 1.12a. Die Schließkraft wird im Stillstand nur durch den direkten Kontakt der Dichtflächen aufgebracht. Die der Schließkraft entgegenwirkende Öffnungskraft durch den Schmierfilm ist in Abb. 1.13b und 1.14b durch die roten Pfeile dargestellt.

Die Bauteile der Gleitringdichtung sind einer Kraft ausgesetzt, die aus dem Druck im Innern der Pumpe resultiert. Die axiale Komponente dieser Kraft und die Federkraft ergeben die Schließkraft (F_s) der Gleitringdichtung.

Bei stillstehender Pumpe entspricht der Druck an der Außenseite des Gleitringes (Punkt B) dem Druck am Punkt A. Siehe Abb. 1.12a.

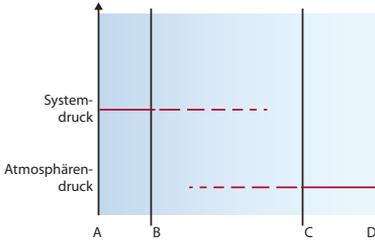


Abb. 1.12a: Der Druck im Stillstand entspricht dem Systemdruck oder dem Atmosphärendruck

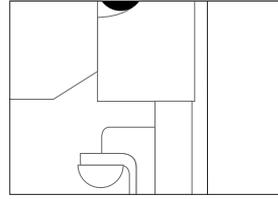


Abb. 1.12b: Direkter Kontakt der Dichtflächen im Stillstand

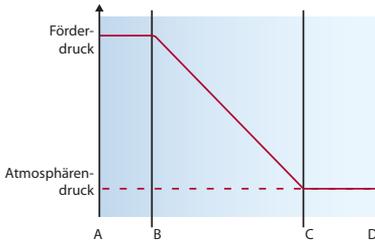


Abb. 1.13a: Hydrostatische Druckverteilung bei Dichtungen mit parallelen Dichtflächen

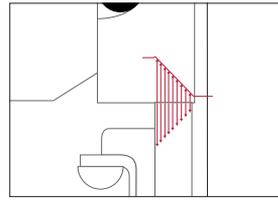


Abb. 1.13b: Öffnungskräfte aufgrund des hydrostatischen Drucks

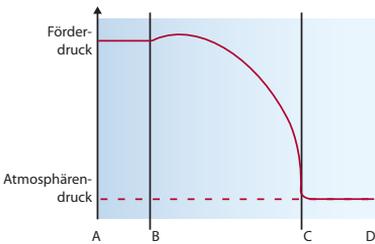


Abb. 1.14a: Druckverteilung im Dichtspalt bei Addition der hydrostatischen und hydrodynamischen Drücke

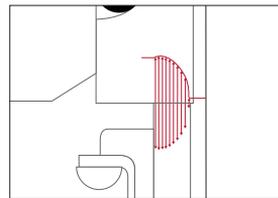


Abb. 1.14b: Öffnungskräfte aufgrund der Kombination aus hydrostatischem und hydrodynamischem Druck

Wenn die Welle anfängt zu drehen, werden die beiden Dichtringe durch das in den Dichtspalt eindringende Fördermedium getrennt. Der Druck im Dichtspalt nimmt dabei linear vom am Punkt B herrschenden Förderdruck bis zum Atmosphärendruck am Punkt C ab. Siehe Abb. 1.13a.

Hinweis: In dem vorliegenden Handbuch steht der Begriff Förderdruck für den Druck in der Dichtungskammer.

Der lineare Druckabfall wird auch als hydrostatische Druckverteilung im Dichtspalt bezeichnet. Die Öffnungskraft wird in Abb. 1.13b mit Hilfe von roten Pfeilen dargestellt.

Sobald die Pumpe läuft, baut sich ein Druck im Schmierfilm auf, siehe Abb. 1.14a. Der Vorgang kann mit dem Auftreten von Aqua-planing bei Fahrzeugen verglichen werden. Der so aufgebaute Druck wird als hydrodynamische Druckverteilung im Dichtspalt bezeichnet.

Die Kombination aus hydrostatischem und hydrodynamischem Druck ergibt die Gesamtdruckverteilung im Dichtspalt. Die Öffnungskraft wird in Abb. 1.14b mit Hilfe von roten Pfeilen dargestellt.

Die Ausbildung eines vollständigen Schmierfilms wird erreicht, wenn der Druck im Dichtspalt hoch genug ist, um die Schließkraft in der Gleitringdichtung auszugleichen.

Schließkraft

Die Bauteile der im Innern der Pumpe eingebauten Gleitringdichtung sind einer Axialkraft ausgesetzt, die vom Fördermedium aufgebracht wird. Die Summe aus Federkraft und dieser Axialkraft ergibt die auf die Dichtflächen wirkende Schließkraft.

Ist der Differenzdruck zwischen dem Fördermedium und der Atmosphäre größer als ca. 20 bar, ist die Schließkraft so hoch, dass sich kein ausreichender hydrodynamischer Schmierfilm bilden kann. Ist dies der Fall, fangen die Dichtflächen an zu verschleifen. Ein Verschleifen der Dichtflächen kann jedoch durch Verkleinerung der Fläche verhindert werden, über die die durch den hydraulischen Druck erzeugte Axialkraft auf die Gleitringdichtung wirkt. Dadurch werden die auf die Dichtflächen wirkende Hydraulikkraft und die Schließkraft der Gleitringdichtung reduziert.

Nicht entlastete und entlastete Gleitringdichtungen

Das Belastungsverhältnis k beschreibt das Verhältnis zwischen der hydraulisch beaufschlagten Fläche A_h und der Gleitfläche A_g .

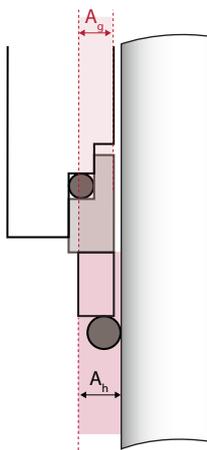


Abb. 1.15a: Nicht entlastete Gleitringdichtung, $k > 1$

Gleichung 1:

$$k = \frac{\text{Hydr. beaufschl. Fläche}}{\text{Gleitfläche}} = \frac{A_h}{A_g}$$

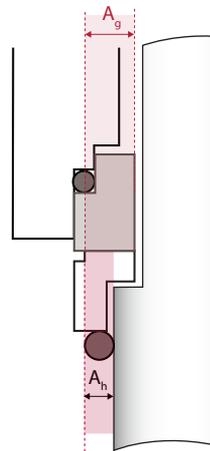


Abb. 1.15b: Entlastete Gleitringdichtung, $k < 1$

Durch den auf die Fläche A_h wirkenden Förderdruck wird eine Schließkraft auf die Dichtung ausgeübt. Bei einer nicht entlasteten Gleitringdichtung ist die Fläche A_h größer als die Fläche A_g . Daraus ergibt sich ein Belastungsverhältnis k größer 1. Der Anpressdruck, der auf die Gleitflächen wirkt, ist somit größer als der Förderdruck. Er wird zusätzlich durch die Federkraft verstärkt. Für das Belastungsverhältnis wird häufig ein Wert von 1,2 gewählt. Nicht entlastete Gleitringdichtungen werden aufgrund der Kraftverhältnisse nur im Niederdruckbereich eingesetzt. Siehe Abb. 1.15a.

Bei entlasteten Gleitringdichtungen hingegen ist die Fläche A_h kleiner als die Fläche A_g . Damit ist auch das Belastungsverhältnis k kleiner als 1. Die Fläche A_h kann z.B. durch Abstufen des Wellendurchmessers verkleinert werden, so dass der Wellendurchmesser zur luftbeaufschlagten Seite hin abnimmt. Siehe Abb. 1.15b. Entlastete Gleitringdichtungen werden in Hochdruckanwendungen oder bei hohen Drehzahlen eingesetzt. Der Anpressdruck, der die Gleitflächen zusammenhält, ist hier kleiner als der Förderdruck. Häufig wird ein Belastungsverhältnis von 0,8 gewählt.

Bei einer entlasteten Gleitringdichtung ist der Schmierfilm im Dichtspalt dicker als bei einer nicht entlasteten Gleitringdichtung. Ein kleines Belastungsverhältnis k führt zu einer größeren Leckage oder sogar zu einem Öffnen der Gleitflächen.

Berechnung der Schließkraft bei einer nicht entlasteten und entlasteten Gleitringdichtung

In dem nachfolgenden Beispiel wird die Schließkraft einer flüssigkeitsgeschmierten Gleitringdichtung berechnet. Die zuerst aufgeführten Daten gelten für eine nicht entlastete Gleitringdichtung vom Typ A. Weitere Informationen zu dieser Gleitringdichtung finden Sie im Kapitel 2 auf Seite 27.

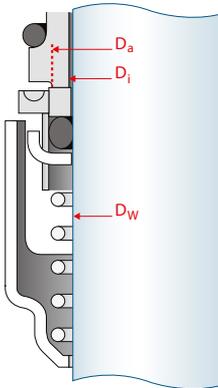


Abb. 1.16: Nicht entlastete Grundfos Gleitringdichtung vom Typ A

Wellendurchmesser, $D_w = 16$ mm
 Innendurchmesser der Gleitfläche, $D_i = 17$ mm
 Außendurchmesser der Gleitfläche, $D_a = 22$ mm
 Federkraft, $F_f = 45$ N

Mit Hilfe dieser Daten wird die Schließkraft wie folgt berechnet:

Hydraulisch beaufschlagte Fläche:

$$A_h = \frac{\pi}{4} (D_a^2 - D_w^2) = \frac{\pi}{4} (22^2 - 16^2) = 179 \text{ mm}^2$$

Gleitfläche:

$$A_g = \frac{\pi}{4} (D_a^2 - D_i^2) = \frac{\pi}{4} (22^2 - 17^2) = 153 \text{ mm}^2$$

Belastungsverhältnis gemäß Gleichung 1 auf Seite 15:

$$k = \frac{A_h}{A_g} = \frac{179}{153} = 1,17$$

Die Schließkraft F_s ergibt sich dann bei einem Druck von 10 bar ($P = 1$ MPa) zu:

$$F_s = A_h \times P + F_f = 179 \text{ mm}^2 \times 1 \text{ MPa} + 45 \text{ N} = 224 \text{ N}$$

Für eine entlastete Grundfos Gleitringdichtung vom Typ H für eine Pumpenwelle mit $\varnothing 16$ wird die Schließkraft wie folgt berechnet:

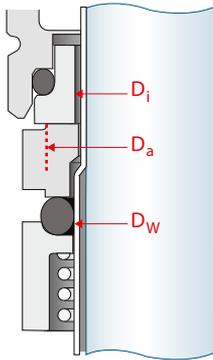


Abb. 1.17: Entlastete Grundfos Gleitringdichtung vom Typ H

Hülsendurchmesser, $D_w = 17,1$ mm
 Innendurchmesser der Gleitfläche, $D_i = 17$ mm
 Außendurchmesser der Gleitfläche, $D_a = 22$ mm
 Federkraft, $F_f = 45$ N

Hydraulisch beaufschlagte Fläche:

$$A_h = \frac{\pi}{4} (D_i^2 - D_w^2) = \frac{\pi}{4} (22^2 - 17,1^2) = 150 \text{ mm}^2$$

Gleitfläche:

$$A_g = \frac{\pi}{4} (D_a^2 - D_i^2) = \frac{\pi}{4} (22^2 - 17^2) = 153 \text{ mm}^2$$

Belastungsverhältnis:

$$k = \frac{A_h}{A_g} = \frac{150}{153} = 0,98$$

Die Schließkraft F_s ergibt sich dann bei einem Druck von 10 bar ($p = 1$ MPa) zu:

$$F_s = A_h \times P + F_f = 150 \text{ mm}^2 \times 1 \text{ MPa} + 45 \text{ N} = 195 \text{ N}$$

In den vorangegangenen Beispielen, bei denen die Gleitfläche und die Federkraft gleich sind, wird die Schließkraft durch Verringern des Belastungsverhältnisses von $k = 1,17$ auf $k = 0,98$ von 224 N auf 195 N reduziert. Durch eine Verringerung der Schließkraft wird der Verschleiß an den Gleitflächen reduziert, weil die Schmierung verbessert wird. Dadurch erhöht sich jedoch auch die Leckrate.

Leckage

Durch den im Dichtspalt während des Betriebs aufgebauten Schmierfilms gelangt ein geringer Anteil des Fördermediums in die Umgebung. Arbeitet die Gleitringdichtung ordnungsgemäß, verdunstet jedoch dieser Flüssigkeitsanteil aufgrund der hohen Temperaturen und des Druckabfalls im Dichtspalt vor dem Austreten in die Umgebung. Deshalb ist im Normalfall kein Flüssigkeitsaustritt sichtbar.

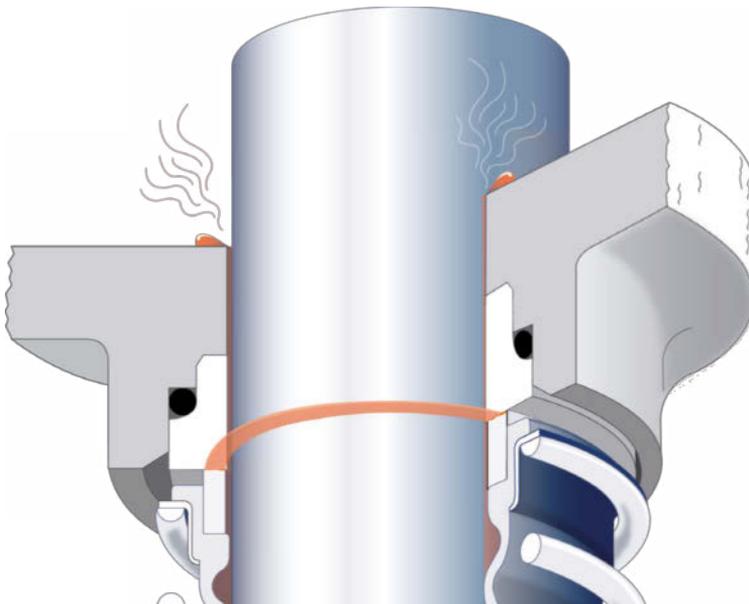


Abb. 1.18: Gleitringdichtung mit erhöhter Leckrate

Dabei ist zu beachten, dass eine Verdampfung auch bei Temperaturen unter 100 °C (Verdunstung) stattfinden kann, sofern die umgebende Atmosphäre nicht mit Dampf gesättigt ist. Dasselbe Prinzip ist auch beim Wäschetrocknen an einer Wäscheleine zu beobachten.

Die Leckrate hängt bei einer Gleitringdichtung von mehreren Faktoren ab, von denen einige nachfolgend aufgeführt sind:

- Oberflächenrauigkeit der Dichtflächen
- Planheit der Dichtflächen
- Schwingungen und Standfestigkeit der Pumpe
- Pumpendrehzahl
- Wellendurchmesser
- Temperatur, Viskosität und Art des Fördermediums
- Förderdruck
- Zusammenbau der Pumpe und Einbau der Gleitringdichtung.

Berechnung der Leckrate

Der Leckagestrom durch den Dichtspalt einer flüssigkeitsgeschmierten Gleitringdichtung mit parallelen Dichtflächen kann mit Hilfe der folgenden Näherungsgleichung berechnet werden:

$$\text{Gleichung 2: } Q = \frac{\pi \times R_m \times h^3 \times \Delta p}{6 \times \eta \times b}$$

mit

Q = Leckrate pro Zeiteinheit

R_m = Mittlerer Radius der Gleitfläche

h = Spaltbreite zwischen den Gleitflächen (Schmierfilmdicke)

Δp = Abzudichtender Differenzdruck

η = Dynamische Viskosität des Fördermediums

b = Radiale Ausdehnung des Dichtspalts (Breite der Gleitfläche).

Die Leckrate Q ist somit proportional zum Radius R_m , der Breite der Gleitfläche b und dem Differenzdruck Δp . Die Spaltbreite h ist dabei von großer Bedeutung. Denn bei einer Verdoppelung der Spaltbreite erhöht sich die Leckrate um das Achtfache, wenn alle anderen Parameter gleich bleiben.

Ein Blick auf die Gleichung 2 lässt vermuten, dass die Leckrate mit zunehmender Viskosität η des Fördermediums abnimmt. Besitzt das Fördermedium jedoch eine höhere Viskosität, wird auch der Dichtspalt größer und damit auch die Leckrate. Da die Spaltbreite aber nicht linear mit der Viskosität des Fördermediums zunimmt, ist eine Aussage, ob die Leckrate mit zunehmender Viskosität zunimmt oder abnimmt nur schwer zu treffen.

Ebenso hat die Rauheit und Planheit der Gleitflächen Auswirkungen auf die Höhe des Dichtspalts und damit auf die Leckrate. Zudem nimmt der hydrodynamische Druck mit der Drehzahl zu. Auch dieser Effekt kann einen Einfluss auf die Spaltbreite und damit auf die Leckrate haben.

Wenn Wasser gefördert wird, beträgt die Spaltbreite zwischen den Gleitflächen in der Regel 0,2 μm . Deshalb müssen die Dichtflächen äußerst plan und glatt ausgeführt sein.

Das nachfolgende Rechenbeispiel gilt für eine Grundfos Gleitringdichtung vom Typ H bei der Förderung von Wasser mit einer Temperatur von 20 °C und bei einem Druck von 10 bar. Es wird zudem angenommen, dass die Spaltbreite 0,2 μm beträgt.

$$\Delta p = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa} = 1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$D_a = 22 \text{ mm}$$

$$D_i = 17 \text{ mm}$$

$$\text{Viskosität} = 1 \text{ cst} = 0,001 \text{ N} \times \text{s/m}^2$$

$$h = 0,0002 \text{ mm} = 0,2 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Damit ist } R_m = \frac{(22 + 17)}{4} = 9,75 \text{ mm} \quad \text{und} \quad b = \frac{(22 - 17)}{2} = 2,5 \text{ mm}$$

Mit Hilfe der Gleichung 2 ergibt sich die Leckrate Q zu:

$$Q = \frac{\pi \times 9,75 \times 10^{-3} \text{ m} \times (0,2 \times 10^{-6} \text{ m})^3 \times 1 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{6 \times 0,001 \text{ N} \times \text{s/m}^2 \times 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}} = 1,63 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s} = 0,06 \text{ ml/h}$$

Bei einer größeren Rauheit der Dichtflächen, die gleichzeitig zu einem größeren Dichtspalt von 0,3 μm führt, beträgt die Leckrate 0,2 ml/h.

Nicht parallele Dichtflächen

In der Praxis verformen sich die Dichtflächen infolge von Temperatur- und Druckschwankungen. Am häufigsten ist eine kegelförmige Verformung der Gleitflächen zu beobachten.

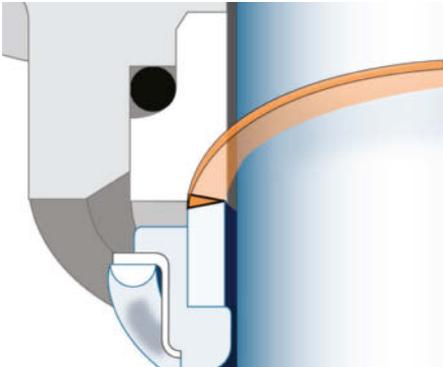


Abb. 1.19: Zusammenlaufender Dichtspalt

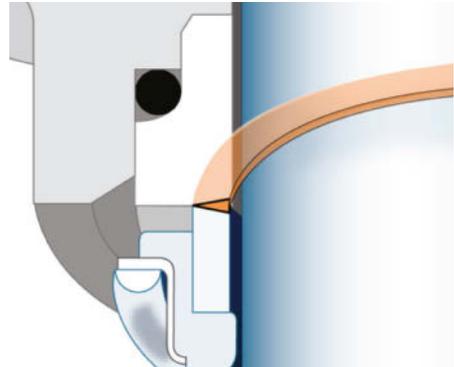


Abb. 1.20: Auseinanderlaufender Dichtspalt

Bei nicht parallelen Dichtflächen nimmt der hydrostatische Druck nicht mehr linear von der medienbeaufschlagten zur luftbeaufschlagten Seite ab. In diesem Fall kann die Leckrate nicht mit Hilfe der Gleichung 2 berechnet werden.

Zusammenlaufender Dichtspalt

Weitet sich der Dichtspalt wie in Abb. 1.19 gezeigt in Richtung medienbeaufschlagter Seite, steigt der hydrostatische Druck entsprechend der blauen Kurve in Abb. 1.21. Diese Art der Verformung wird im Folgenden als zusammenlaufender Dichtspalt bezeichnet.

Auseinanderlaufender Dichtspalt

Weitet sich der Dichtspalt wie in Abb. 1.20 gezeigt in Richtung luftbeaufschlagter Seite, sinkt der hydrostatische Druck entsprechend der orangenen Kurve in Abb. 1.21. Diese Art der Verformung wird im Folgenden als auseinanderlaufender Dichtspalt bezeichnet.

Die Druckverteilung im Dichtspalt ergibt sich durch Addition des hydrostatischen und hydrodynamischen Drucks, wie aus der Abb. 1.22 ersichtlich. Dies entspricht auch der Darstellung in Abb. 1.14 a auf Seite 14.

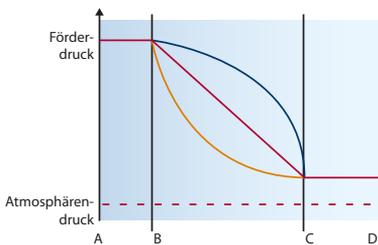


Abb. 1.21: Hydrostatische Druckverteilung für verschiedene Dichtspaltgeometrien

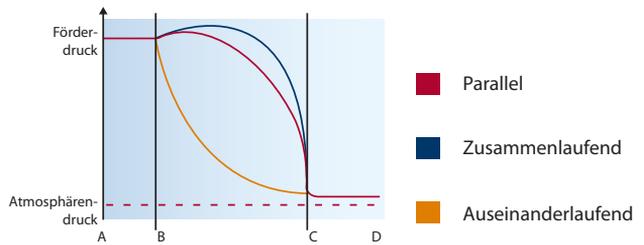


Abb. 1.22: Hydrostatische und hydrodynamische Druckverteilung für verschiedene Dichtspaltgeometrien

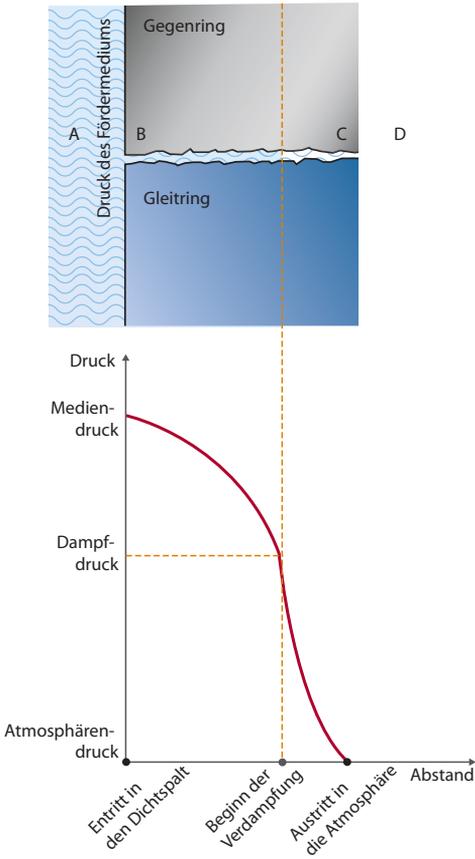


Abb. 1.23: Druckverteilung im Dichtspalt bei Förderung von heißem Wasser

Verdampfung

Durch einen fehlenden oder unzureichend ausgebildeten Schmierfilm werden die Dichtflächen der Gleitringdichtung beschädigt. Zur Verdampfung des Fördermediums kommt es, wenn der Druck unter den Dampfdruck des Fördermediums sinkt.

Durch die Reibungswärme, die an den Gleitflächen entsteht, erhöht sich die Temperatur des Fördermediums und damit auch der Dampfdruck, so dass sich der Verdampfungspunkt in Richtung medienbeaufschlagter Seite verschiebt. Siehe Abb. 1.23.

Bei der Förderung von kaltem Wasser erstreckt sich der Schmierfilm über den gesamten Dichtspalt der Gleitringdichtung. Wenn die Gleitringdichtung ordnungsgemäß arbeitet, tritt dennoch nur Dampf auf der luftbeaufschlagten Seite als Leckage aus. Denn auch bei kaltem Wasser setzt der Verdampfungsprozess aufgrund des sehr engen Dichtspalts von nur 0,0002 mm ein.

Bei der Förderung von Wasser mit einer Temperatur von über 100 °C jedoch verdampft der Schmierfilm teilweise bereits im Dichtspalt. Deshalb wird der Schmierfilm in Richtung luftbeaufschlagter Seite häufig lückenhaft.

Ablagerungen und Verschleißspuren

Verdampft der Schmierfilm bereits im Dichtspalt, kommt es zur Ausfällung von Feststoffen, die sich als Ablagerungen auf den Dichtflächen absetzen.

Sind die Ablagerungen höher als die erforderliche Schmierfilmdicke, fängt die Gleitringdichtung an zu lecken.

Bei harten Ablagerungen können sich zudem Verschleißspuren auf einem der Dichtringe bilden, siehe Abb. 1.24a. Bei weichen und klebrigen Ablagerungen werden die Dichtflächen unter Umständen voneinander getrennt, siehe Abb. 1.24b.

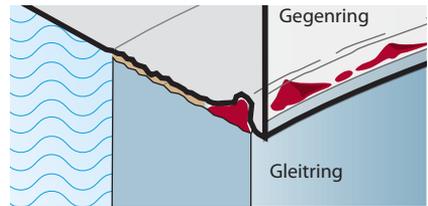


Abb. 1.24a: Entstehen von Verschleißspuren infolge von harten Ablagerungen

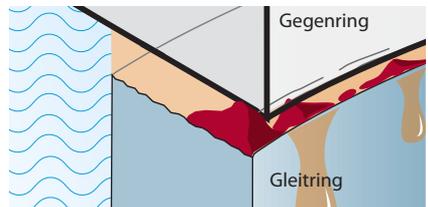


Abb. 1.24b: Absetzen von Ablagerung auf den Dichtflächen

Dampfdruckkurve

Um die Bildung eines ausreichenden Schmierfilms im größten Teil des Dichtspalt sicherzustellen, wird empfohlen, die Temperatur in der Nähe der Gleitringdichtung 10 bis 15 °C unterhalb der Dampfdruckkurve zu halten. Die Dampfdruckkurve für Wasser ist in Abb. 1.25 dargestellt.

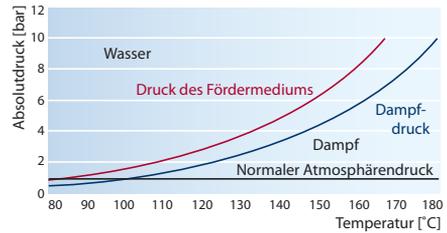


Abb. 1.25: Dampfdruckkurve für Wasser

Reibungswärme

In einer Gleitringdichtung entsteht Reibungswärme. Bei unzureichender Schmierung kann die erzeugte Wärme bis zu 100 W/cm² betragen. Im Vergleich dazu erzeugt eine Kochplatte maximal 10 W/cm². Um den Temperaturanstieg im Dichtspalt zu minimieren, muss die Wärme abgeführt werden. Die abgeführte Wärmemenge ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Flüssigkeitsstrom in der Dichtungskammer
- thermische Leitfähigkeit der Pumpenbauteile
- Konvektion in die Atmosphäre.

In einigen Fällen ist der Einfluss der Faktoren nicht groß genug, so dass der Schmierfilm vorzeitig im Dichtspalt verdunstet und die Gleitringdichtung trocken läuft.

Die Reibungsverlustleistung P kann mit Hilfe folgender Gleichung berechnet werden:

$$P = F_s \times f \times v$$

mit:

F_s = Schließkraft

f = Reibwert

v = Gleitgeschwindigkeit

Der Reibwert ist abhängig von der Schmierung und den Werkstoffen der beiden Gleitflächen. Bei ausreichend geschmierten Gleitringdichtungen liegt der Reibwert zwischen 0,03 und 0,08. Bei mangelhafter Schmierung hingegen kann der Reibwert bis zu 0,4 (z.B. bei Heißwasseranwendungen) betragen, wenn die Gleitflächen aus harten Werkstoffen, wie z.B. Wolframkarbid, bestehen.

Für eine entlastete Grundfos Gleitringdichtung vom Typ H für eine Welle mit Ø16 ergibt sich die Reibungsverlustleistung bei einer Drehzahl von 2900 min⁻¹ und einem Druck von 10 bar wie folgt, wenn ein Reibwert von f = 0,04 angenommen wird (Berechnung der Schließkraft siehe Seite 16):

$$F_s = 195 \text{ N}, \quad f = 0,04, \quad v = 3,0 \text{ m/s}$$

$$P = F_s \times f \times v = 195 \text{ [N]} \times 0,04 \times 3,0 \text{ [m/s]} = 23,4 \text{ [W]}$$

Durch Verwirbelungsverluste, die in der Dichtungskammer bei Gleitgeschwindigkeiten unter 25-30 m/s entstehen, wird zusätzlich eine geringe Wärmemenge erzeugt.

In einigen Fällen erfordern eng ausgeführte Dichtungskammern zusätzliche Maßnahmen, um die entstehende Wärme abführen zu können, wie z.B. eine verstärkte Umwälzung des Fördermediums in unmittelbarer Nähe der Gleitringdichtung. Siehe Kapitel 2, Seite 31.

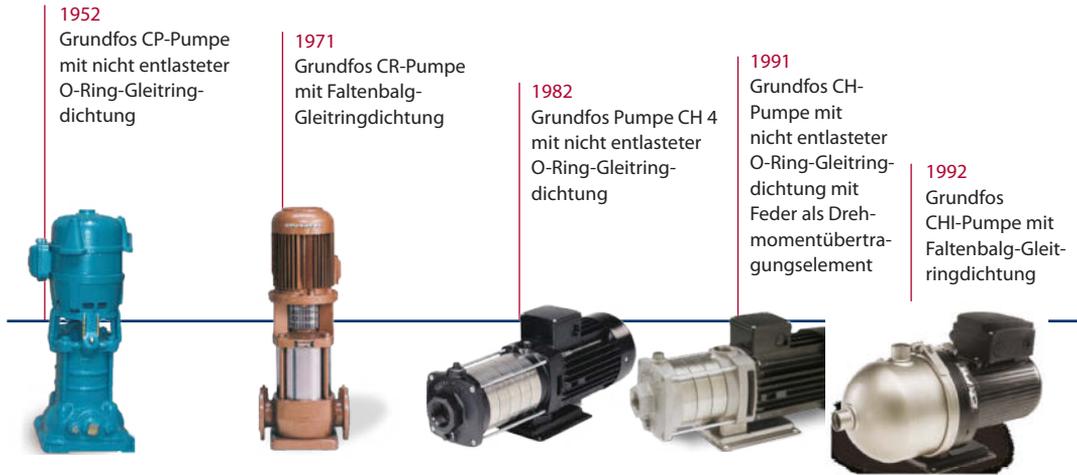


Abb. 1.26: Entwicklung der Grundfos Gleitringdichtungen

4. Historische Entwicklung

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden viele Anstrengungen unternommen, um die herkömmlichen geflochtenen Stopfbuchspackungen, die bis dahin für Kolbenpumpen und rotierende Wellen eingesetzt wurden, durch eine Neuentwicklung zu ersetzen. Gesucht wurde nach einer zuverlässigeren Abdichtung für flüssigkeitsfördernde Maschinen.

In den 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts entwickelte die James Walker Group eine Gleitringdichtung für Kühlkompressoren. Gleichzeitig führte das Unternehmen John Crane die erste Gleitringdichtung für Kraftfahrzeuge ein. Anfang der 40er Jahre ließ sich dasselbe Unternehmen eine axiale Gummifaltenbalg-Gleitringdichtung patentieren, die heute als "Typ 1" bezeichnet wird.

Nach diesem Durchbruch im Bereich der Dichtungstechnologie wurden noch weitere Gleitringdichtungen von dem Unternehmen John Crane entwickelt. Daraufhin warb das Unternehmen mit dem Slogan "Die passende Dichtung für jede Anwendung".

Auch heute noch gehört John Crane zu den führenden Herstellern von Gleitringdichtungen, zusammen mit Grundfos, Burgmann, Flowserve, usw.

Die erste Grundfos Gleitringdichtung

Die erste Grundfos Gleitringdichtung wurde 1952 in der CP-Baureihe - der ersten vertikalen mehrstufigen Kreiselpumpe weltweit - eingesetzt. Es war eine O-Ring-Gleitringdichtung mit Gleitflächen aus Wolframkarbid.



Abb. 1.27: Originalzeichnung der Gleitringdichtung für die CP-Pumpe aus dem "Grundfos Pumpenmagazin" von 1956

1993

Einführung der Gummifaltenbalg-Gleitringsdichtung bei Grundfos CR-Pumpen



1998

Nicht entlastete O-Ring-Gleitringsdichtung in Patronenbauweise für große CR-Pumpen



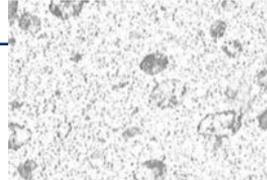
2000

Entlastete O-Ring-Gleitringsdichtung in Patronenbauweise für CR-Pumpen



2004

Verwendung von Siliziumkarbid als Standardwerkstoff für die Dichtringe bei CR-Pumpen



Diese nicht-entlastete O-Ring-Gleitringsdichtung von Grundfos mit Dichtflächen aus Wolframkarbid wurde vor allem erfolgreich zur Förderung von Medien mit abrasiven Bestandteilen verwendet. Doch schon bald folgte die Entwicklung weiterer Gleitringsdichtungen für den Einbau in Grundfos Pumpen, wie z.B. den BP-Brunnenpumpen, den mehrstufigen CR-Kreiselpumpen, den einstufigen UPT-Umwälzpumpen sowie den LM- und LP-Inlinepumpen.

Die Werkstoffpaarung Wolframkarbid/Wolframkarbid erwies sich als besonders geeignet für Kaltwasseranwendungen. Dies galt jedoch weniger für Warmwasseranwendungen, weil es hier zu einer erhöhten Geräuschentwicklung während des Betrieb kommt.

Gleitringsdichtung mit Dichtflächen aus Wolframkarbid und synthetischer Kohle

Anfang der 90er Jahre entwickelte Grundfos deshalb eine Faltenbalg-Gleitringsdichtung mit der Werkstoffpaarung Wolframkarbid/Synthetische Kohle, die sich schnell durchsetzte und in den mehrstufigen CR-Pumpen sowie den einstufigen LM/LP-Pumpen, CHI-Pumpen, AP-Pumpen und UMT/UPT-Pumpen eingebaut wurden. Gerade bei Gegenringen aus synthetischer Kohle ist die Verwendung von Gummifaltenbalgen die optimale Lösung.

Später wurde dann die Patronendichtung als neue Generation der Gleitringsdichtungen entwickelt, um den Einbau und die Reparatur zu erleichtern.

Gleitringsdichtung mit Dichtflächen aus Siliziumkarbid/Siliziumkarbid

Seit 2004 wird bei den Grundfos Gleitringsdichtungen in Patronenbauweise standardmäßig die Werkstoffpaarung Siliziumkarbid/Siliziumkarbid (SiC/SiC) verwendet. Sie zeichnet sich besonders durch die Beständigkeit gegenüber im Fördermedium enthaltene abrasive Bestandteile und den guten Warmwassereigenschaften aus.

Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden der Aufbau und die Komponenten einer Gleitringsdichtung beschrieben. Zudem wurde auf die Bedeutung des Schmierfilms für den Betrieb der Gleitringsdichtung eingegangen, dessen Dicke durch eine Enlastung, die durch eine Verringerung der druckbeaufschlagten Fläche erreicht wird, vergrößert werden kann. Um jedoch eine zu hohe Leckage zu vermeiden, darf die Schmierfilmdicke nicht zu groß werden.



Kapitel 2

Arten von Gleitringdichtungen und Dichtungssysteme



1. Arten von Gleitringdichtungen
2. Dichtungssysteme
3. Auswählen einer Gleitringdichtung



1. Arten von Gleitringdichtungen

In diesem Kapitel wird die praktische Umsetzung des im vorherigen Kapitel dargestellten Funktionsprinzips anhand von Beispielen näher erläutert. Beschrieben werden die in Grundfos Pumpen eingesetzten Gleitringdichtungen, die die Vielfalt der möglichen Lösungen für verschiedenste Anwendungen widerspiegeln.



Typ A

Nichtentlastete O-Ring-Gleit-ringdichtung mit Drehmomentübertragungselement

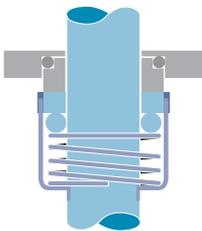
Robuste O-Ring-Gleit-ringdichtung mit Bauteil zur Drehmomentübertragung speziell für Dichtflächen aus harten Werkstoffpaarungen (WC/WC oder SiC/SiC). Einsetzbar auch bei schlechten Schmierverhältnissen. Durch den Einsatz eines O-Rings als dynamische Nebendichtung besteht die Gefahr, dass die Welle unterhalb des O-Rings verschleißt und die axiale Beweglichkeit des Gleitringes durch Ablagerungen eingeschränkt wird.



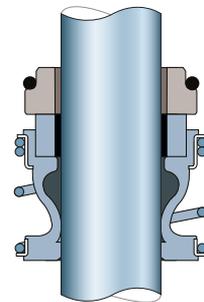
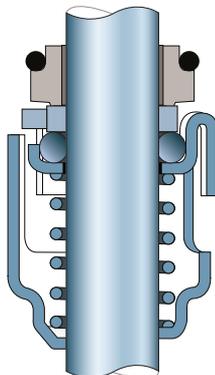
Typ B

Gummifaltenbalg-Gleitringdichtung

Faltenbalgdichtung mit Drehmomentübertragung über die Feder und den umgebenden Faltenbalg. Deshalb ist diese Gleit-ringdichtungsart nicht für harte Werkstoffpaarungen in Anwendungen mit unzureichenden Schmierverhältnissen geeignet. Durch den als Nebendichtung wirkenden Faltenbalg wird verhindert, dass die Welle verschleißt und die axiale Beweglichkeit durch Ablagerungen auf der Welle beeinträchtigt wird.



■ Feststehender Teil
■ Rotierender Teil





Typ C

Nicht entlastete O-Ring-Gleitringdichtung mit Feder als Drehmomentübertragungselement

Einfache O-Ring-Gleitringdichtung für Niederdruckerwendungen mit Feder zur Drehmomentübertragung. Aufgrund der Feder ist die Gleitringdichtung jeweils nur für eine Drehrichtung geeignet. Die Abbildung zeigt eine Gleitringdichtung für eine Drehrichtung gegen den Uhrzeigersinn.

Diese Art der Gleitringdichtung mit der Werkstoffpaarung Keramik/synthetische Kohle ist bestens geeignet für die Förderung von klarem Wasser in Niedertemperaturanwendungen.



Typ D

Entlastete O-Ring-Gleitringdichtung mit Feder auf der luftbeaufschlagten Seite

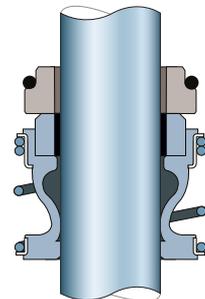
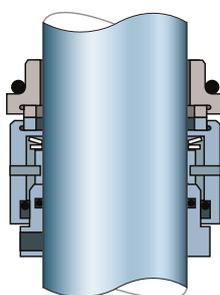
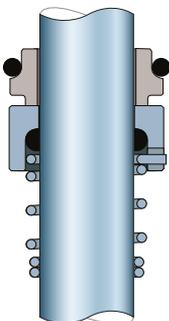
Durch die entlastete Bauweise kann diese Art der Gleitringdichtung für Hochdruckerwendungen eingesetzt werden. Sie verfügt zudem über eine starre Drehmomentübertragung. Da die Feder auf der luftbeaufschlagten Seite angeordnet ist, ist diese Gleitringdichtung bestens für die Förderung von hochviskosen, verschmutzten Medien geeignet, die auch langfaserige Bestandteile enthalten können.



Typ G

Gummifaltenbalg-Gleitringdichtung mit reduzierten Dichtflächen

Entspricht der Gummifaltenbalg-Gleitringdichtung vom Typ B. Bei dem Typ G sind jedoch die Dichtflächen schmaler ausgeführt, so dass diese Art der Gleitringdichtung besonders gut zur Förderung von hochviskosen Medien und Frostschutzmitteln geeignet ist.

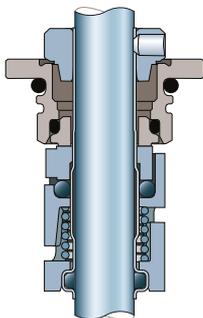




Typ H

Typ H
Entlastete O-Ring-Gleitringdichtung in Patronenbauweise mit Drehmomentübertragungselement

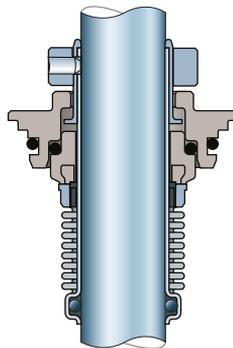
Diese Art der Gleitringdichtung ist in einem Gehäuse untergebracht. Dadurch wird der Austausch der Gleitringdichtung erheblich erleichtert. Wie bei der Gleitringdichtung vom Typ D ist auch diese Gleitringdichtung wegen der Druckentlastung bestens für den Einsatz in Hochdruckanwendungen geeignet.



Typ K

Typ K
Entlastete Gleitringdichtung mit Faltenbalggehäuse aus gewalztem Blech

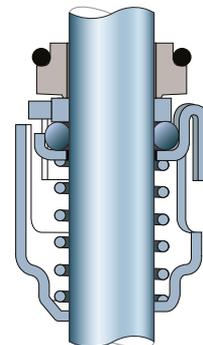
Der Metallfaltenbalg dient gleichzeitig als Federelement und als Drehmomentübertragungselement. Diese Art der Gleitringdichtung besitzt nur statisch belastete Elastomerteile, so dass die Gefahr des Blockierens wie beim Typ B erheblich reduziert wird.



Typ R

Typ R
Nicht entlastete O-Ring-Gleitringdichtung entsprechend Typ A jedoch mit reduzierten Dichtflächen

Wegen der schmäler ausgeführten Dichtfläche und der nicht entlasteten Bauweise ist das Belastungsverhältnis größer als beim Typ A. Dadurch ergeben sich niedrigere Einsatzgrenzen bezüglich des Drucks und der Temperatur. Wie die Gleitringdichtung vom Typ G ist auch der Typ R besonders gut geeignet zur Förderung von hochviskosen Medien und Frostschutzmitteln.





Typ O

**Doppelte Gleitringdichtung in
“Back-to-Back”-Anordnung**

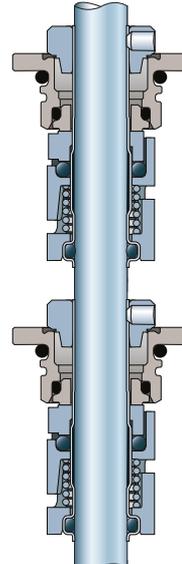
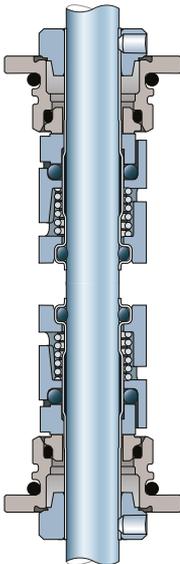
Diese Dichtungsanordnung erfordert den Einsatz einer Sperrflüssigkeit mit einem höheren Druck als das Fördermedium. Dadurch wird ein Austreten des Fördermediums in die Umgebung vollständig unterbunden. Außerdem sorgt die saubere Sperrflüssigkeit für eine gute Schmierung der Dichtflächen beider Gleitringdichtungen. Siehe auch die Ausführungen auf Seite 32.



Typ P

**Doppelte Gleitringdichtung in
“Tandem”-Anordnung**

Diese Dichtungsanordnung erfordert den Einsatz einer Sperrflüssigkeit mit einem niedrigeren Druck als das Fördermedium. Dadurch werden die Dichtflächen über das Fördermedium optimal gekühlt, ohne dass das Fördermedium in die Umgebung gelangt und Ausfällungen des Fördermediums außen an der Gleitringdichtung auftreten. Siehe auch die Ausführungen auf Seite 36.



2. Dichtungssysteme

Einige der zuvor beschriebenen Gleitringdichtungen können bei speziellen Pumpenausführungen für besondere Anwendungen und Anforderungen entsprechend der nachfolgend aufgeführten Beispiele zu doppelwirkenden Dichtungssystemen kombiniert werden.

Umwälzung

Bei einigen Anwendungen ist es erforderlich, die Dichtflächen einfachwirkender Gleitringdichtungen zu kühlen oder Ablagerungen in der Dichtungskammer zu verhindern und Partikel zu entfernen. In diesen Fällen kann eine Zirkulationsleitung vom Druckstutzen der Pumpe zur Dichtungskammer verlegt werden. Die Kühlflüssigkeit wird dann von der Dichtungskammer zurück zum Fördermedium im Pumpengehäuse geführt. Auf diese Weise wird ein ausreichender Austausch der Flüssigkeit in der Dichtungskammer sichergestellt. Hierfür ist ein Leitungsdurchmesser von $\text{Ø}10/\text{Ø}8$ ausreichend. Die oben beschriebene Umwälzung von der Druckseite zur Dichtungskammer kann auch in die Pumpenkonstruktion integriert sein. Siehe Abb. 2.1.

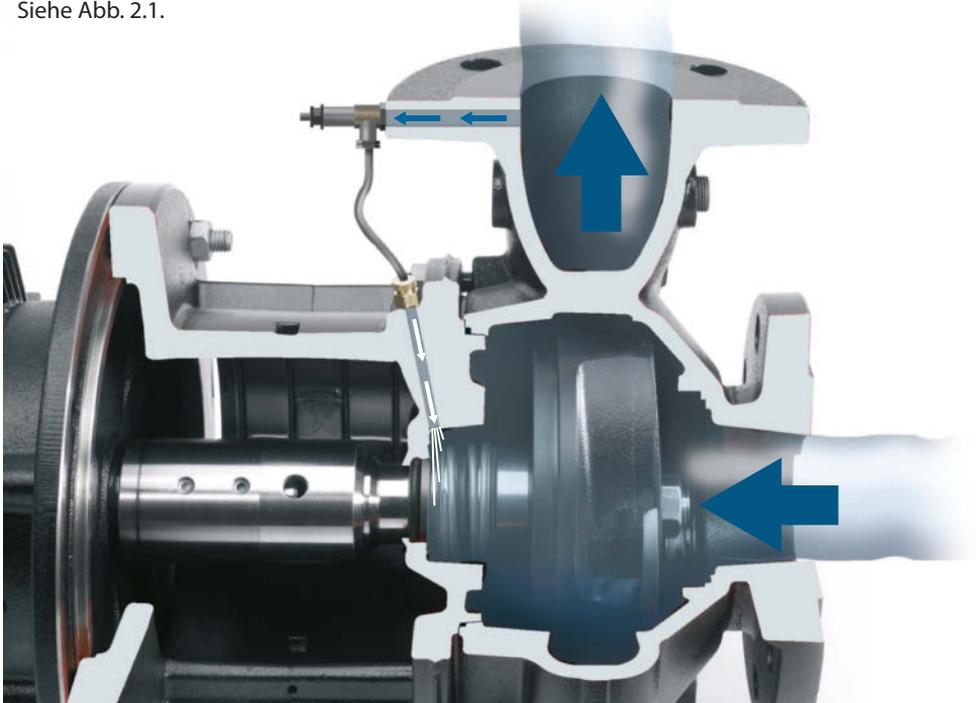


Abb. 2.1: Umwälzkreis zur Kühlung einer einfachwirkenden Gleitringdichtung

Doppelte Gleitringdichtungen können in gleicher Richtung auf der Welle angeordnet sein (Tandemanordnung) oder in entgegengesetzter Richtung (Back-to-Back-Anordnung).

Ziel der Dichtungssysteme mit doppelter Gleitringdichtung ist es unter anderem, die Temperatur, den Druck oder den Volumensstrom der Kühl-/Schmierflüssigkeit zu regeln.

Doppelte Gleitringdichtung in Back-to-Back-Anordnung mit Sperrflüssigkeit, Typ O

Der Begriff "Back-to-Back" wird in der Dichtungstechnik in der Regel verwendet, wenn zwei Gleitringdichtungen in entgegengesetzter Richtung auf der Welle angeordnet sind. Zwischen den beiden Gleitringdichtungen befindet sich eine druckbeaufschlagte Sperrflüssigkeit. Doppelte Gleitringdichtungen mit Sperrflüssigkeit bieten gegenüber der einfachwirkenden Gleitringdichtung einige Vorteile auf der der Pumpe zugewandten Seite. Siehe Abb. 2.2.

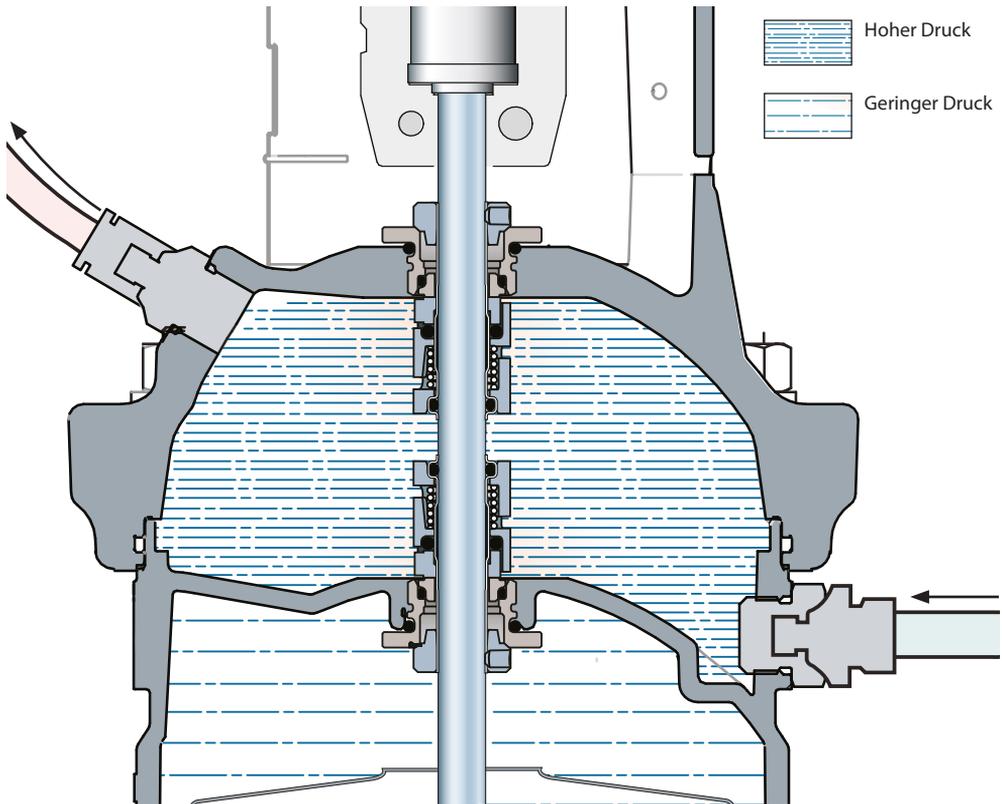


Abb. 2.2: Grundfos CR-Pumpe mit doppelter Gleitringdichtung in Back-to-Back-Anordnung

Diese Dichtungsanordnung ist besonders geeignet für die Förderung von z.B. giftigen oder explosionsgefährdeten Flüssigkeiten, die unter keinen Umständen in die Umgebung gelangen dürfen. Der Druck der Sperrflüssigkeit ist bei dieser Dichtungsanordnung höher als der Förderdruck, so dass bei Undichtigkeiten das Fördermedium nicht in die Sperrkammer gelangen kann. Um eine entsprechende Abdichtung zu erreichen, muss der Druck der Sperrflüssigkeit mindestens 2 bar oder ansonsten 10 % über dem Förderdruck liegen. Da die saubere Sperrflüssigkeit einen höheren Druck besitzt, dient sie auch als Schmierflüssigkeit für alle Dichtflächen.

Dichtungssysteme mit doppelter Gleitringdichtung in Back-to-Back-Anordnung sind besonders gut geeignet für die Förderung von klebrigen Medien und/oder von Flüssigkeiten mit einem hohen Anteil an abrasiven Bestandteilen. Durch diese Dichtungsanordnung wird verhindert, dass das Fördermedium in den Dichtspalt eindringt und so zu einem erhöhten Verschleiß der Dichtflächen führt.

Als Sperrflüssigkeit wird für diese Art von Dichtungssystemen in der Regel Wasser oder ein Wasser-Glycerin-Gemisch verwendet, weil diese Flüssigkeiten nicht giftig und mit den meisten Fördermedien verträglich sind. Bei der Auswahl der Sperrflüssigkeit muss die Verträglichkeit mit der Sperrflüssigkeit immer gegeben sein.

Zum Aufbauen und Halten des Überdrucks in der Sperrflüssigkeit gegenüber dem Druck des Fördermediums können verschiedene Druckquellen verwendet werden, die nachfolgend beschrieben werden.

Druckbehälter mit konstantem Überdruck

Ein Druckbehälter mit konstantem Überdruck sorgt dafür, dass der Druck der Sperrflüssigkeit immer 10 % oder 2 bar über dem Druck des Fördermediums liegt. Siehe Abb. 2.3.

Die Verwendung eines Druckbehälters bietet folgende Vorteile:

- Ausgleich von Undichtigkeiten
- Kühlung der Dichtung durch natürliche Konvektion oder erzwungene Umwälzung
- Anzeige des Drucks der Sperrflüssigkeit
- Möglichkeit einer Alarmmeldung bei zu geringem/hohem Füllstand der Sperrflüssigkeit
- Möglichkeit zum Nachfüllen der Sperrflüssigkeit, ohne dass der Druck im Druckbehälter abgelassen werden muss
- Aufrechterhaltung des Drucks in der Sperrflüssigkeit durch konstante Druckluftversorgung
- Anzeige der Temperatur und des Füllstands der Sperrflüssigkeit.

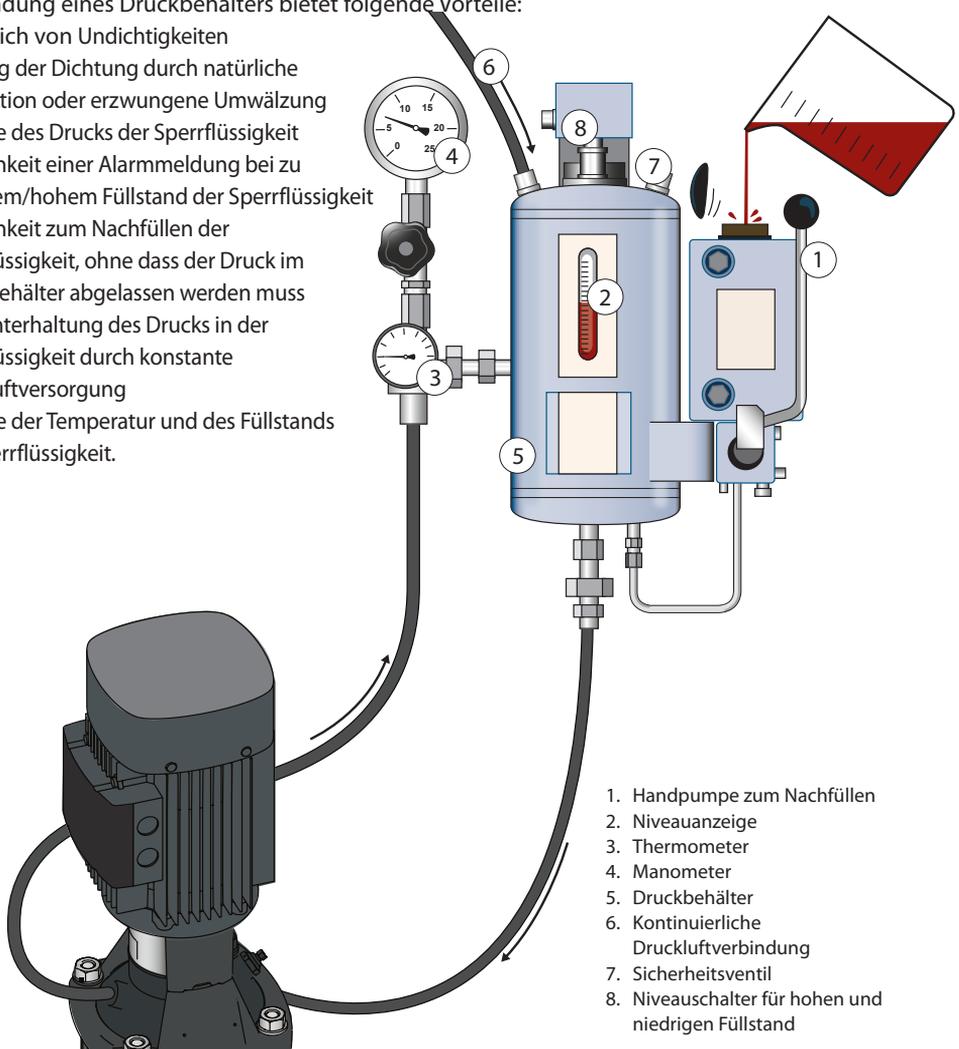


Abb. 2.3: Druckbehälter mit konstantem Überdruck, angeschlossen an eine CR-Pumpe mit doppelter Gleitringdichtung in Back-to-Back-Anordnung

Dosierpumpe zum Aufbau eines konstanten Drucks

Eine andere Möglichkeit, einen konstanten Überdruck in der Sperrkammer aufzubauen und aufrecht zu erhalten, ist der Einsatz einer Dosierpumpe. Diese Lösung wird hauptsächlich in Anwendungen mit einfachem Zufluss der Sperrflüssigkeit (Dead-End-System) eingesetzt, bei denen die Kühlung der Sperrkammer ausreichend ist. Siehe Abb. 2.4.

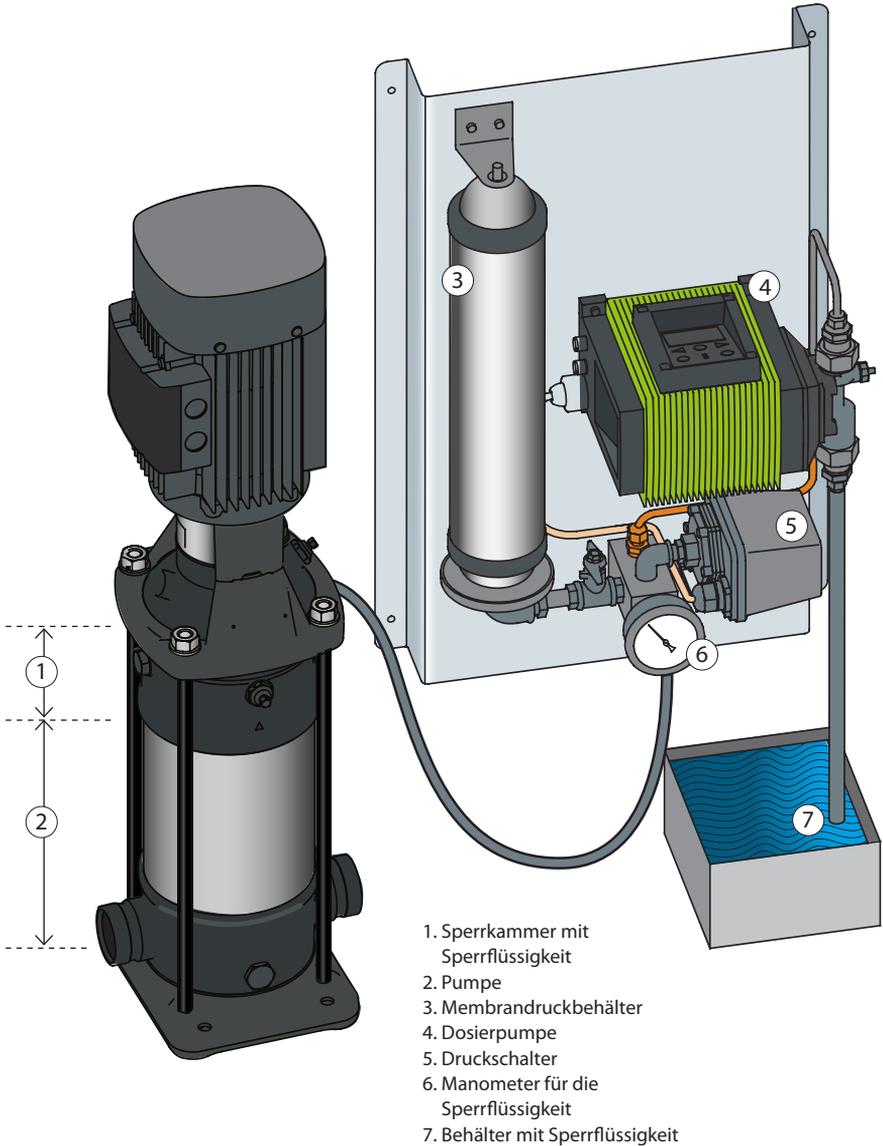


Abb. 2.4: Dosierpumpe zum Aufbau eines konstanten Drucks in der Sperrkammer bei einer in einer Grundfos CR-Pumpe eingebauten doppelten Gleitringdichtung in Back-to-Back-Anordnung

Druckverstärker

Der Grundfos Druckverstärker baut unabhängig vom aktuellen Druck des Fördermediums automatisch einen Druck in der Sperrkammer auf, der 2 bar über dem Förderdruck liegt. Der Überdruck wird solange gehalten, bis der Behälter leer ist. Zum Nachfüllen des Behälters muss der Pumpenbetrieb unterbrochen werden.

Die Leitung für den Zufluss der Sperrflüssigkeit zur Sperrkammer muss über ein Rückschlagventil verfügen, um zu vermeiden, dass sich ein Gegendruck in Richtung Druckverstärker aufbaut. Siehe Abb. 2.5.

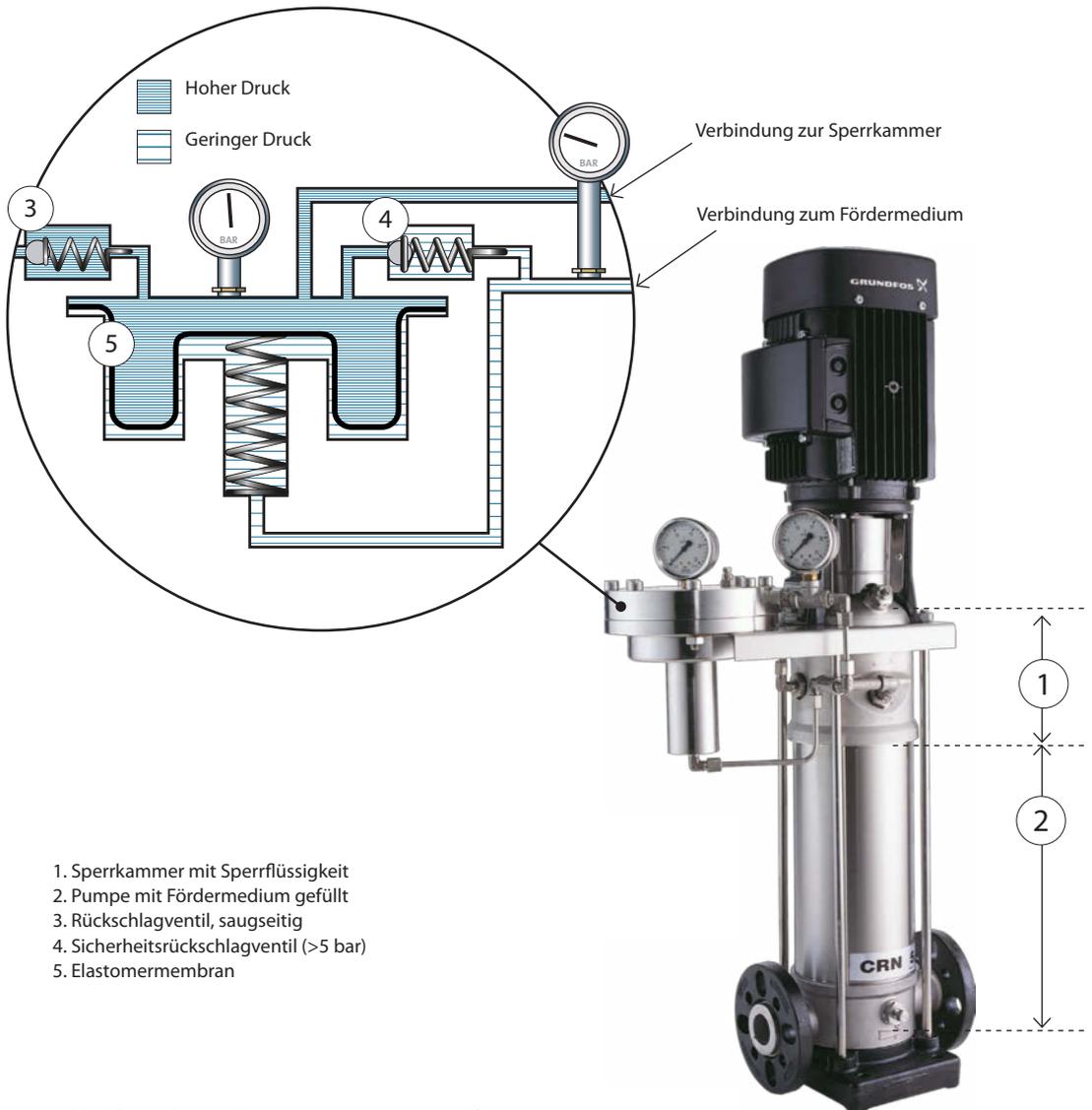


Abb. 2.5: Druckverstärker, montiert an einer Grundfos CR-Pumpe

Doppelte Gleitringdichtung in Tandem-Anordnung mit Spülflüssigkeit, Typ P

Dieses Dichtungssystem besteht aus zwei Gleitringdichtungen, die in gleicher Richtung auf der Welle angeordnet sind. Die Sperrflüssigkeit zwischen den beiden Gleitringdichtungen besitzt einen geringeren Druck als das Fördermedium. Doppelte Gleitringdichtungen in Tandem-Anordnung bieten folgende Vorteile auf der der Pumpe zugewandten Seite:

- Im Dichtspalt findet keine Verdampfung statt. Dadurch wird verhindert, dass sich auf der mit Sperrflüssigkeit beaufschlagten Seite Ablagerungen oder Auskristallisierungen bilden.
- Die Sperrflüssigkeit schmiert und kühlt die Dichtflächen, auch wenn die Pumpe trocken läuft oder sich saugseitig ein Vakuum bildet. Siehe Abb. 2.6.

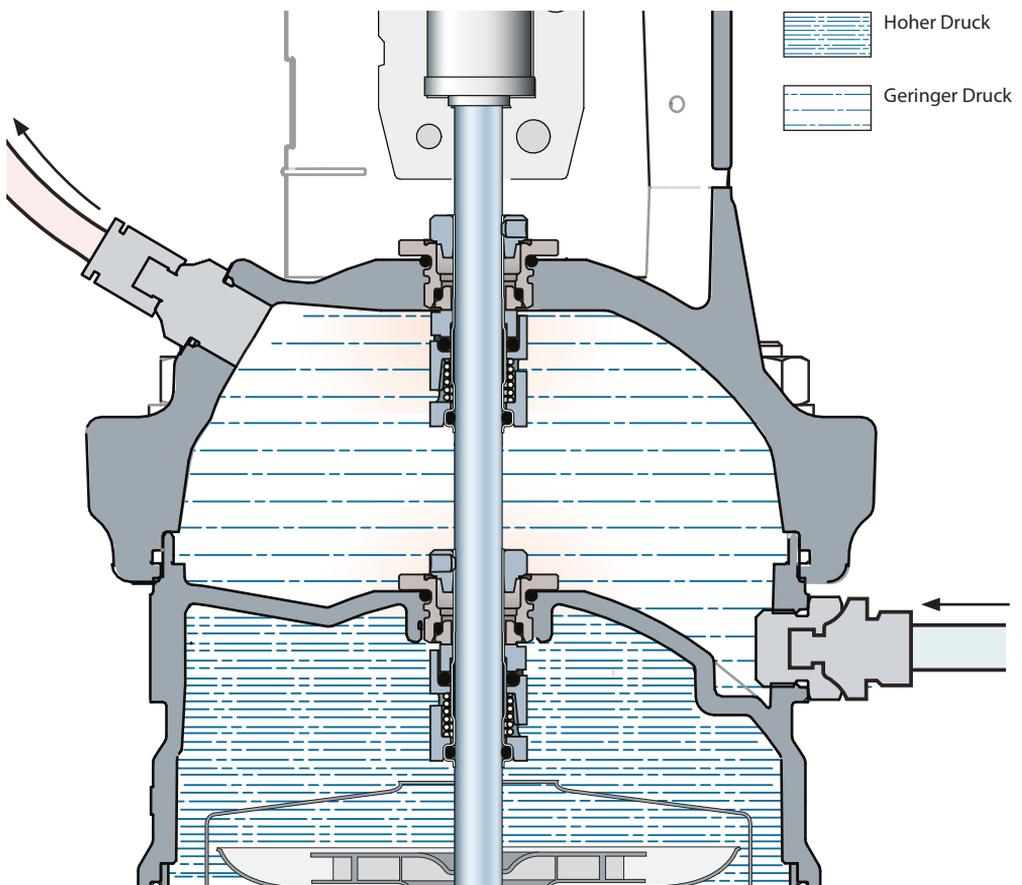
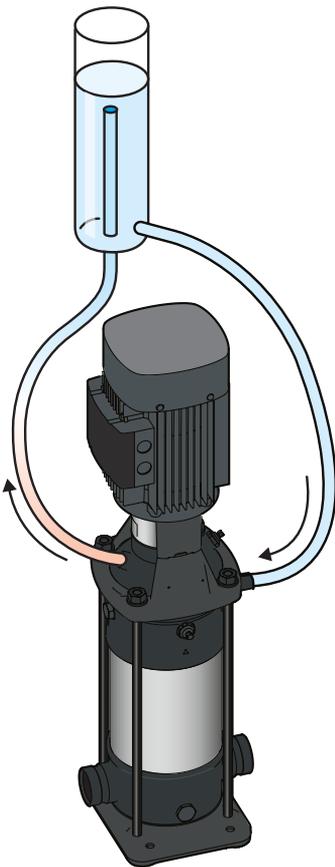


Abb. 2.6: Grundfos CR-Pumpe mit einer doppelten Gleitringdichtung in Tandemanordnung

Es gibt mehrere Möglichkeiten für den Anschluss des erhöht angeordneten Sperrflüssigkeitsbehälters an die Dichtungskammer, wie z.B.:

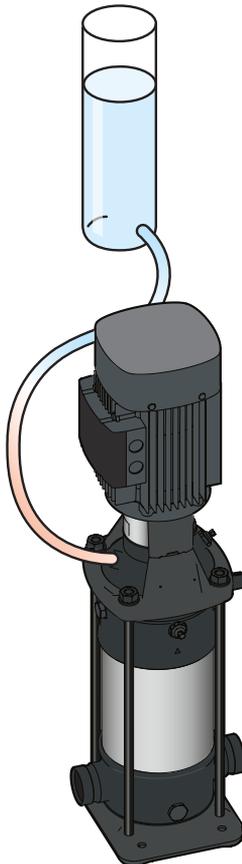
Umlaufsystem mit Behälter

Die Dichtungskammer wird an ein Umlaufsystem mit höher gelegenem Behälter angeschlossen. Die Umwälzung der Sperrflüssigkeit zur Kühlung und Schmierung der Dichtflächen erfolgt durch die Schwerkraft oder eine Pumpe. Nach einer bestimmten Zeit muss die Sperrflüssigkeit im Behälter gewechselt werden, weil sie vom Fördermedium allmählich verunreinigt wird.



Dead-End-System mit einfacher Zulaufleitung

Die Dichtungskammer wird über eine einfache Zulaufleitung mit dem Behälter verbunden. Die Sperrflüssigkeit schmiert zwar die Dichtflächen ausreichend, die Kühlung ist jedoch geringer als bei dem Umlaufsystem. Auch hier muss die Sperrflüssigkeit im Behälter nach einer bestimmten Zeit gewechselt werden, weil sie allmählich vom Fördermedium verunreinigt wird.



Externes Sperrflüssigkeitsversorgungssystem

Die Sperrflüssigkeit durchströmt die Dichtungskammer und wird danach über einen Ablauf abgeleitet. Auf diese Weise werden die Dichtflächen durch die Sperrflüssigkeit äußerst effektiv geschmiert und gekühlt. Außerdem ist eine Überwachung des Leckagestroms möglich.

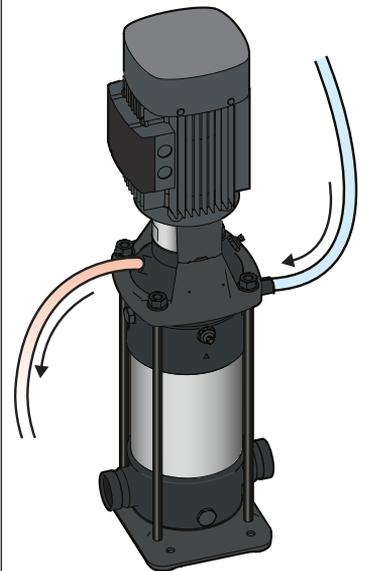


Abb. 2.7: Beispiele für die Zuführung der Sperrflüssigkeit

Andere Dichtungssysteme

Gleitringdichtungen für Hygieneanwendungen

Die Anforderungen an Gleitringdichtungen für Hygiene- und Sterilanwendungen unterscheiden sich erheblich von den Anforderungen, die an Gleitringdichtungen für andere Anwendungen gestellt werden.

Häufig müssen diese Gleitringdichtungen den für diesen Anwendungsbereich geltenden Normen und Vorschriften entsprechen, von denen einige in Kapitel 6 aufgeführt sind. Wenn die Pumpe CIP-reinigungsfähig und SIP-sterilisationsfähig sein soll, müssen die Dichtungswerkstoffe z.B. die in den für die Reinigung und Medienbeständigkeit geltenden Richtlinien definierten Anforderungen erfüllen. Zusätzlich sind eine geringe Oberflächenrauigkeit und elektropolierte Oberflächen bei den medienberührten Bauteilen gefordert (in Abb. 2.10 gelb umrandet).

Besondere Beachtung erfordern die Elastomerteile der Gleitringdichtung. Sie müssen dem zur Reinigung eingesetzten Fördermedium und den hohen Temperaturen während des Reinigungsprozesses standhalten können. Alle medienberührten Bauteile der Gleitringdichtung müssen dementsprechend gereinigt werden können. Siehe die Abbildungen 2.8, 2.9 und 2.10.

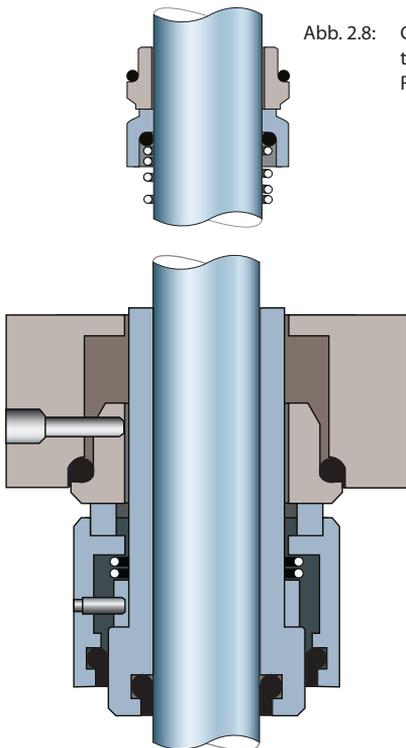


Abb. 2.9: Grundfos Gleitringdichtung Typ D mit modifizierten Nebendichtungen ohne Spalt für mittlere Reinigungsanforderungen.

Abb. 2.8: Grundfos Gleitringdichtung Typ C für geringe Reinigungsanforderungen

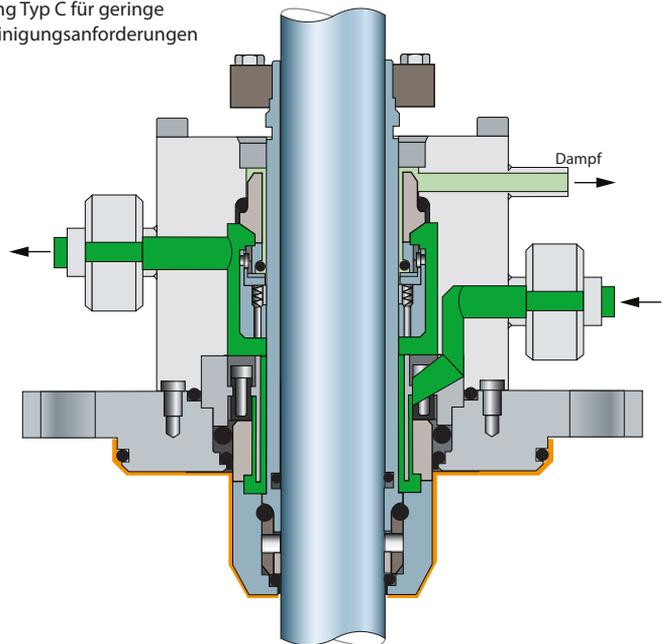


Abb. 2.10: Beispiel für eine aufwendige Antriebsdichtung für Hygieneanwendungen, die die höchsten Sterilisations- und Reinigungsanforderungen erfüllt. Als Sperrflüssigkeit (grün) kann z.B. Kondensatdampf verwendet werden. Elektropolierte Oberflächen sind gelb umrandet. Die Nebendichtungen auf der medienberührten Seite wurden modifiziert, so dass kein Spalt entsteht.

Gleitringdichtungen für hohe Drehzahlen

Bei Geschwindigkeiten über 15-20 m/s muss der rotierende Teil als Dichtungssitz ausgeführt sein, um eine mögliche Unwucht auf ein zulässiges Maß zu reduzieren. Siehe Abb. 2.11.

Weitere Vorteile eines rotierenden Dichtungssitzes sind, dass sich die Feder bei einer Falschrichtung der Welle nur einmal neu ausrichten muss und dass ein Fressen der Hülse unter dem O-Ring verhindert wird.

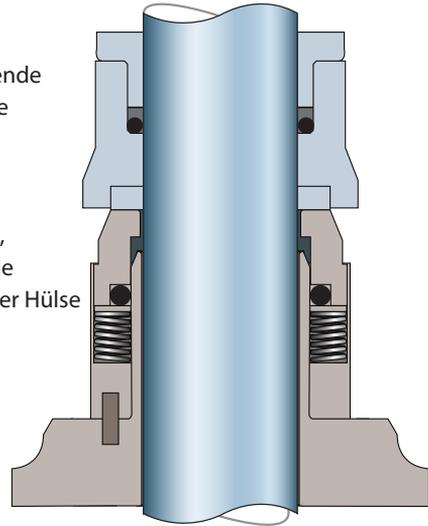


Abb. 2.11: Beispiel einer Hochgeschwindigkeitsdichtung für das Grundfos BME-Druckmodul

Luftgekühlte Dichtungskammer für Hochtemperaturanwendungen (Air-Cooled Top)

Für Anwendungen zur Förderung von reinen Medien mit hoher Temperatur, wie z.B. Heißwasser oder Wärmeträgeröl, kann es von Vorteil sein, die Baulänge der Pumpe zu erhöhen, so dass eine Luftkammer unterhalb der Dichtungskammer angeordnet werden kann.

Dank dieser Bauweise kann zwischen der Standard-Gleitringdichtung und dem Fördermedium ein bestimmter Abstand eingehalten werden, so dass im Dichtspalt der Gleitringdichtung ein stabiler Schmierfilm aufgebaut werden kann. Der Austausch des Fördermediums mit dem die Gleitringdichtung umgebenden Fördermedium ist wegen der Drosselwirkung sehr gering.

Zur Entlüftung der Dichtungskammer ist ein automatisches Entlüftungsventil erforderlich. Dieses Dichtungssystem ist unabhängig von externen Anschlüssen. Siehe Abb. 2.12.

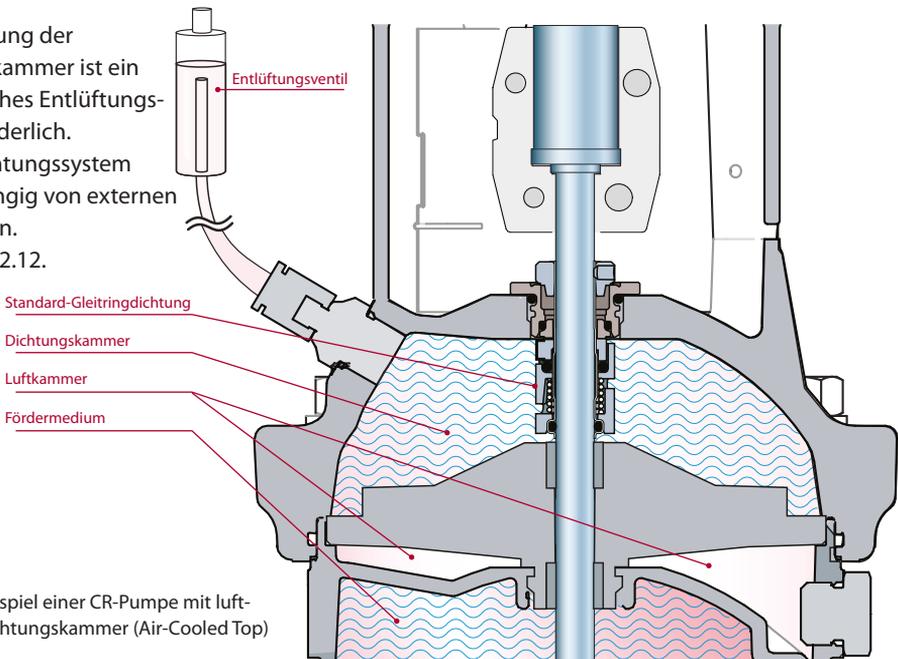


Abb. 2.12: Beispiel einer CR-Pumpe mit luftgekühlter Dichtungskammer (Air-Cooled Top)

Magnetantrieb

Der Magnetantrieb ist eine komplett andere Form der Wellenabdichtung. Für Anwendungen, bei denen eine hermetische Abdichtung gefordert ist, ist der Magnetantrieb eine Alternative zu einer doppelten Gleitringdichtung in Back-to-Back-Anordnung. Bei dieser Form der Drehmomentübertragung trennt ein Spaltrohr die medienbeaufschlagte Seite von der Umgebungsseite. Der Magnetantrieb besteht aus einem inneren und äußeren Rotor mit Magnet, die durch das Spaltrohr voneinander getrennt sind. Über die Magnete wird das Drehmoment vom Motor auf die Pumpenwelle übertragen. Pumpen mit Magnetantrieb haben nur statisch belastete O-Ringe, die verhindert, das Magnetpartikel in das Fördermedium gelangen. Dieses Dichtungssystem arbeitet unabhängig und erfordert keine externen Anschlüsse. Siehe Abb. 2.13.

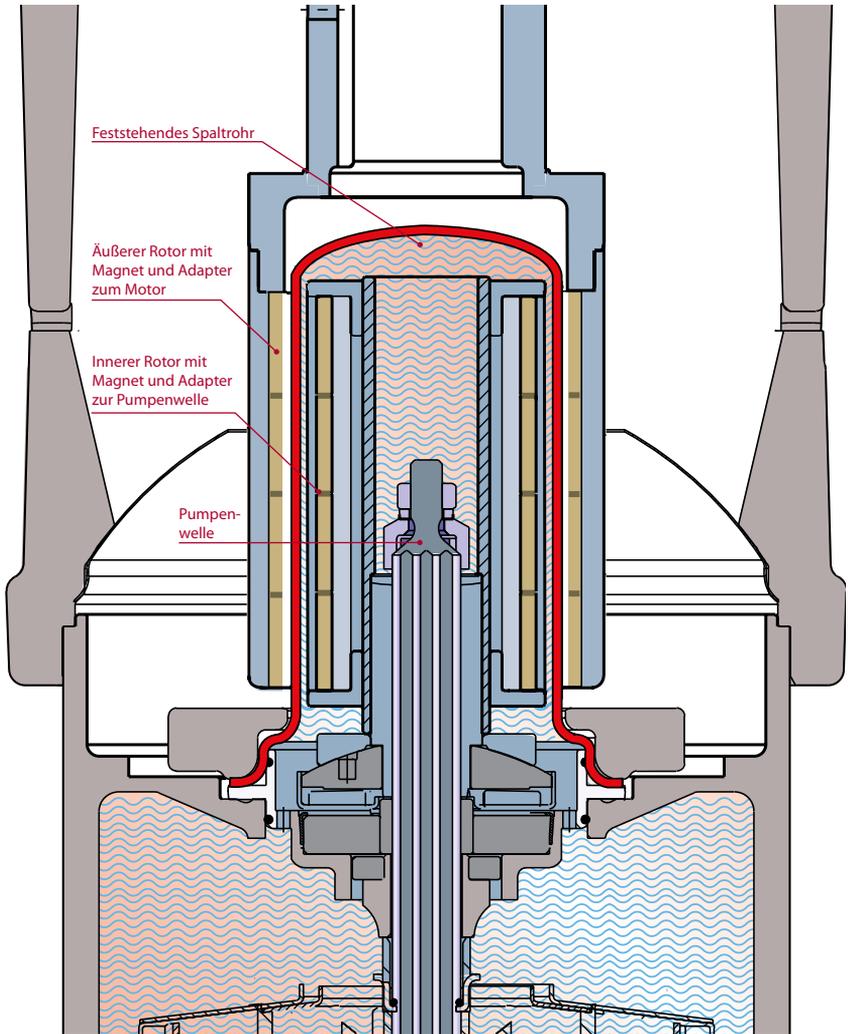


Abb. 2.13: Hermetische Abdichtung mit einem Magnetantrieb

Außen angeordnete Dichtung

Zur Förderung einiger reiner und sehr aggressiver, aber ungiftiger Medien, kann es von Vorteil sein, den rotierenden Teil der Gleitringdichtung mit den zugehörigen Federn und dem Mitnehmer außerhalb des Fördermediums anzuordnen.

Damit die Dichtflächen der Gleitringdichtung zusammengehalten werden, ist ein Überdruck im Innern erforderlich. Der Spalt zwischen der Welle und dem Dichtungssitz ist so groß, dass ein Austausch der Flüssigkeit zur Kühlung der Dichtflächen stattfinden kann.

Siehe Abb. 2.14.

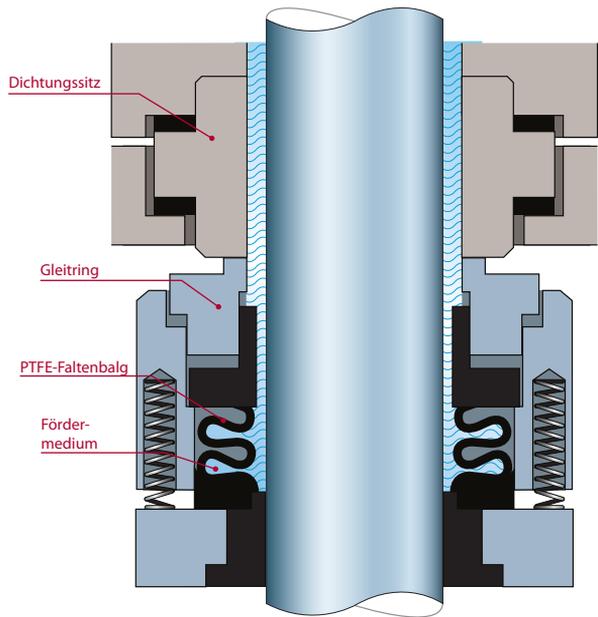


Abb. 2.14: Entlastete Gleitringdichtung mit außen angeordnetem Gleitring für korrosive Medien

Unterwassermotoren

Der Differenzdruck zwischen der Innen- und Außenseite des Unterwassermotors ist gering. Deshalb können sowohl Gleitringdichtungen als auch Lippendichtungen eingesetzt werden. Die Lebensdauer von Gleitringdichtungen ist jedoch erheblich länger.

Um den Aufbau eines unzulässig hohen Überdrucks im Innern des Motors zu verhindern, sind spezielle konstruktive Maßnahmen zu treffen. Siehe Abb. 2.15.

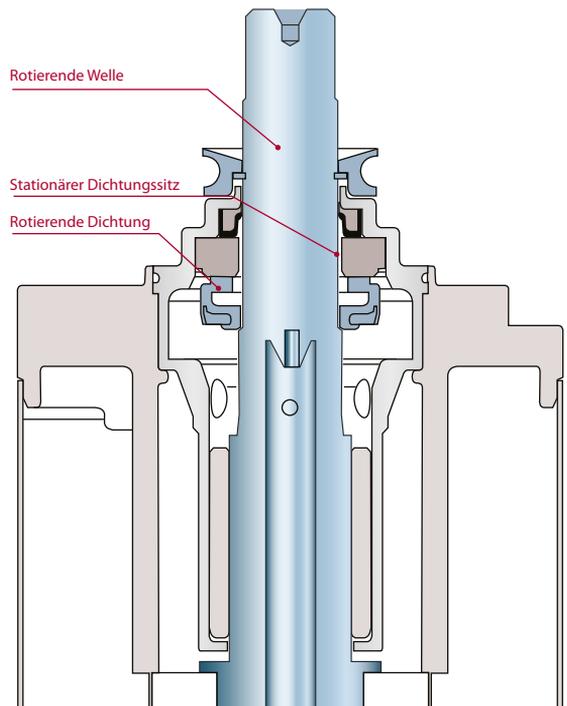


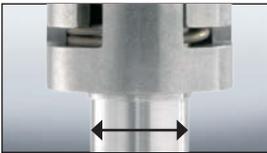
Abb. 2.15: Unterwassermotor mit Gleitringdichtung

3. Auswählen einer Gleitringdichtung

Die Gleitringdichtung ist entsprechend der am Einbau der Gleitringdichtung herrschenden Betriebsbedingungen auszuwählen.

Bei der Auswahl einer Gleitringdichtung sind vor allem die folgenden Faktoren zu berücksichtigen:

- Durchmesser der Gleitringdichtung
- Art des Fördermediums
- Temperatur
- Druck im Bereich der Gleitringdichtung
- Drehzahl der Welle.



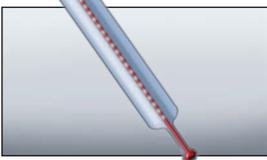
Durchmesser der Gleitringdichtung

Der Durchmesser der Gleitringdichtung ist so zu wählen, dass er zum Wellendurchmesser passt. Ist keine Gleitringdichtung für den entsprechenden Wellendurchmesser vorhanden, kann der Durchmesser mit Hilfe einer passenden Wellenhülse angepasst werden.



Art des Fördermediums

Die chemische Beständigkeit der verwendeten Werkstoffe gegenüber dem Fördermedium ist zu berücksichtigen. Auch die Viskosität des Fördermediums hat Einfluss auf die Schmierung und Leckrate. Dabei ist die Viskosität der meisten Medien temperaturabhängig. Eine einfache Gleitringdichtung kann für Medien mit einer dyn. Viskosität unter 2500 cP eingesetzt werden. Bei höheren Viskositäten sollte eine doppelte Gleitringdichtung in Back-to-Back-Anordnung eingesetzt werden.



Temperatur

Die Elastomerteile der Gleitringdichtung müssen der im Bereich der Gleitringdichtung herrschenden Flüssigkeitstemperatur standhalten können. Diese Temperatur kann von der Medientemperatur abweichen. Liegt die Temperatur über dem Siedepunkt des Fördermediums, verschlechtert sich die Schmierung. Dies ist bei der Auswahl des Gleitringdichtungstyps und der Werkstoffe zu beachten.



Druck im Bereich der Gleitringdichtung

Bei hohen Förderdrücken, die auch auf die Gleitringdichtung wirken, sollte eine entlastete Gleitringdichtung eingesetzt werden.



Drehzahl der Welle

Bei einer niedrigen Drehzahl können Gleitringdichtungen mit einer harten Werkstoffpaarung Geräusche verursachen, weil der Schmierfilm im Dichtspalt extrem dünn ist. Bei Geschwindigkeiten über 15 m/s ist eine entlastete Gleitringdichtung zu verwenden, weil diese eine geringe Unwucht aufweist.

Zusätzlich zu den aufgeführten Betriebsbedingungen ist bei der Auswahl der Werkstoffe für die Dichtringe der Gehalt an abrasiven Bestandteilen und Zusätzen im Fördermedium zu berücksichtigen. In einigen Fällen ist auch der für die Gleitringdichtung zur Verfügung stehende Einbauraum von Bedeutung.

Auch bei der Auswahl der passenden Dichtungsanordnung bei doppelten Gleitringdichtungen ist ebenfalls der Gehalt an abrasiven Bestandteilen und die Ablagerung von verschleißfördernden Partikeln auf der luftbeaufschlagten Seite zu berücksichtigen. Außerdem ist darauf zu achten, ob das Fördermedium gesundheitsgefährdend, explosionsgefährdend oder giftig ist.

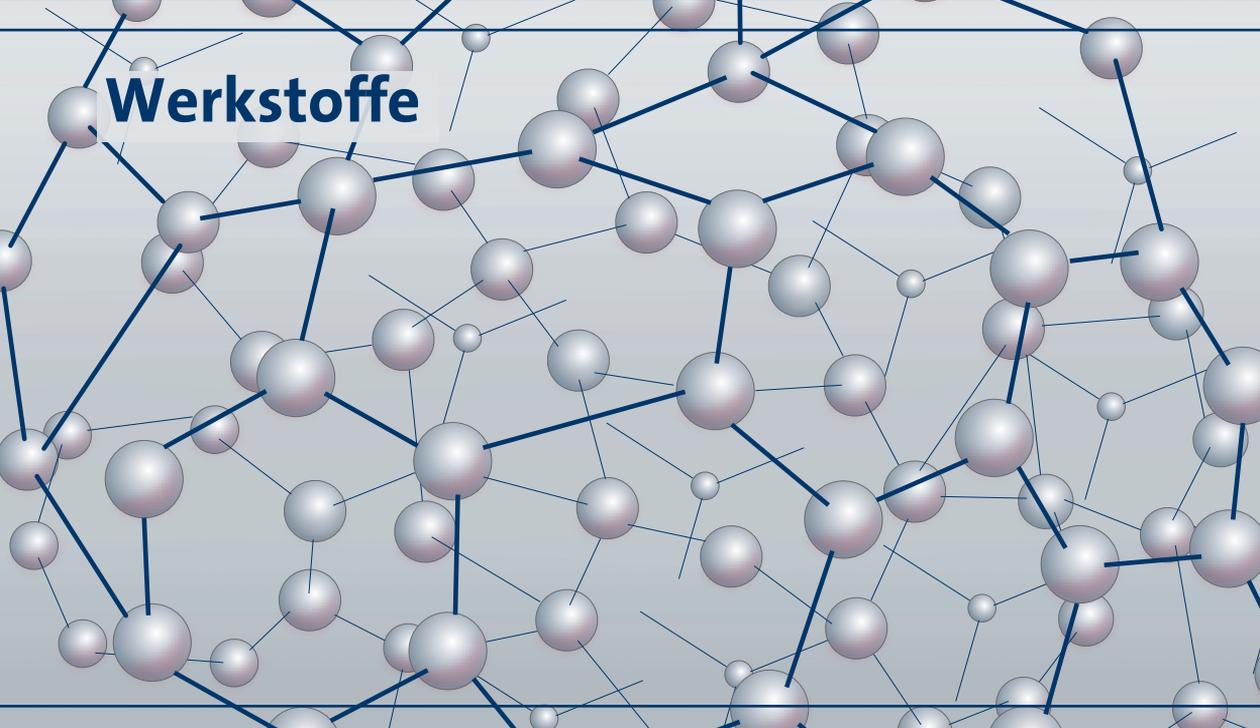
Zusammenfassung

Gleitringdichtungen können aus verschiedenen Bauteilen bestehen und auf unterschiedliche Arten zusammengesetzt werden, so dass sie für unterschiedliche Leistungsanforderungen eingesetzt werden können. Die Auswahl der passenden Gleitringdichtung erfolgt anhand des Fördermediums, der Temperatur, des Drucks und der Pumpendrehzahl. Für besonders raue Anwendungen können Einzeldichtungen mit Hilfe von Leitungen, Membranen, Federn, Ventilen und separaten Kühlflüssigkeitssystemen miteinander kombiniert werden.



Kapitel 3

Werkstoffe



1. Werkstoffe der Dichtflächen
2. Werkstoffpaarungen der Dichtflächen
3. Werkstoffprüfungen und allgemeine Prüfungen
4. Nebendichtungen
5. Werkstoffe weiterer Bauteile der Gleitringdichtung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden der Aufbau und das Funktionsprinzip von Gleitringdichtungen erläutert. Dieses Kapitel beschreibt nun die für die verschiedenen Bauteile der Gleitringdichtung verwendeten Werkstoffe. Dazu gehört auch eine Auflistung der zahlreichen Prüfverfahren, mit denen die Eignung verschiedener Werkstoffe und Werkstoffpaarungen für den Einsatz in Gleitringdichtungen festgestellt werden kann.

1. Werkstoffe der Dichtflächen

Es sind nur wenige Werkstoffe für die Herstellung von Dichtflächen geeignet. Denn um die Leckrate so klein wie möglich zu halten, muss der Dichtspalt sehr eng sein. Daraus ergibt sich ein sehr dünner Schmierfilm, so dass die Dichtflächen bei hoher Last und hohen Drehzahlen aneinander reiben. Die verwendeten Werkstoffe müssen somit in der Lage sein, den aus der Reibung resultierenden Bedingungen standzuhalten.

Ein optimaler Werkstoff für Dichtflächen besitzt einen niedrigen Reibwert, eine hohe Härte, eine hohe Korrosionsbeständigkeit und eine hohe Wärmeleitfähigkeit.

Die Wahl des richtigen Werkstoffs ist entscheidend für die Funktion und die Lebensdauer der Gleitringdichtung. Im Folgenden werden nun die am häufigsten für Dichtflächen verwendeten Werkstoffe beschrieben.

Kohlegraphit

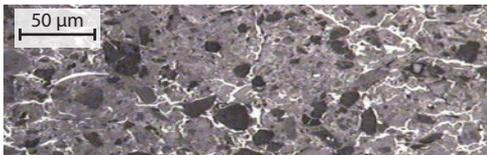


Abb. 3.1: Die Mikrofotoaufnahme zeigt die Werkstoffstruktur von Antimon-impregniertem Kohlegraphit.



Abb. 3.2: Die Mikrofotoaufnahme zeigt die Werkstoffstruktur von kunstharzimpregniertem Kohlegraphit.

Wegen seiner guten Reibeigenschaften wird häufig Kohlegraphit für die Herstellung von Dichtflächen verwendet. Kohlegraphit ist eine Mischung aus Koks und Graphit und besonders gut geeignet als Gegenwerkstoff für zahlreiche andere Werkstoffe.

Impregniertes Kohlegraphit

Jeder Hersteller von Kohlegraphit bietet seine ganz speziellen Güteklassen an, die vom Kohleabbaugebiet, dem Graphitgehalt, der Korngröße sowie der Zusammensetzung und dem Herstellungsverfahren abhängig sind.

Nach dem Verpressen und Brennen, liegt der Porenanteil bei 5–20 %. Um einen undurchlässigen Werkstoff zu erhalten, muss das Kohlegraphit impregniert werden. Für die Imprägnierung werden Metalle oder Harze verwendet.

Die zur Metallimprägnierung verwendeten Metalle besitzen alle einen niedrigen Schmelzpunkt, wie z.B. Antimonium (Sb), Zinn (Sn), Blei (Pb) oder Legierungen aus diesen Stoffen. Siehe Abb. 3.1. Gemäß EN 12756 wird der Werkstoffcode A für diese Werkstoffgruppe verwendet. Siehe Seite 96.

Die Kunstharzimprägnierung erfolgt häufig mit Phenolharz. Siehe Abb. 3.2. Der Werkstoffcode für diese Werkstoffgruppe lautet B gemäß EN 12756.

Für spezielle Anforderungen kann das kunstharzimprägnierte Kohlegraphit einer weiteren Wärmebehandlung unterzogen werden, um das Harz in Kohle umzuwandeln. Dabei kann es erforderlich sein, das Imprägnieren und die Wärmebehandlung mehrmals zu wiederholen, um eine undurchlässige Oberfläche zu erhalten.

Kohlegraphit mit Harzfällung

Harze, die bis zu 70 % Kohlegraphitfüller enthalten, können im Spritzgussverfahren eingebracht werden. Bei diesem Verfahren ist ein nachträgliches Einbrennen nicht erforderlich. Harzgebundenes Kohlegraphit besitzt jedoch eine geringere Verschleißfestigkeit und chemische Beständigkeit als kunstharzimprägnierte Kohle.

Eigenschaften

In Vakuum ist der Reibwert von Graphit hoch, während er bei normalen atmosphärischen Bedingungen gering ist. Bei Heißwasseranwendungen (> 100 °C) besitzt metallimprägniertes Kohlegraphit einen niedrigeren Reibwert und eine höhere Verschleißfestigkeit als vergleichbares kunstharzimprägniertes Kohlegraphit. Dafür ist die Korrosionsbeständigkeit von metallimprägnierten Kohlegraphit gering. Außerdem ist eine Trinkwasserzulassung für Bauteile aus diesem Werkstoff nicht möglich, siehe Kapitel 6.

Der typische Reibwert beträgt 0,1 bis 0,2, wenn Kohlegraphit ohne Schmierung und unter normalen atmosphärischen Bedingungen auf einem harten Dichtflächenwerkstoff gleitet. Die Steifigkeit und Zähigkeit von Kohlegraphit ist gering. Dies ist unbedingt bei der Konstruktion und dem Einbau von Gleitringdichtungen zu beachten. Bei Kaltwasseranwendungen haben Gleitringdichtungen, bei denen eine Dichtfläche aus Kohlegraphit besteht eine Lebensdauer von mehreren Jahren. Wird die Gleitringdichtung jedoch in Warmwasseranwendungen eingesetzt oder enthält das Wasser Feststoffe, ist die Gleitringdichtung in regelmäßigen Abständen auszutauschen.

Aluminiumoxid (Alumina)

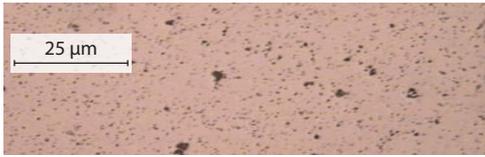


Abb. 3.3: Die Mikrofotografie zeigt die Werkstoffstruktur von Aluminiumoxid.



Abb. 3.4: Die Mikrofotografie zeigt die Werkstoffstruktur von geätztem Aluminiumoxid.

Aluminiumoxid ist ein Keramikwerkstoff, der wegen seiner hohen Verschleißfestigkeit und seines niedrigen Preises gern als Werkstoff für die Dichtflächen verwendet wird.

Jeder Hersteller bietet seine eigenen Güteklassen an, die sich in der Zusammensetzung der Glasschicht und den Korngrößen unterscheiden. Siehe die Abbildungen 3.3 und 3.4.

Gemäß EN 12756 wird für diese Werkstoffgruppe der Werkstoffcode V verwendet.

Eigenschaften

Die Korrosionsbeständigkeit gegenüber Wasser ist auf einen bestimmten pH-Bereich beschränkt, der von der Zusammensetzung der Glasschicht und der Reinheit abhängig ist. Die höchste Korrosionsbeständigkeit weist reines Aluminiumoxid (99,99 %) auf. Der Preis steigt jedoch erheblich mit dem Reinheitsgrad an. Aluminiumoxid ist wegen seiner geringen Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu Wolframkarbid und Siliziumkarbid nur für Niedriglast-Anwendungen geeignet. Der Werkstoff wird meistens als Gleitpartner für Kohlegraphit eingesetzt. Aluminiumoxid besitzt eine hohe Steifigkeit, die Temperaturschockfestigkeit ist jedoch begrenzt.

Wolframkarbid (WC)

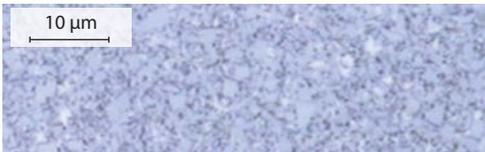


Abb. 3.5: Die Mikrofotografie zeigt die Werkstoffstruktur von Wolframkarbid.



Abb. 3.6: Die Mikrofotografie zeigt die Werkstoffstruktur von geätztem Wolframkarbid.

Wolframkarbid ist die Bezeichnung für Hartmetalle. Die Dichtfläche besteht dann in der Regel aus Wolframkarbid und einem weicheren metallischen Binder. Die korrekte Bezeichnung für Wolframkarbid müsste deshalb eigentlich "eingebettetes Wolframkarbid" lauten, doch Wolframkarbid ohne den Zusatz "eingebettet" ist geläufiger. Siehe die Abbildungen 3.5 und 3.6.

Der Werkstoffcode für diese Werkstoffgruppe ist U gemäß EN 12756.

Eigenschaften

Der Härtegrad von Wolframkarbid liegt unter dem Härtegrad der meisten Keramikwerkstoffe. Die Verschleißfestigkeit hingegen ist vor allem wegen der hohen Zähigkeit hervorragend. Wolframkarbid besitzt eine hohe Dichte von 14 g/cm^3 und gehört somit zu den Werkstoffen mit hohem Gewicht. Die Korrosionsbeständigkeit gegenüber Wasser ist bei Wolframkarbid mit eingelagertem Cobalt nur gegeben, wenn als Werkstoff für die Pumpenbauteile kein Edelstahl, sondern z.B. Grauguss verwendet wurde. Die Korrosionsbeständigkeit einiger Wolframkarbid-Werkstoffarten mit eingelagertem Chrom-Nickel-Molybdän ist jedoch genauso hoch wie die von Edelstahl EN 1.4401 (AISI 316). Wolframkarbid mit einem Binderanteil kleiner 0,5 % besitzt die höchste Korrosionsbeständigkeit. Dies gilt jedoch nicht, wenn das Wasser Hypochlorit enthält. Wegen seiner besonders hohen Verschleißfestigkeit ist Wolframkarbid der bevorzugte Werkstoff für Anwendungen mit abrasiven Bestandteilen.

Siliziumkarbid (SiC)

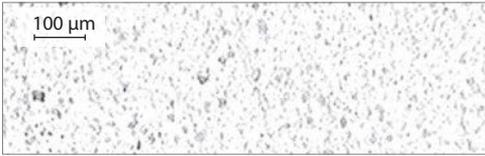


Abb. 3.7: Die Mikrofotoaufnahme zeigt die Werkstoffstruktur von dichtem Siliziumkarbid.

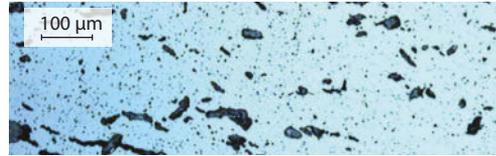


Abb. 3.8: Die Mikrofotoaufnahme zeigt die Werkstoffstruktur von Siliziumkarbid mit eingelagertem Graphit

Der Keramikwerkstoff SiC kann auf unterschiedliche Weise hergestellt werden, wobei das Herstellungsverfahren Einfluss auf die Eigenschaften hat. Gemäß EN 12756 wird für diese Werkstoffgruppe der Werkstoffcode Q verwendet. Siehe die Abbildungen 3.7 und 3.8.

Nachfolgend sind die Hauptarten von SiC zusammengestellt:

- Direkt gesintertes SiC.
Dieser SiC-Werkstoff wird am häufigsten für die Herstellung von Dichflächen eingesetzt.
- Reaktionsgebundenes SiC.
Dieser SiC-Werkstoff verfügt nur über eine eingeschränkte Korrosionsbeständigkeit gegenüber alkalischem Wasser aufgrund des Gehalts an freiem Silizium.
- Flüssigkeitsphasen-gesintertes SiC.
Der SiC-Werkstoff verfügt nur über eine eingeschränkte Korrosionsbeständigkeit gegenüber alkalischem Wasser aufgrund der vorhandenen Glasphase.
- Umgewandeltes Kohlegraphit.
Dieser SiC-Werkstoff wird aus Kohlegraphit hergestellt. Er kann als dünne Schicht auf die Oberfläche des Kohlegraphits aufgebracht werden.

Eigenschaften

Das direkt gesinterte SiC ist spröde und deshalb vorsichtig zu behandeln. Die Dichte des Werkstoffs beträgt 3 g/cm^3 . Siliziumkarbid gehört somit zu den leichten Werkstoffen. Die Verschleißfestigkeit und die Korrosionsbeständigkeit sind hervorragend. Die Porosität von gesintertem SiC liegt in der Regel unter 2 %. Es wurden aber auch bereits porenhaltige SiC-Werkstoffe entwickelt. Die Poren sind vereinzelt angeordnet und nicht miteinander verbunden. Sie sind regelmäßig im gesamten Werkstoff verteilt. Die kugelförmigen Poren dienen als Speicher für die zur Schmierung benötigte Flüssigkeit. Sie unterstützen das Aufrechterhalten des Schmierfilms zwischen den Gleitflächen. Dank dieses Schmiermechanismus sind die porösen SiC-Werkstoffe den herkömmlichen reaktionsgebundenen und gesinterten SiC-Werkstoffen bei Heißwasseranwendungen überlegen.

Durch moderne Sinterverfahren oder Hinzufügen unterschiedlicher Füller können die Eigenschaften der Standard-SiC-Werkstoffgüten verändert werden. So können z.B. Füller eingefügt werden, um die elektrische Leitfähigkeit zu verbessern, die Zähigkeit zu erhöhen und die Reibung herabzusetzen. Um die Reibung zu reduzieren, kann auch Kohle oder Graphit als Trockenschmierstoff eingebettet werden. Um Graphit als Schmierstoff nutzen zu können, müssen jedoch die Verbindung zwischen dem SiC und dem Graphit sowie die Größe und die Menge des Graphits entsprechend optimiert werden.

Diamantbeschichtungen

Der Werkstoff Diamant ist der bekannteste, verschleißfeste Werkstoff, der die höchste Härte und Wärmeleitfähigkeit aller der hier vorgestellten Werkstoffe besitzt. Zusätzlich verfügt dieser Werkstoff über eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit und einen geringen Reibbeiwert. Dank dieser Eigenschaften wäre der Diamant der ideale Werkstoff für die Herstellung von Dichtflächen. Einer Verwendung steht jedoch der hohe Preis entgegen.

Diamantbeschichtungen hingegen wurden im letzten Jahrzehnt immer kostengünstiger und somit vermehrt kommerziell genutzt. Beschichtungen können aus polykristallinem Diamant oder aus einem amorpheren Kohlenwerkstoff, der als diamantähnliche Kohle (DLC) bezeichnet wird, hergestellt werden. Der polykristalline Diamant hat dieselbe Gitterstruktur wie der Werkstoff Diamant, wobei jedes Kohlenstoffatom mit vier benachbarten Kohlenstoffatomen verbunden ist. Die Verbindungen besitzen alle denselben Abstand (sp^3 -Verbund). Siehe Abb. 3.9. Bei Beschichtungen aus diamantähnlicher Kohle hingegen haben nur einige der Kohlenstoffatome dieselbe Gitterstruktur wie der Diamantwerkstoff. Die anderen Kohlenstoffatome sind entsprechend der hexagonalen Gitterstruktur des Graphits angeordnet. Siehe Abb. 3.10.

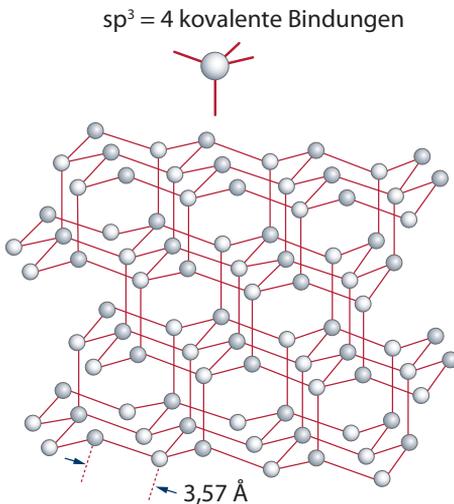


Abb. 3.9: Gitterstruktur des Werkstoffs Diamant (Anordnung der Kohlenstoffatome im Sp^3 -Verbund)

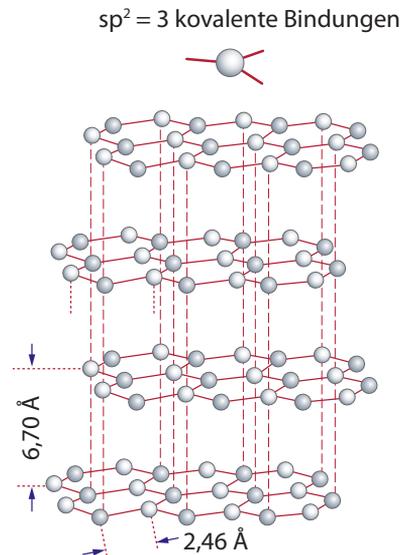


Abb. 3.10: Gitterstruktur von Graphit (Anordnung der Kohlenstoffatome im Sp^2 -Verbund)

Die Beschichtungen aus diamantähnlicher Kohle können in verschiedenen Ausführungen hergestellt werden, deren Härtegrad zwischen 1000 und 4000 HV (HV=Härtegrad nach Vickers) liegt. Die Schichtdicke reicht von 0,1 bis 10 μm und hat einen großen Einfluss auf die Kosten. Bei kleinen Schichtdicken muss die Haftung am Trägermaterial sehr hoch sein, um ein Ablösen der Beschichtung zu verhindern, wenn diese Beschichtungsform für Dichtflächen aus DLC verwendet wird. Die besten Eigenschaften werden mit großen Schichtdicken, die auf einem harten Trägermaterial aufgebracht werden, erreicht. Verfügt die Gegenfläche jedoch nicht über eine ähnliche Beschichtung, ist diese dann einem erhöhtem Verschleiß ausgesetzt.

2. Werkstoffpaarungen der Dichtflächen

Werkstoffpaarung Kohlegraphit/Wolframkarbid

Die Werkstoffpaarung Kohlegraphit/Wolframkarbid gehört zu den am häufigsten verwendeten Werkstoffpaarungen. Sie hält einem Trockenlauf mehrere Minuten stand, ohne dass die Gleitringdichtung beschädigt wird. Die Korrosionsbeständigkeit ist abhängig von der Güte des Kohlegraphites sowie von den Legierungselementen des Wolframkarbid-Trägermaterials. Enthält das Fördermedium harte Partikel, ist mit Verschleiß an den Dichtflächen zu rechnen. Wegen der guten Schmiereigenschaften von Kohlegraphit, kann eine Gleitringdichtung mit dieser Werkstoffpaarung auch eingesetzt werden, wenn schlechte Schmierbedingungen herrschen, wie z.B. bei der Förderung von heißem Wasser. Unter diesen Bedingungen tritt jedoch ein erhöhter Verschleiß an der Dichtfläche aus Kohlegraphit auf, so dass die Lebensdauer der Gleitringdichtung herabgesetzt wird. Der Verschleißgrad hängt dabei von mehreren Faktoren ab, wie z.B. dem Druck, der Temperatur, dem Fördermedium, dem Durchmesser und der Bauform der Gleitringdichtung sowie dem Gütegrad des Kohlegraphits. Siehe Abb. 3.11. Alle in Kapitel 3 gezeigten Leistungsdiagramme für die verschiedenen Werkstoffpaarungen gelten für eine Drehzahl von 3000 U/min.

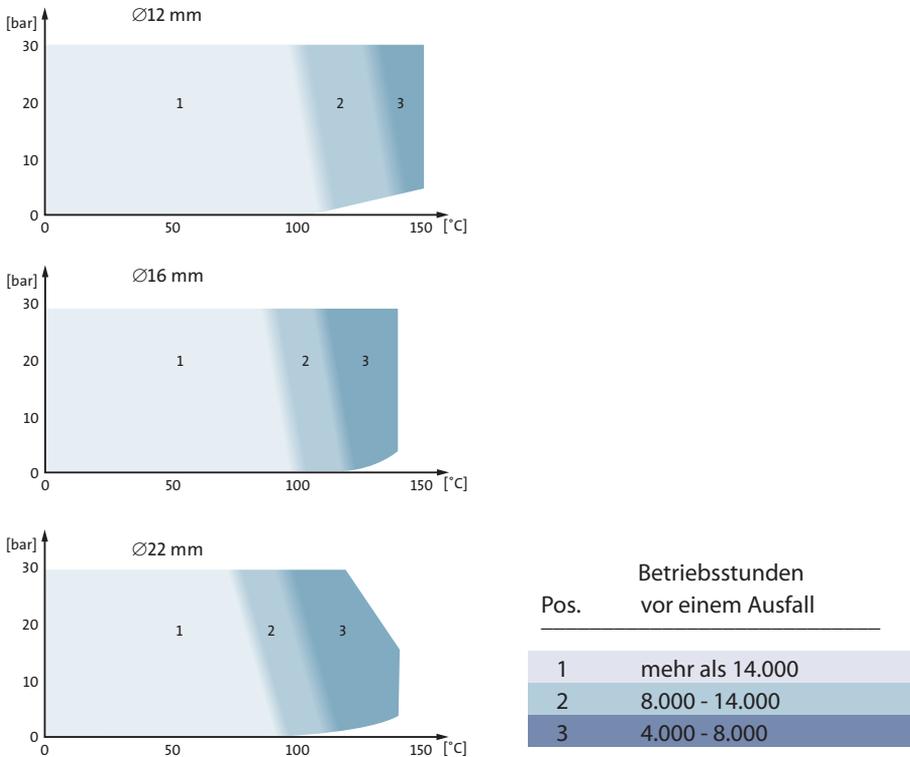


Abb. 3.11: Die Druck-Temperatur-Diagramme einer Grundfos Gleitringdichtung vom Typ H mit der Werkstoffpaarung Kohlegraphit/Wolframkarbid zeigen für drei verschiedene Wellendurchmesser die Lebensdauer bei Wasser als Fördermedium.

Bei niedrigen Drehzahlen verschlechtert sich die Schmierung zwischen den Dichtflächen, so dass ein erhöhter Verschleiß auftreten kann. Da Pumpen jedoch nur selten mit niedriger Drehzahl laufen, kann dies in den meisten Fällen vernachlässigt werden.

Werkstoffpaarung Kohlegraphit/direkt gesintertes SiC

Die Werkstoffpaarung Kohlegraphit/SiC ist eine ebenfalls häufig verwendete Werkstoffpaarung. Die Korrosionsbeständigkeit ist sehr hoch und die Trockenlaufeigenschaft entspricht in etwa der von Kohlegraphit/Wolframkarbid. Bei Verwendung in Verbindung mit Heißwasserwasseranwendungen kann es je nach dem Gütegrad des Kohlegraphits und dem zu fördernden Wasser zu einem hohem Verschleiß am aus SiC gefertigten Dichtring kommen. Das Verschleißverhalten ist jedoch deutlich besser, wenn anstelle des verdichteten SiC poröses SiC oder SiC mit eingelagertem Kohlegraphit verwendet wird. Siehe Abb. 3.12.

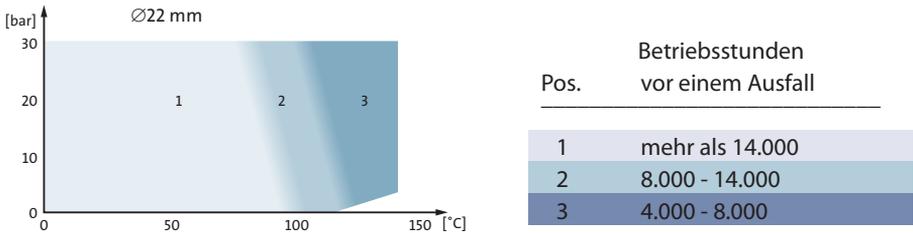


Abb. 3.12: Das Druck-Temperatur-Diagramm einer Grundfos Gleitringdichtung vom Typ H mit der Werkstoffpaarung Kohlegraphit/SiC für Wellen Ø22 zeigt die Lebensdauer bei Wasser als Fördermedium.

Werkstoffpaarung Kohlegraphit/Aluminiumoxid

Die Werkstoffpaarung Kohlegraphit/Aluminiumoxid wird häufig in der Massenfertigung für die Herstellung kostengünstiger Gleitringdichtungen verwendet. Eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit in Verbindung mit Wasser ist je nach Gütegrad des Aluminiumoxids in der Regel auf den pH-Bereich zwischen 5 und 10 beschränkt. Die Trockenlaufeigenschaft entspricht in etwa der von Kohlegraphit/Wolframkarbid. Sie ist jedoch bei Heißwasser deutlich schlechter. Siehe Abb. 3.13.

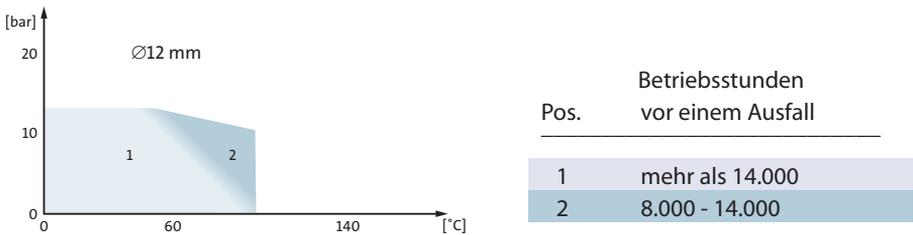


Abb. 3.13: Das Druck-Temperatur-Diagramm einer Grundfos Gleitringdichtung vom Typ C mit der Werkstoffpaarung Kohlegraphit/Aluminiumoxid für Wellen Ø12 zeigt die Lebensdauer bei Wasser als Fördermedium.

Werkstoffpaarung Wolframkarbid/Wolframkarbid

Eine Gleitringdichtung mit Dichtflächen aus Wolframkarbid ist besonders verschleißfest. Aus diesem Grund ist der Werkstoff Wolframkarbid auch weniger empfindlich gegenüber einer rauen Behandlung während des Einbaus. Die Trockenreibung ist bei der Werkstoffpaarung Wolframkarbid/Wolframkarbid jedoch sehr hoch, so dass diese Werkstoffpaarung schlechte Trockenlaufeigenschaften besitzt. Ein Ausfall der Gleitringdichtung mit der Werkstoffpaarung Wolframkarbid/Wolframkarbid erfolgt bereits nach weniger als einer Minute Trockenlauf. Werden bestimmte Druck- und Temperaturgrenzwerte überschritten, kann die Gleitringdichtung Geräusche verursachen. Die Geräusche sind ein Zeichen für eine unzureichende Schmierung, die langfristig zu einem erhöhten Verschleiß der Dichtflächen führt. Die Betriebsgrenzen sind abhängig vom Durchmesser und der Bauform der Gleitringdichtung. Die Druck-Temperatur-Diagramme zeigen für verschiedene Gleitringdichtungen, unter welchen Betriebsbedingungen Geräusche auftreten können. Siehe Abb. 3.14.

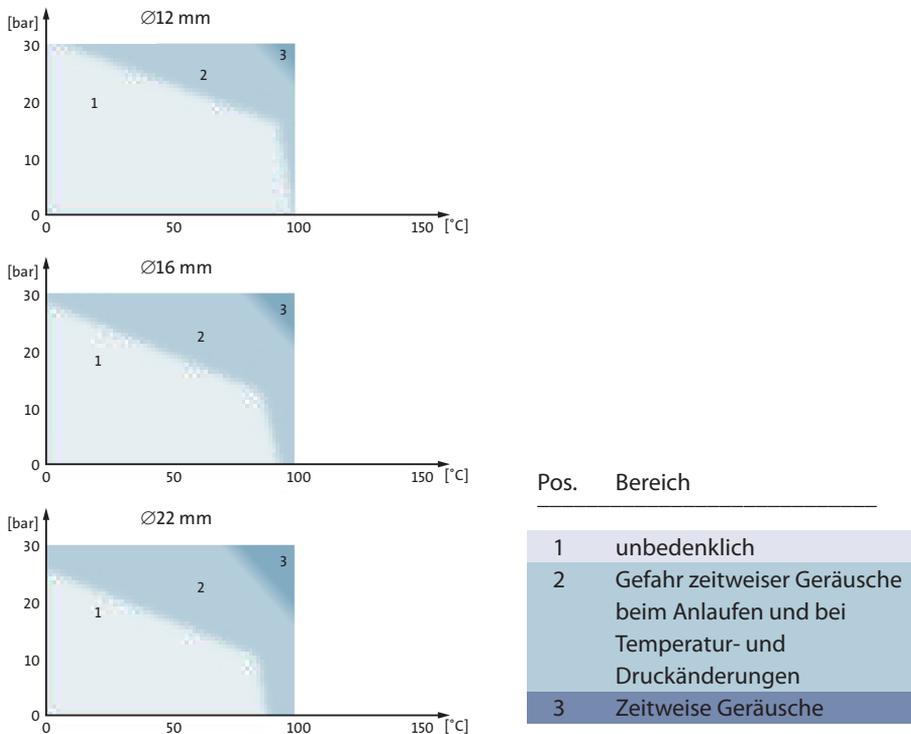


Abb. 3.14: Die Druck-Temperatur-Diagramme einer Grundfos Gleitringdichtung vom Typ H mit der Werkstoffpaarung Wolframkarbid/Wolframkarbid zeigen für drei verschiedene Wellendurchmesser den Betriebsbereich bei Wasser als Fördermedium.

Hinweis: Die Einlaufphase zum Einschleifen einer Gleitringdichtung mit Dichtflächen aus Wolframkarbid/Wolframkarbid, bei der eventuell Geräusche entstehen, kann bis zu vier Wochen betragen. In der Regel treten in den ersten Betriebstagen jedoch wegen des höheren Leckagestroms keine Geräusche auf.

Werkstoffpaarung SiC/SiC

Für Anwendungen, die eine hohe Korrosionsbeständigkeit erfordern, kann die Werkstoffpaarung SiC/SiC als Alternative zu der Werkstoffpaarung Wolframkarbid/Wolframkarbid eingesetzt werden. Aufgrund ihres hohen Härtegrades weist diese Werkstoffpaarung auch eine hohe Beständigkeit gegenüber abrasiven Bestandteilen auf. Ein Nachteil ist aber die hohe Reibung zwischen den beiden Gleitpartnern. Sind in das Siliziumkarbid jedoch feste Schmierstoffe eingebettet, kann die Reibung um die Hälfte gesenkt werden, um so die Trockenlaufeigenschaften etwas zu verbessern. Gleitringdichtungen, deren Dichtringe aus diesem modifizierten SiC-Werkstoff gefertigt wurden, können durchaus einige Minuten ohne Schmierung durch das Fördermedium laufen. Die Eignung von Gleitringdichtungen mit Dichtringen aus porösen SiC oder SiC mit eingebetteten festen Schmierstoffen für Heißwasseranwendungen ist aus der Abb. 3.15 ersichtlich.

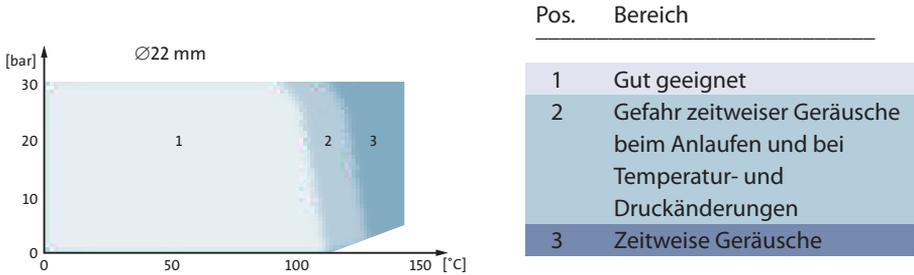


Abb. 3.15: Das Druck-Temperatur-Diagramm einer Grundfos Gleitringdichtung vom Typ H mit der Werkstoffpaarung SiC/SiC für Wellen Ø22 zeigt den Betriebsbereich für Wasser als Fördermedium.

3. Werkstoffprüfungen und allgemeine Prüfungen

Es gibt eine Vielzahl an einfachen Prüfverfahren, wie z.B. die "Ring-auf-Ring"-Prüfung oder die "Stift-auf-Scheibe"-Prüfung, um feststellen zu können, ob ein Werkstoff für die Verwendung in einer Gleitringdichtung geeignet ist. Diese Prüfungen geben Aufschluss über die Reibeigenschaften der verschiedenen Werkstoffe und können manchmal sogar schon Verschleißprozesse im Reibsystem aufzeigen. Um jedoch ein genaues Bild vom Leistungsvermögen einer Gleitringdichtung zu erhalten, müssen die Prüfungen unter den Bedingungen durchgeführt, die in der Anwendung zu erwarten sind, in der die Gleitringdichtung eingesetzt werden soll.

Betriebsverhalten bei Heißwasseranwendungen

Die Schmierung der Dichtflächen bei Heißwasser ist herabgesetzt, weil die Viskosität von Wasser bei hohen Temperaturen stark abnimmt und weil der Verdampfungsprozess im Dichtspalt frühzeitig einsetzt. Die Druck- und die Temperaturgrenzwerte für Gleitringdichtungen können mit Hilfe von umfangreichen Prüfungen ermittelt werden. Oberhalb dieser Betriebsgrenzen macht die Gleitringdichtung Geräusche und es kommt zu einem erhöhten Verschleiß als Folge von Werkstoffermüdung.

Das Druck-Temperatur-Diagramm (Abb. 3.16) zeigt, wie sich die Betriebsgrenzen einer ordnungsgemäß arbeitenden Gleitringdichtung mit der Drehzahl ändern. Bei niedrigen Drehzahlen verschieben sich die Grenzen hin zu niedrigeren Temperaturen.

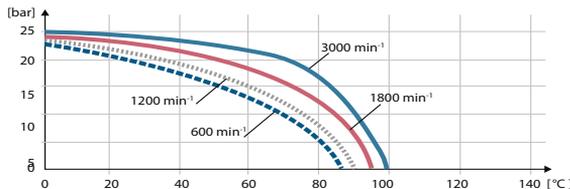


Abb. 3.16: Beispiel für die Betriebsgrenzen einer Gleitringdichtung bei unterschiedlichen Drehzahlen

Die Heißwasserprüfung wird mit Leitungswasser durchgeführt. Bei Drücken und Temperaturen unterhalb der Kurve, bei der eine kontinuierliche Reibung auftritt, sind die Dichtflächen nur einem geringen Verschleiß ausgesetzt. Oberhalb der Kurve ist mit höherem Verschleiß zu rechnen. Siehe Abb. 3.16.

Eine andere Möglichkeit die Temperaturgrenzen darzustellen, ist das Aufzeichnen der Verschleißrate als Funktion der Temperatur bei einem konstanten Druck. Siehe Abb. 3.17.

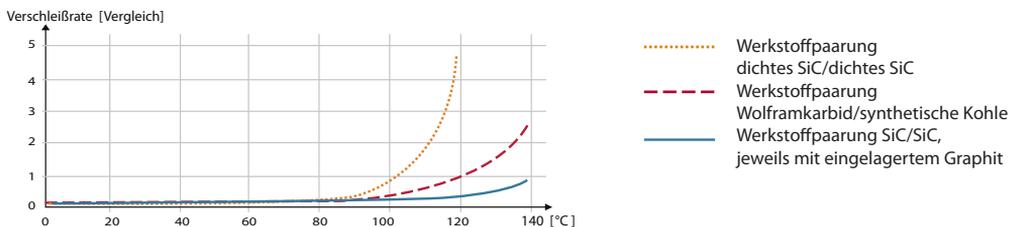


Abb. 3.17: Vergleich der Verschleißrate von Dichtflächen mit drei unterschiedlichen Werkstoffpaarungen

Trockenlauf

Trockenlauf kann schwerwiegende Schäden an der Gleitringdichtung verursachen.

Da es bei einigen Anwendungen schwierig ist, Trockenlauf ganz zu verhindern, ist es wichtig, die Trockenlaufeigenschaften einer Gleitringdichtung zu testen. Eine einfache Möglichkeit besteht darin, Thermoelemente oder die Fühler eines Temperaturaufzeichnungsgeräts an der Dichtfläche des Gegenrings anzubringen und die Gleitringdichtung trocken laufen zu lassen. Die aufgenommenen Messergebnisse sind bei diesem Verfahren jedoch abhängig von der im Prüfraum herrschenden Luftfeuchtigkeit, wobei die Auswirkungen nicht allzu groß sind. Abb. 3.18 zeigt die am Gegenring gemessenen Temperaturen verschiedener trocken gelaufener Gleitringdichtungen.

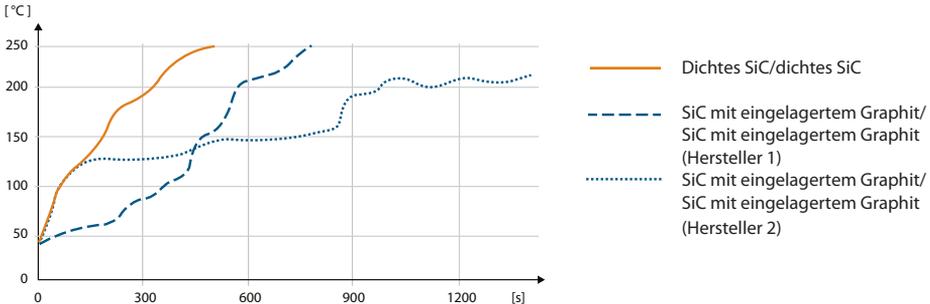


Abb. 3.18: Temperatur am Gegenring von Gleitringdichtungen mit unterschiedlichen SiC-Werkstoffen bei Trockenlauf

Wie aus Abb. 3.18 ersichtlich, besitzen die beiden Gleitringdichtungen mit der Werkstoffpaarung dichtes SiC/dichtes SiC und SiC mit eingelagertem Graphit/SiC mit eingelagertem Graphit vom Hersteller 1 schlechte Trockenlaufeigenschaften, die mit denen der Werkstoffpaarung Wolframkarbid/Wolframkarbid vergleichbar sind. Die Gleitringdichtung mit dem Graphit-getränktem SiC des zweiten Herstellers als Werkstoffpaarung hingegen weist bessere Trockenlaufeigenschaften auf. Dies zeigt, dass die Ergebnisse der Trockenlaufprüfungen auch bei gleicher Güte des SiC-Werkstoffs starken Schwankungen unterliegen.

Betriebsverhalten bei Wasser mit abrasiven Bestandteilen

Bestehen beide Dichtflächen aus einem harten Werkstoff, wie z.B. Keramik, ist Verschleiß an den Dichtflächen durch Abrieb nur selten zu beobachten. Der Dichtspalt einer Gleitringdichtung ist in der Regel kleiner als 0,3 Mikron. Theoretisch bedeutet dies, dass nur Partikel in den Dichtspalt eindringen können, die kleiner als 0,3 Mikron sind. In der Praxis sind die Kanten einer Dichtfläche jedoch nicht scharfkantig. Deshalb können Partikel, die einige Mikron messen, durchaus in den Dichtspalt gelangen. In der Regel verursachen diese kleinen Partikel bei Dichtflächenpaarungen aus harten Werkstoffen nur einen sehr geringen Verschleiß, der mit einem Glättungsprozess vergleichbar ist. Wurde die Gleitfläche einer der beiden Dichtringe jedoch aus synthetischer Kohle gefertigt, tritt an den Kanten der Dichtfläche ein höherer Verschleiß auf, so dass auch größere Partikel in den Dichtspalt gelangen. Diese Partikel können dann in die Dichtfläche des aus Kohle bestehenden Dichtrings eingebettet werden und auf der harten Dichtfläche des gegenüberliegenden Gleitpartners für einen erhöhten Verschleiß sorgen.

Betriebsverhalten bei glykolhaltigem Wasser

Glykolhaltiges Wasser kann Leckageprobleme bei Gleitringdichtungen verursachen. Auslöser für diese Probleme sind häufig die Zusätze, wie z.B. Inhibitoren, Antioxidantien, Alkaline, usw., von denen einige, wie z.B. Silikate und Phosphate im Dichtspalt auskristallisieren können. Diese harten Kristalle führen dann zu einem erhöhten Verschleiß bei Gleitringdichtungen, wenn eine Dichtfläche aus synthetischer Kohle besteht. Siehe Abb. 1.24a auf Seite 20.

Organische Filmbildner, die sogenannten Inhibitoren, haften an allen medienberührten Bauteilen, und damit auch an den meisten Teilen der Gleitringdichtung. Viele der Inhibitoren bilden klebrige Schichten im Dichtspalt, so dass Leckagen entstehen. Gleitringdichtungen mit der Werkstoffpaarung Wolframkarbid/Wolframkarbid oder SiC/SiC haben dabei eine bessere Selbstreinigungskraft als Gleitringdichtungen mit der Werkstoffpaarung synthetische Kohle/SiC. Durch eine hohe Schließkraft und eine geringe Breite der Dichtfläche wird zudem die Gefahr, dass sich Ablagerungen bilden, erheblich reduziert. Siehe die Erläuterungen zum Typ G auf Seite 28 und zum Typ R auf Seite 29. Abb. 3.19 zeigt die Ergebnisse eines Tests, der mit verschiedenen Werkstoffpaarungen durchgeführt wurde. Als Fördermedium diente glykolhaltiges Wasser mit einem hohen Anteil an Zusätzen.

Vergleich der Leckraten

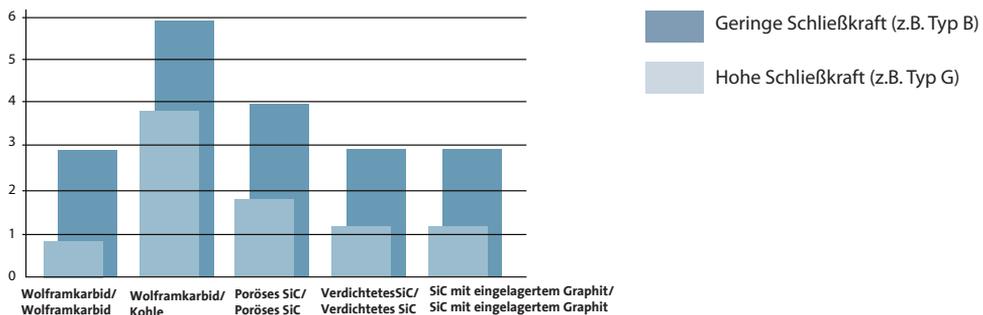


Abb. 3.19: Leckrate von Gleitringdichtungen mit unterschiedlichen Werkstoffpaarungen für Frostschutzmittel auf Wasserbasis

Um zu verhindern, dass ein großer Dichtspalt mit großem Leckagestrom entsteht, wird eine glatte Oberfläche bevorzugt. Ist die Oberfläche jedoch zu glatt, besteht die Gefahr, dass die Dichtflächen zusammenkleben. Deshalb wird häufig ein Kompromiss eingegangen, indem beide Dichtflächen eine unterschiedliche Rauigkeit aufweisen. Dabei tritt bei harten Werkstoffpaarungen nur solange eine erhöhte Leckrate, bis die Dichtflächen im Rahmen der Einlaufphase geglättet wurden. Gleitringdichtungen, bei denen eine Dichtfläche aus synthetischer Kohle besteht, besitzen während der Einlaufphase in der Summe eine niedrigere Leckrate, weil die Einlaufzeit im Vergleich zu einer Gleitringdichtung mit einer harten Werkstoffpaarung kürzer ist. Aber auch bei Gleitringdichtungen mit hoher Schließkraft ist die Einlaufzeit kürzer, weil der Schmierfilm dünner ist.

Betriebsverhalten bei reinem Wasser

Reines Wasser verhält sich gegenüber vielen Keramikwerkstoffen aggressiv. Bei direkt gesintertem SiC z.B. werden die Korngrenzen, die Sinterzusätze enthalten, von reinem Wasser angegriffen. Zu Beschädigungen kommt es aber nur an Dichtflächen, die hohen Schubspannungen ausgesetzt sind. Durch eine Steuerung des Sinterprozesses können jedoch SiC-Werkstoffgüten hergestellt werden, die eine höhere Beständigkeit gegenüber reinem Wasser aufweisen.

Abb. 3.20 zeigt das Ergebnis von Tests, die mit dichten SiC-Werkstoffen mit 40 °C warmem, entmineralisiertem Wasser durchgeführt worden sind, das eine elektrische Leitfähigkeit von 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ besitzt. Spezielle korrosionsbeständige SiC-Werkstoffgüten zeigen auch nach 11.000 Betriebsstunden keine Ausfallerscheinungen unter diesen Bedingungen.

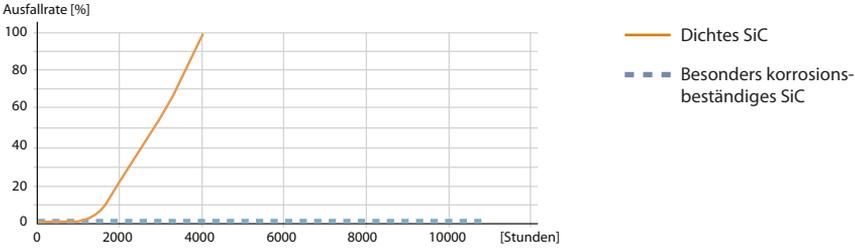


Abb. 3.20: Ausfallrate von Gleitringdichtungen mit SiC-Dichtflächen bei der Förderung von demineralisiertem Wasser mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Zusammenkleben von Dichtflächen

Sehr glatte und plane Dichtflächen haften schnell aneinander. Im Extremfall sind die Haftkräfte so groß, dass der Motor nicht anlaufen kann oder der feststehende Gegenring in der Nebendichtung mitdreht. Für das Zusammenhaften der Dichtflächen sind mehrere Vorgänge verantwortlich.

Physikalische Adhäsion

Werden zwei plane und glatte Oberflächen aufeinander gepresst, kann ein Vakuum entstehen. Deshalb ist eine hohe Axialkraft erforderlich, um die beiden Oberflächen wieder voneinander zu trennen, während eine weitaus geringere Schubkraft ausreicht, um die Oberflächen gegeneinander zu verdrehen. Die Höhe der dazu erforderlichen Schubkraft während der Anlaufphase entspricht dabei der Kraft, die für den Betrieb mit einer niedrigen Drehzahl aufgebracht werden muss. Siehe Abb. 3.21.

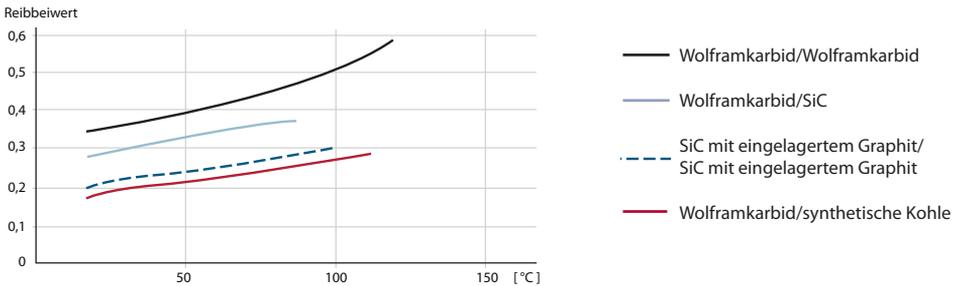


Abb. 3.21: Reibbeiwert verschiedener Gleitpaarungen in Wasser bei geringer Drehzahl

Chemische Adhäsion bei Oberflächen

Alle Oberflächen, die der Atmosphäre ausgesetzt sind, haben eine schützende Oxidschicht. Siehe Abb. 4.12 auf Seite 72. Der Gleichgewichtszustand in der Oxidschicht kann sich ändern, wenn die Oberfläche mit einer anderen Oberfläche in engen Kontakt kommt oder sie dem Fördermedium ausgesetzt wird. Diese Änderung des Gleichgewichtszustands hat Einfluss auf die Oxidbindungen anderer Oberflächen. Je reaktionsärmer die Oxidschicht gegenüber der Umgebung ist, desto schwächer sind die Bindungen zur Gegenfläche. Verhält sich das Fördermedium gegenüber dem Werkstoff der Dichtfläche aggressiv, können die Korrosionsprodukte der Dichtflächen chemische Verbindungen eingehen, die zu hohen Adhäsionskräften führen. Um diese chemischen Haftvorgänge zu unterbinden, wird die Verwendung von besonders reaktionsarmen Werkstoffarten, wie z.B. SiC, für die Herstellung der Dichtflächen bevorzugt.

Chemische Adhäsion wie bei Klebstoffen

Enthält das Fördermedium Ionen, die ausfallen und sich auf der Dichtfläche absetzen können, kann die Ausfällung als Kleber zwischen den Dichtflächen wirken. Dieser Haftvorgang kann in Verbindung mit hartem Wasser oder mit Flüssigkeiten, die flüchtige Stoffe enthalten, auftreten. Die Gefahr der chemischen Adhäsion wird jedoch durch die Verwendung der Werkstoffpaarung synthetische Kohle/SiC reduziert. Auch SiC-Werkstoffe, in die feste Schmierstoffe eingebettet sind, unterbinden das Auftreten dieser Art der chemischen Adhäsion, weil der feste Schmierstoff sich als dünne Schicht auf die Dichtfläche legt und so für geringe Schubkräfte sorgt.

4. Nebendichtungen

Wie bereits zuvor erwähnt, ist es wichtig, die für eine bestimmte Anwendung am besten geeignete Werkstoffpaarung für die Dichtflächen auszuwählen, um eine möglichst lange Lebensdauer der Gleitringdichtung zu erreichen. Genauso wichtig für eine ordnungsgemäße Funktion und eine lange Lebensdauer sind aber auch die Nebendichtungen aus Elastomer, wie z.B. O-Ringe oder Faltenbälge. Elastomere sind Polymere mit einer hohen Elastizität. Der Werkstoff ist auch unter dem Begriff "Gummi" bekannt. Elastomere sind wegen ihrer elastischen Eigenschaften der bevorzugte Werkstoff für die Nebendichtungen. Alle die nachfolgend beschriebenen Elastomerwerkstoffe bleiben innerhalb des Betriebstemperaturbereichs, für die die entsprechende Gleitringdichtung ausgelegt ist, elastisch. Die Auswahl des Elastomers erfolgt auf Basis der chemischen Zusammensetzung und der Temperatur des Fördermediums. Es sollten aber auch eventuell erforderliche Zulassungen berücksichtigt werden, siehe Seite 97. Eine Übersicht der Temperaturbeständigkeit und der chemischen Beständigkeit von verschiedenen Elastomerwerkstoffen zeigt Abb. 3.22.

Die nachfolgend aufgeführten Elastomere werden in Gleitringdichtungen eingesetzt:

NBR

(Acryl-)Nitril-Butadien-Kautschuk (NBR) gehört zur Gruppe der ungesättigten Mischpolymere. Durch Variieren des Acrylnitril-Gehalts wird die Beständigkeit gegenüber Öl erhöht, aber die Elastizität verringert. Im Vergleich zu Naturkautschuk ist NBR beständiger gegenüber Öl und Säuren. Gemäß EN 12756 ist dieser Werkstoffgruppe der Werkstoffcode P zugeordnet. Siehe Seite 96.

HNBR

Hydriertes (Acryl-)Nitril-Butadien-Kautschuk (HNBR) besitzt dieselbe hohe Beständigkeit gegenüber Öl wie NBR. Darüberhinaus weist HNBR eine hohe Beständigkeit gegenüber Ozon, Laugen und Aminen auf. Zudem ist der Temperaturgrenzwert in Verbindung mit Wasser höher als bei NBR.

MVQ

Silikonkautschuk ist der Sammelbegriff für eine ganze Gruppe von Werkstoffen, die als Hauptbestandteil Methylvinylsilikon (MVQ) enthalten. Die Gruppe der Silikonelastomere haben eine relativ geringe Reiß- und Verschleißfestigkeit. Dafür besitzen sie aber zahlreiche andere Vorteile. Silikon ist im Allgemeinen äußerst temperaturbeständig (bis +230 °C) und kälteelastisch (bis -60 °C) sowie witterungsbeständig. Diese Werkstoffgruppe hat gemäß EN 12756 den Werkstoffcode S.

EPDM

Der Ethylen-Propylen-Dien-Monomer-Kautschuk (EPDM) kann durch Variieren des Dicyclopentadien-, Etyliden- und Vinyl-Norbornen-Gehalts so zusammengesetzt werden, dass spezielle Eigenschaften erreicht werden. Im Vergleich zu NBR ist dieser Werkstoff weniger beständig gegenüber Mineralöl. Er weist dafür eine sehr hohe Beständigkeit gegenüber Heißwasser auf. EPDM verfügt über eine hohe Beständigkeit gegenüber polaren Flüssigkeiten und über eine geringe Beständigkeit gegenüber apolaren Flüssigkeiten. Der Werkstoffcode für diese Werkstoffgruppe ist E gemäß EN 12756.

FKM

Der Fluorcarbon-Monomer-Kautschuk (FKM) gehört zu einer Gruppe von Elastomeren, die wegen des hohen Fluorinationsgrads für sehr hohe Temperaturen in Verbindung mit verschiedenen Flüssigkeiten bestimmt sind. Der Werkstoff besitzt eine geringe Beständigkeit gegenüber Heißwasser, ist dafür aber sehr beständig gegenüber Ölen und Chemikalien. Zudem verfügt FKM anders als EPDM über eine geringe Beständigkeit gegenüber polaren Flüssigkeiten und über eine hohe Beständigkeit gegenüber apolaren Flüssigkeiten. Dieser Werkstoffgruppe ist gemäß EN 12756 der Werkstoffcode V zugeordnet.

FXM

Der fluorinierte Mischkautschuk FXM besitzt eine hohe chemische Beständigkeit und ist geeignet für einen weiten Temperaturbereich und damit auch für Heißwasseranwendungen einsetzbar.

FFKM

Perfluorkautschuk (FFKM) verfügt über die höchste chemische Beständigkeit aller bekannten Elastomere. Sie übertrifft auch die von Polytetrafluorethylen (PTFE). Außerdem besitzt FFKM bessere elastische Eigenschaften als Gummi. Der Werkstoff wird vor allem für anspruchsvolle Dichtungsaufgaben eingesetzt. FFKM ist sehr teuer und kann nur in Form von einfachen Geometrien hergestellt werden. Diese Werkstoffgruppe hat gemäß EN 12756 den Werkstoffcode K.

Fördermedium	Elastomer						
	NBR	HNBR	MVQ	EPDM	FKM	FXM	FFKM
Wasser, max. Temp. [°C]	80	100	120	140	90	275	230
Mineralöle, max. Temp. [°C]	100	150	120	-	200	275	230
Säuren	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+
Laugen	+	+	+/-	+	-	+	+
Glykole	+	+	+	+	-	+	+
Öle, Kraftstoffe	+/-	+/-	+/-	-	+	+/-	+
Lösungen	-	-	-	-	+/-	-	+
Abrasive Bestandteile	+/-	+	-	+	+/-	+/-	-

Legende: + = sehr hoch +/- = hoch, unter bestimmten Voraussetzungen - = gering - = äußerst gering

Abb. 3.22: Übersicht über die Temperaturbeständigkeit und chemische Beständigkeit von Elastomerwerkstoffen

5. Werkstoffe weiterer Bauteile der Gleitringdichtung

Neben den Dichtringen und den Elastomerteilen sind auch die Werkstoffe der anderen Bauteile der Gleitringdichtung entsprechend der Anwendung zu wählen. Die Anzahl der Bauteile ist dabei abhängig vom konstruktiven Aufbau der Gleitringdichtung.

Elemente zur Drehmomentübertragung

Zur Übertragung des Drehmoments von den Dichtflächen auf die Welle und das Pumpengehäuse können Bauteile aus Metall oder Kunststoff verwendet werden. Die Auswahl des richtigen Werkstoffs für die Drehmomentübertragung ist besonders bei der Werkstoffpaarung Hartmetall/Hartmetall von großer Bedeutung, weil diese Kombination ein hohes Reibmoment besitzt. Bei der Verwendung von Metallteilen sind diese häufig aus Edelstahl gleicher oder höherer Qualität gefertigt als der Edelstahl, aus dem die anderen Pumpenbauteile bestehen. Kunststoffe oder geformte Metallbleche kommen vor allem in der Massenfertigung von Gleitringdichtungen zum Einsatz. Bei Kleinserien können auch Bauteile aus Metallpulver verwendet werden, während spanend bearbeitete Bauteile vor allem für kleine Stückzahlen geeignet sind. Die Gleitringdichtung kann auf verschiedene Arten auf der Welle befestigt werden. Am häufigsten werden für die Befestigung kleine Schrauben aus Edelstahl oder Klemmringverschraubungen verwendet.

Federn und Faltenbälge

Um den erforderlichen Anpressdruck für die Dichtflächen von O-Ring- und Gummifaltenbalg-Gleitringdichtungen aufzubringen, werden Metallfedern eingesetzt. Als Werkstoff für die Federn stehen verschiedene Legierungen unterschiedlicher Korrosionsbeständigkeit zur Verfügung. Bei der Faltenbalg-Gleitringdichtung kann diese Aufgabe jedoch auch der Faltenbalg übernehmen. Dies ist besonders häufig bei Faltenbälgen aus Metall der Fall. Aber auch die Faltenbälge aus Kunststoff oder Elastomer können den erforderlichen Anpressdruck aufbringen. Metallfaltenbälge werden aus sehr dünnem Metallblech gefertigt. Um eine hohe Dehngrenze zu erhalten, wird das Metall häufig kaltverformt. Die Korngröße des Metalls muss im Vergleich zur Dicke des Blechs klein sein. Die Korrosionsbeständigkeit der für die Herstellung von Metallfaltenbälgen verwendeten Werkstoffe muss größer als die der anderen Pumpenwerkstoffe sein.

Führungselemente

Gleitringdichtungen für Hochdrucker Anwendungen können mit Kunststoff- oder Metallscheiben ausgerüstet sein, damit der Spalt zwischen dem Gleitring und der Welle/Wellenhülse möglichst klein ist. Dadurch wird die Gefahr des Verdrehens des Gleitrings reduziert. Siehe Abb. 5.19 auf Seite 86. Bei Faltenbalg-Gleitringdichtungen können zudem Führungselemente aus Metall oder Kunststoff zum Einsatz kommen, um den Gleitring auf der Welle zu zentrieren.

Leitungen, Stopfen und Halterungen

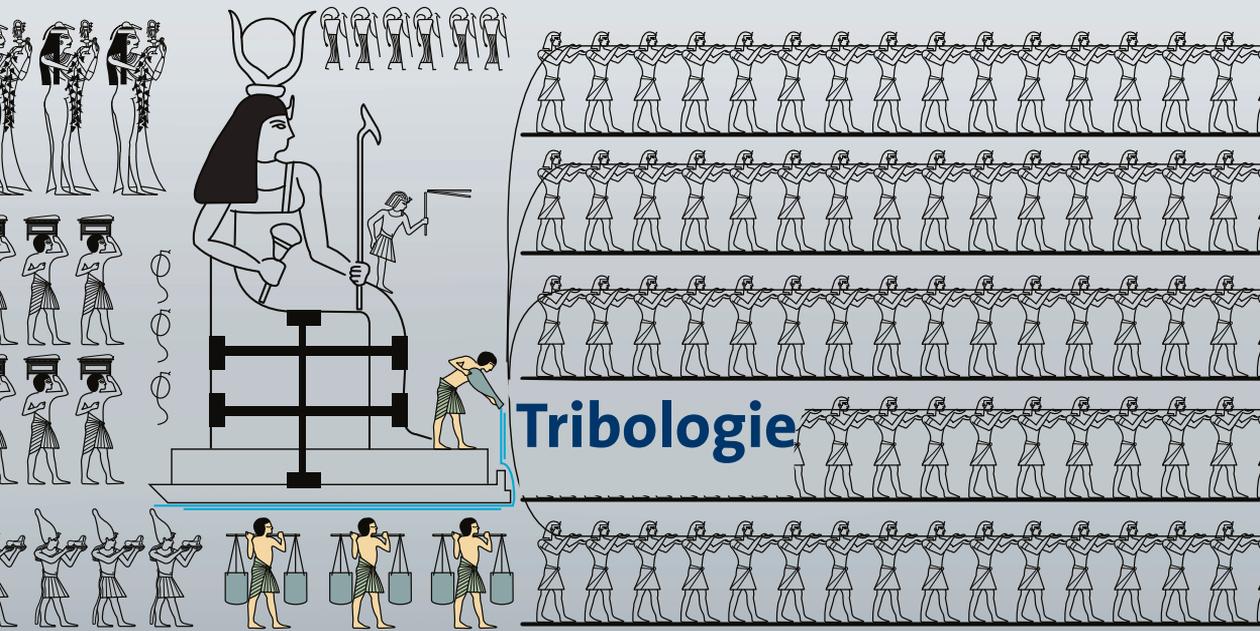
Kleine Leitungen und Stopfen für Gleitringdichtungen können aus Metall oder festen Kunststoffen bestehen. Dies gilt auch für die Fixierung von O-Ringen und für Klemmringe zur Befestigung von Elastomerteilen. Die Wahl des passenden Werkstoffs hängt von der Korrosionsbeständigkeit, Festigkeit und Formstabilität sowie der zu fertigenden Stückzahl ab.

Zusammenfassung

Die Werkstoffe von Gleitringdichtungen sind entsprechend der vorliegenden Anwendung zu wählen. Dabei sind die chemische Beständigkeit, der Temperaturbereich und eventuell erforderliche Zulassungen zu beachten. Bei den Werkstoffen für die Dichtfläche sind das Reibverhalten und die Verschleißigenschaften von besonderer Bedeutung.



Kapitel 4



1. Schmierung
2. Verschleiß

Tribologie ist die Wissenschaft der Reibung unter Einbeziehung der Schmierung und des Verschleißverhaltens. Der Begriff ist aus dem altgriechischen Wort "Tribos" abgeleitet, das frei übersetzt "Reibung" bedeutet.

Wie in Kapitel 1 beschrieben, reiben bei einer Gleitringdichtung die beiden Dichtringe getragen von einem dünnen Schmierfilm gegeneinander.

Die Tribologie gehört mit zu den ältesten Wissenschaften. Bereits eine alte ägyptische Inschrift ähnlich der Abb. 4.1 zeigt, wie 172 Sklaven in der Lage sind, eine schwere Statue mit Hilfe eines Schlittens zu ziehen.

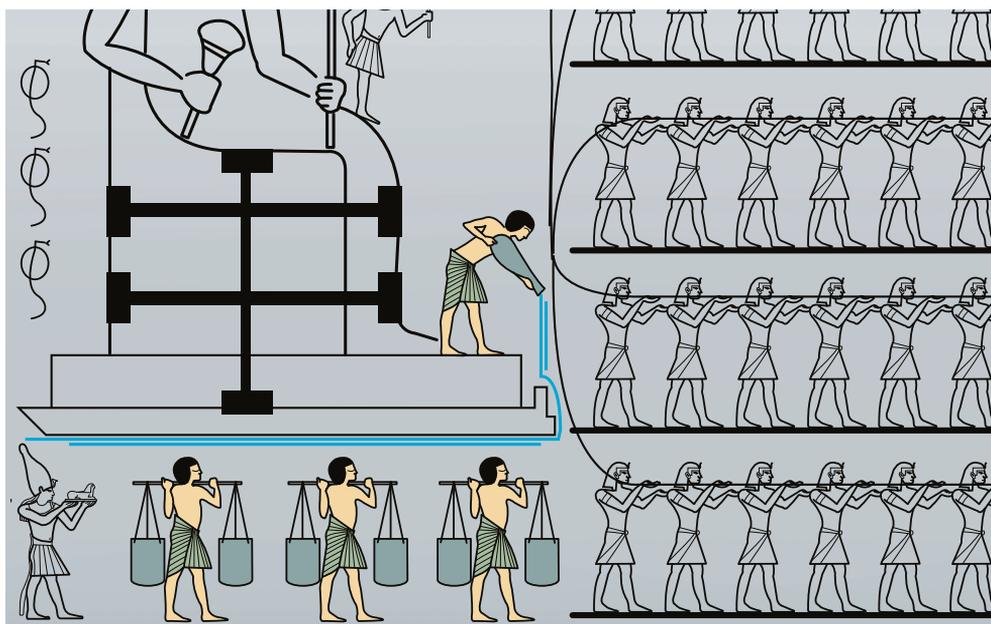


Abb. 4.1: Altägyptische Inschrift als Beispiel zur praktischen Umsetzung der Reibungslehre

Angenommen der Schlitten ist aus Holz gefertigt und die Unterlage besteht ebenfalls aus Holz, dann kann durch eine einfache Berechnung nachgewiesen werden, dass der Schlitten nur gezogen werden kann, wenn Wasser zur Schmierung der beiden Reibflächen verwendet wird. Deshalb gießt die auf dem Schlitten stehende Person ständig Wasser unter den Schlitten, das drei weitere Sklaven in Behältern heranführen.

1. Schmierung

Die Druckverteilung im Schmierfilm setzt sich aus einem hydrostatischen und einem hydrodynamischen Anteil zusammen. Der hydrostatische Anteil nimmt mit der Druckdifferenz zwischen der medienbeaufschlagten und der luftbeaufschlagten Seite zu. Der hydrodynamische Druck hingegen wird durch einen Flüssigkeitstransport innerhalb des Spalts aufgebaut, der infolge von Gleitbewegungen zwischen Oberflächen entsteht. Das unterschiedliche Schmierverhalten in Abhängigkeit des hydrodynamischen Drucks wird häufig mit Hilfe der Stribeck-Kurve dargestellt. Siehe Abb. 4.2.

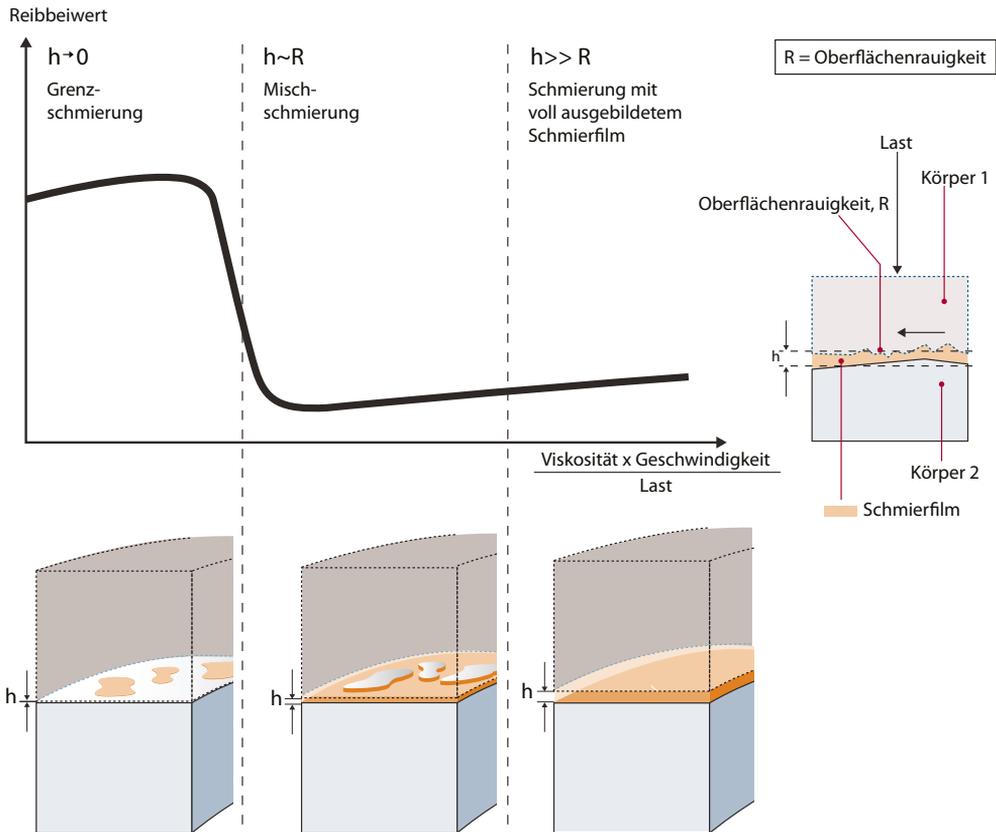


Abb. 4.2: Stribeck-Kurve zur Darstellung der unterschiedlichen Schmierzustände

Bei hohen Geschwindigkeiten und nicht allzu großer Last werden die Gleitpaarungen vollständig durch den hydrodynamischen Druck getrennt, so dass sich ein voll ausgebildeter Schmierfilm über die gesamte Gleitfläche ausbilden kann. Bei kleineren Geschwindigkeiten oder höherer Last reicht der hydrodynamische Druck nicht mehr aus, um die Gleitflächen vollständig zu trennen. In dieser Phase herrscht ein Schmierzustand, bei dem ein Teil der Last direkt von den Kontaktpunkten der beiden Oberflächen getragen wird. Dabei hat die Oberflächenbeschaffenheit der beiden Gleitflächen Einfluss darauf, wo dieser Schmierzustand erreicht wird. Dieser Schmierzustand wird als Mischschmierung bezeichnet. Bei noch geringeren Geschwindigkeiten oder noch höherer Last, verliert der im Dichtspalt erzeugte hydrodynamische Druck an Bedeutung. Dieser Schmierzustand wird als Grenzschmierung bezeichnet.

Der Schmierfilm muss bei einer Gleitringdichtung sehr dünn sein, um einen zu hohen Leckagestrom zu vermeiden. Deshalb treten bei Gleitringdichtungen nur die Misch- und Grenzschmierung auf.

Betriebsparameter

Die in Abb. 4.2 auf der x-Achse für die Gleitringdichtung aufgetragene Schmierzahl wird als Betriebsparameter G bezeichnet, der sich aus der folgenden Gleichung ergibt:

$$G = \frac{\eta \omega}{k \Delta p + p_F}$$

η : dynamische Viskosität

ω : Winkelgeschwindigkeit ($2\pi \nu$ [s^{-1}])

k : Belastungsverhältnis der Gleitringdichtung

Δp : Druckdifferenz entlang der Dichtfläche

p_F : Druck im Dichtspalt infolge der Federkraft.

Weitere Informationen zum Betriebsparameter finden Sie in [1].

Bei kleinen Werten für den Betriebsparameter ist die Leckrate sehr gering. Die Gleitringdichtung arbeitet in diesem Fall im Bereich der Grenzschmierung. Bei großen Werten hingegen kann sogar eine vollständig hydrodynamische Schmierung erreicht werden.

Beispiele:

Der Betriebsparameter G für Kesselspeisewasser beträgt in der Regel 10^{-8} , für nicht erwärmtes Trinkwasser 10^{-7} und für Erdöl 10^{-5} .

Die Beschreibung des Schmierverhaltens mit Hilfe des Betriebsparameters basiert nicht auf einer Berechnung anhand eines physikalischen Modells, sondern erfolgt empirisch durch Tests oder Verfahren, die auf Erfahrungswerten beruhen. In den nachfolgenden Unterabschnitten werden die zugrundeliegenden physikalischen Modelle der hydrodynamischen Schmierung ausführlicher beschrieben.

Hydrodynamische Druckverteilung

Im Bereich des vollständig ausgebildeten Schmierfilms wird die Reibung zwischen den Flächen, die sich mit der Relativgeschwindigkeit v_0 zueinander bewegen, durch die "innere" Reibung im Schmierfilm bestimmt. Die innere Reibung wird durch den Scherwiderstand der Flüssigkeit ausgedrückt, der als "Viskosität" bezeichnet wird. Der Viskosität ist das Formelzeichen η (eta) zugeordnet.

Bewegen sich zwei durch eine Flüssigkeit mit der Viskosität η getrennte Flächen mit der Geschwindigkeit v_0 relativ zueinander, haften die Moleküle der Flüssigkeit in der Regel an den Oberflächen. Deshalb ist die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in der Nähe der Fläche gleich der Geschwindigkeit, mit der sich die Fläche bewegt. Ist der Abstand der Oberflächen gering, ist die Strömung laminar (ohne Verwirbelung). In diesem Fall steigt die Geschwindigkeit zwischen den Flächen linear an. Die Kraft F , die aufgebracht werden muss, damit die Fläche in Bewegung bleibt, ist proportional zur Fläche A und zur Scherung v_0/h , wobei h der Abstand zwischen den beiden Flächen ist. Siehe Abb. 4.3.

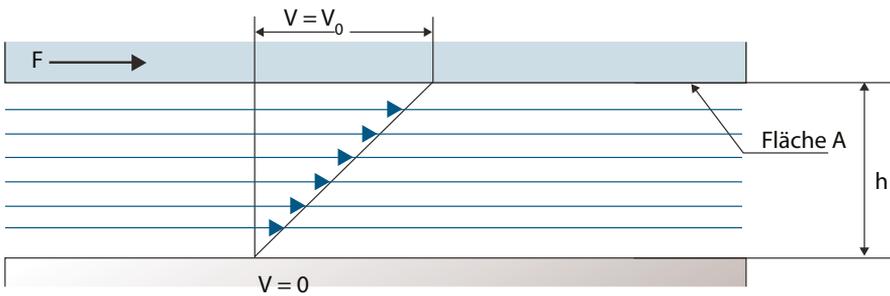


Abb. 4.3: Geschwindigkeitsverteilung und Scherwiderstand F eines Flüssigkeitsfilms zwischen zwei Flächen mit einem Abstand h

Damit ist die Schubspannung F/A proportional zur Änderung der Scherung v_0/h :

$$F/A = \eta v_0/h$$

oder allgemeiner mit τ als Schubspannung:

$$\tau = \eta \frac{\partial v}{\partial h} \quad (\text{gilt nur für Newton'sche Flüssigkeiten})$$

Sind die beiden Flächen, wie in Abb. 4.3 dargestellt, parallel zueinander angeordnet, erfolgt kein Druckanstieg in dem Spalt zwischen den Flächen infolge der Geschwindigkeitsverteilung. Ist eine der beiden Flächen jedoch leicht geneigt, wird die Flüssigkeit durch einen engeren Querschnitt gezwängt und dadurch komprimiert. Dies führt zu einem Druckanstieg und einer entsprechenden Druckverteilung zwischen den beiden Flächen, siehe Abb. 4.4.

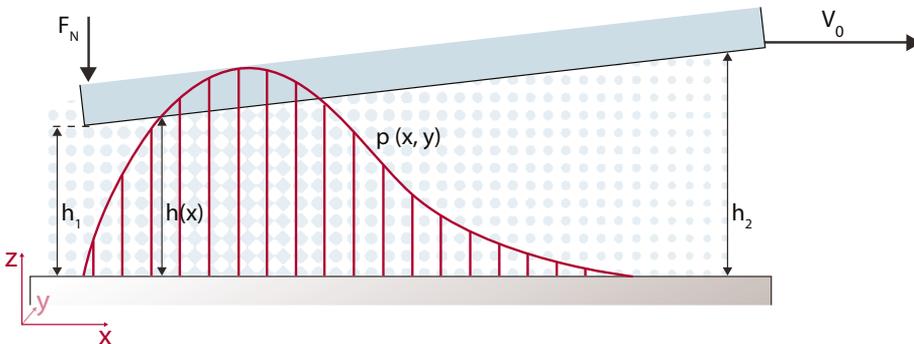


Abb. 4.4: Entstehen eines Druckprofils durch leichte Neigung der bewegten Fläche

Bei gegebener Geometrie kann das Druckprofil mit Hilfe der Reynolds-Gleichung berechnet werden:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3(x) \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h^3(x) \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 6v \cdot \eta \frac{\partial h(x)}{\partial x}$$

Die durch Berechnung ermittelten Verhältnisse im Schmierfilm sind abhängig von der Geschwindigkeit v_0 und der Last F_N . In allen Fällen ist die zwischen den Flächen herrschende Druckverteilung jedoch immer nur in der Lage, die Flächen durch einen Spalt voneinander zu trennen, der dem Keilabstand ($h_2 - h_1$) entspricht. Siehe Abb. 4.4.

Weitere Informationen zur Schmierfilmtheorie finden Sie in [2].

Welligkeit der Dichtringe

Um die Leckrate zu minimieren, muss die Oberfläche der Dichtringe plan sein, damit zwischen den relativ zueinander bewegten Dichtflächen kein hydrodynamischer Druck aufgebaut werden kann. Plane Oberflächen werden in der Regel durch Läppen erreicht. Dennoch sind auch präzise bearbeitete Oberflächen nicht ganz plan. Eine Welligkeit von 1/10000 mm ist immer vorhanden. Bei einer Relativbewegung der beiden Dichtflächen zueinander, wird durch die Welligkeit ein hydrodynamischer Druck aufgebaut. Durch diesen hydrodynamischen Druckaufbau wird der Schmierfilm dicker und damit die Leckrate erhöht. Siehe Abb. 4.5.

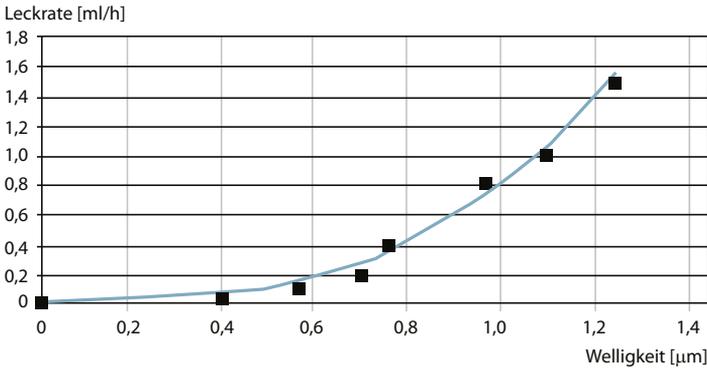


Abb. 4.5: Beispiel für gemessene Leckraten in Abhängigkeit der Welligkeit

Welligkeit entsteht auch durch mechanische und thermische Verformung. In den meisten Fällen reicht jedoch der daraus resultierende hydrodynamische Druck nicht aus, um die Dichtflächen vollständig zu trennen.

Der Einfluss der Welligkeit auf die hydrodynamische Druckverteilung wird ausführlich in [3] beschrieben. Als Ergebnis dieses Berichts kann festgehalten werden, dass ein optimaler Kompromiss zwischen Schmierung und Leckrate durch Läppen der Oberflächen erreicht wird, d.h. wenn die Oberflächen so plan wie möglich sind.

Hydrodynamische Aussparungen

Bei Gleitringdichtungen für Fördermedien mit sehr geringer Viskosität, wie z.B. Heißwasser oder Gase, kann die Schmierung verbessert werden, indem Aussparungen in den Dichtring oder den Dichtungssitz eingearbeitet werden. Siehe die Abbildungen 4.6 und 4.7.

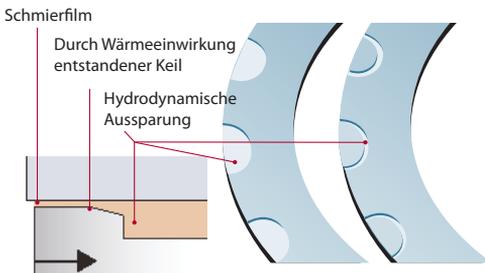


Abb. 4.6: Hydrodynamische Aussparungen in den Dichtringen für Heißwasseranwendungen

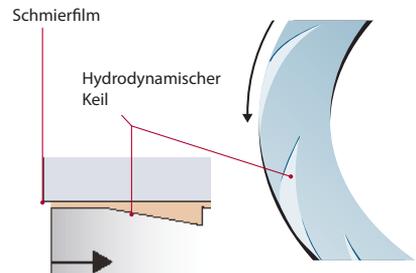


Abb. 4.7: Hydrodynamische Keile in der Dichtfläche von Gleitringdichtungen für die Gasförderung

Durch eine thermische Verformung wird in der Nähe der Aussparungen ein Keil auf der Dichtfläche erzeugt, siehe Abb. 4.6. Die Aussparungen sorgen dafür, dass die Verdampfungszone näher zur luftbeaufschlagten Seite rückt [4]. Entlang der Aussparungen entsteht ein Bereich mit einem höheren Druck. Dank dieser Maßnahme kann das Fördermedium ohne Probleme in den Dichtspalt gelangen. Trotzdem verbleibt auf der luftbeaufschlagten Seite eine ausreichend große Dichtzone. Eine effizientere Möglichkeit zur Erhöhung des hydrodynamischen Drucks ist das Einfräsen von kleinen Rillen in die Dichtfläche, so dass ein Keil im Dichtspalt entsteht. Dieses Verfahren wird in der Regel bei Gasdichtungen angewendet, wo trotz der sehr geringen Viskosität der Aufbau eines hydrodynamischen Drucks gewollt ist. Siehe Abb. 4.7.

Rauigkeit der Dichtringe

Reibung und Verschleiß sind abhängig von der aktuellen Kontaktfläche und damit von der Oberflächenbeschaffenheit. Rauigkeitsparameter, wie z.B. der R_a -Wert, sind ein Maß für die mittlere Rauigkeit, nicht aber für die Oberflächenbeschaffenheit. Zur Beschreibung des Reib- und Verschleißverhaltens sowie der Schmiereigenschaften einer Oberfläche (tribologische Eigenschaften) ist deshalb die "Materialanteilskurve" (BAC) besser geeignet.

Die Materialanteilskurve beschreibt die Kontaktfläche als Funktion des Abstands mit Hilfe einer imaginären Ebene. Diese imaginäre Ebene wird über die Oberfläche gelegt, siehe Abb. 4.8. Der zugehörige Materialanteil zu einer bestimmten Eindringtiefe wird als "Relativer Materialanteil" (R_{mr}) bezeichnet.

Abb. 4.8 zeigt den Materialanteil R_{mr} von 5 %, 40 % und 80 % für verschiedene Eindringtiefen. Die Prozentwerte ergeben sich aus den dick dargestellten Linien im Verhältnis zur Gesamtlänge.

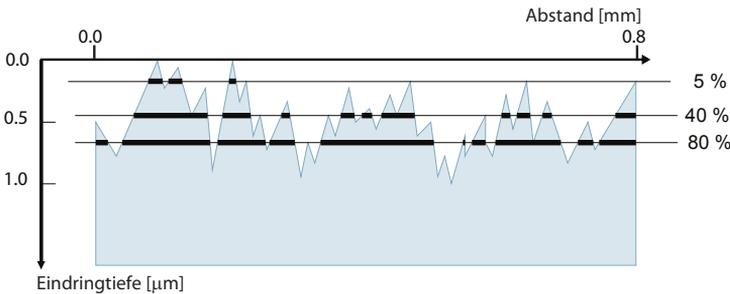


Abb. 4.8: Schnitt durch eine Oberfläche zur Erstellung einer Materialanteilskurve

Für die verschiedenen Bearbeitungsverfahren ergeben sich unterschiedliche Materialanteilskurven. Siehe Abb. 4.9.

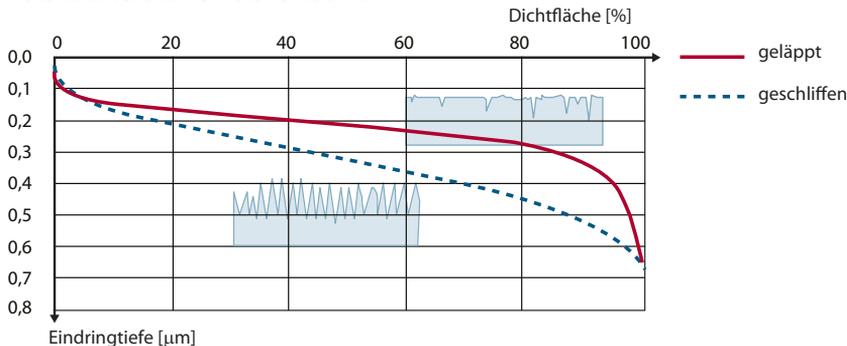


Abb. 4.9: Beispiele zu Materialanteilskurven für eine geschliffene und eine geläppte Oberfläche

Die geläppte Oberfläche weist eine Erhebung und einige Vertiefungen auf. Deshalb steigt der Materialanteil schnell mit der Eindringtiefe an, bis ein hoher Wert erreicht ist. Im Gegensatz dazu nimmt der Materialanteil bei der geschliffenen Oberfläche nur langsam mit der Eindringtiefe zu. Dies deutet auf eine gleichmäßigere Verteilung der Erhebungen und Vertiefungen hin.

Abb. 4.10 zeigt, dass die Leckrate abhängig von der Ausrichtung der auf der Oberfläche vorhandenen Kratzer ist. Dabei geben die Pfeile die Drehrichtung des Gleitings an. Gemäß Abb. 4.10 kann der Schmierfilm je nach Ausrichtung der Kratzer auf der Oberfläche entweder mehr zur medienbeaufschlagten oder mehr zur Umgebungsseite ausgeprägt sein.

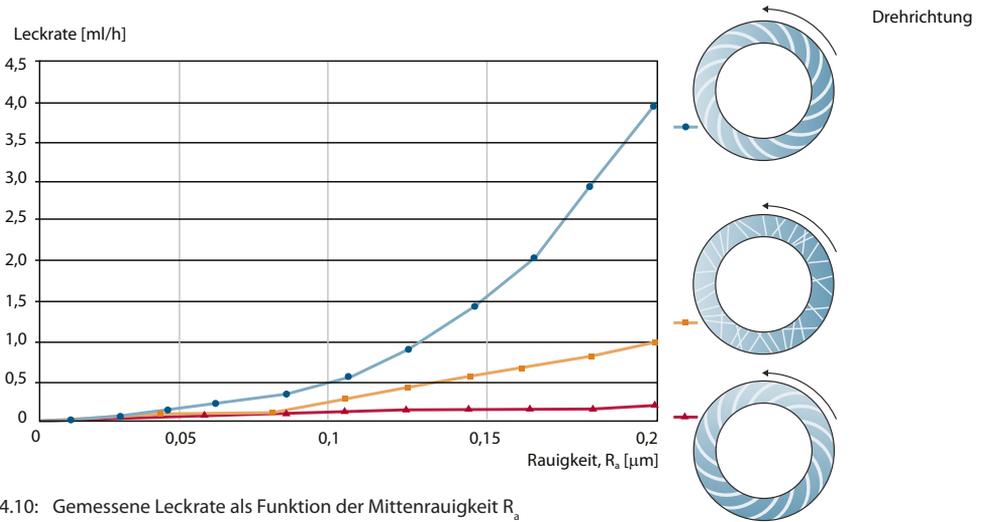


Abb. 4.10: Gemessene Leckrate als Funktion der Mittenrauigkeit R_a und der Ausrichtung der Kratzer auf der Oberfläche

Die typische Oberflächenbeschaffenheit bei Dichtringen ist eine statistische Verteilung der Kratzer in alle Richtungen, die durch den Läppprozess hervorgerufen wird. Mit Hilfe des Läppens wird eine glänzende Oberfläche mit einer geringen Rauigkeit erzeugt.

Sind jedoch beide Dichtringe aus einem harten Werkstoff gefertigt, sollte eine der beiden Dichtringe einen abstumpfenden Feinschliff erhalten, um zu verhindern, dass die Dichtringe im Stillstand zusammenkleben. Wurde mit Hilfe des Läppens ein Feinschliff mit einer Mittenrauigkeit R_a von 0,2 erzeugt, kann die Einlaufphase mehrere Tage dauern.

Strukturieren der Oberfläche

Eine Möglichkeit zur Verbesserung des Schmierfilms bei Gleitringdichtungen, die oberhalb des Siedepunkts vom Fördermedium (z.B. über 100 °C bei Wasser) betrieben werden, ist das Strukturieren der Oberfläche. Unterhalb des Siedepunkts tritt keine nennenswerte Erhöhung der Leckrate auf [7]. In die Dichtflächen eingearbeitete Taschen werden mit dem Fördermedium aufgefüllt und dienen als Zusatzpuffer, um bei einem Betrieb oberhalb des Siedepunkts zu verhindern, dass der Schmierfilm vollständig verdunstet. Diese Oberflächenstruktur kann durch Laserbearbeitung oder durch Einätzen hergestellt werden. Wurden die Dichtringe aus einem Werkstoff mit geschlossenen Poren hergestellt, haben die Dichtflächen ebenfalls eine strukturierte Oberfläche. Der Vorteil von aus porösen Werkstoffen gefertigten Dichtringen besteht darin, dass die Struktur der Oberfläche auch bei einem Verschleiß der Dichtringe erhalten bleibt.

Hydrostatische Schmierung

Wie in Kapitel 1 beschrieben (siehe die Abbildungen auf Seite 14) nimmt der hydrostatische Druck im Dichtspalt bei parallel zueinander ausgerichteten Dichtflächen linear ab. Bei zusammenlaufendem oder auseinanderlaufendem Dichtspalt hingegen ist der Druckabfall nicht linear. Siehe die Abbildungen 1.21 und 1.22 auf Seite 19. Ein Verdampfen der Flüssigkeit im Dichtspalt hat ebenfalls Auswirkungen auf die Druckverteilung. Dampf besitzt eine sehr viel geringere Viskosität als eine Flüssigkeit, so dass die verdampfte Flüssigkeit schnell aus dem Dichtspalt austritt. Auch die Dichte von Dampf ist viel geringer als die Dichte einer Flüssigkeit, so dass das Volumen durch den Verdampfungsprozess größer wird. Durch ein Verdampfen der Flüssigkeit kann somit der hydrostatische Druck gegenüber dem linearen Verlauf stärker ansteigen. Zudem verschiebt sich die Verdampfungszone näher zur Umgebungsseite. Siehe Abb. 4.11. Berechnungen zur hydrostatischen Druckverteilung in Dichtspalten wurde in [5] durchgeführt.

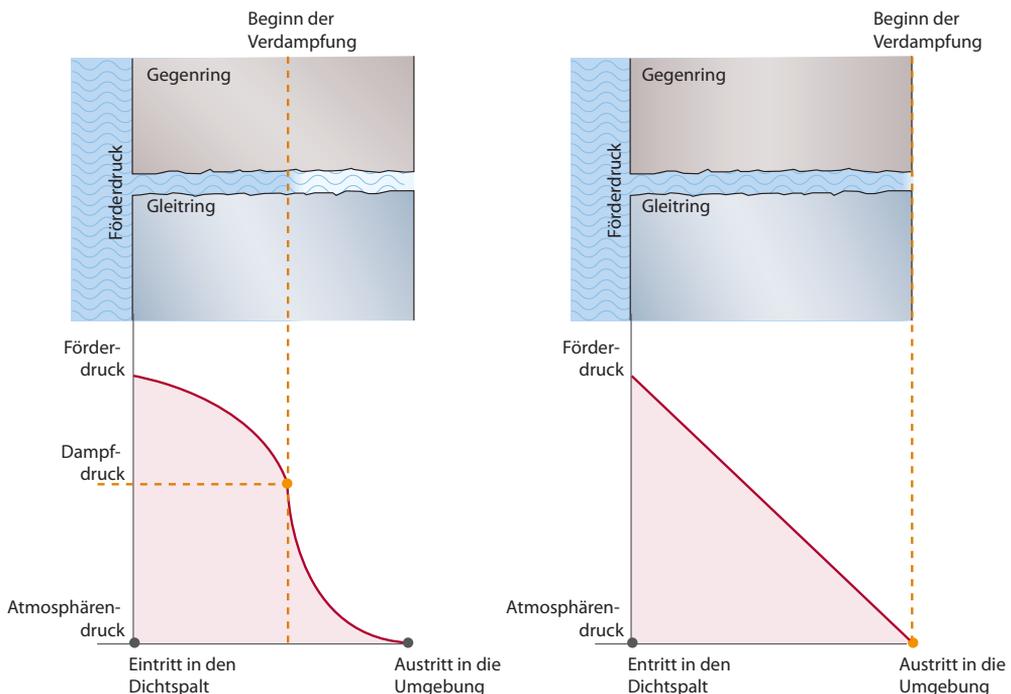


Abb. 4.11: Durch den Verdampfungsprozess kann sich der Druck im Dichtspalt erhöhen, weil sich das Fördermedium ausdehnt, wenn es verdunstet.

Trockenlauf

Gleitringdichtungen für den Einsatz in Verbindung mit Flüssigkeiten müssen von einer Flüssigkeit geschmiert und gekühlt werden. Bei Trockenlauf wird die Gleitringdichtung beschädigt. Denn bei Fehlen eines Schmierfilms im Dichtspalt, wird Reibungswärme über die Dichtringe abgeführt. Durch die Reibungswärme werden die Dichtringe bei Trockenlauf innerhalb von wenigen Minuten auf eine Temperatur von mehreren hundert Grad erwärmt.

Infolge der hohen Temperaturen werden die Nebendichtungen aus Elastomer beschädigt.

Die Höhe der Temperatur und die Dauer des Temperaturanstiegs sind vor allem abhängig vom Werkstoff der Dichtungsringe und von der Bauform der Gleitringdichtung. Gleitringdichtungen, bei denen ein Dichtring aus synthetischer Kohle besteht, können in der Lage sein, einem Trockenlauf von mehreren Stunden standzuhalten, ohne dass schwerwiegende Beschädigungen an den Dichtungskomponenten auftreten.

2. Verschleiß

Verschleiß ist ein unerwünschtes Abtragen von Material aus einer Oberfläche. Der Verschleiß von Oberflächen wird durch eine Vielzahl von Prozessen ausgelöst. Dabei wird allgemein zwischen den vier nachfolgend aufgeführten Verschleißarten [6] unterschieden:

- Verschleiß durch Verkleben
- Verschleiß durch Abrieb
- Verschleiß durch Korrosion
- Verschleiß durch Ermüdung

Verschleiß durch Verkleben

Sogar makroskopisch glatte Oberflächen sind im atomaren Maßstab betrachtet rau. Werden zwei dieser Oberflächen zusammengebracht, erfolgt der Kontakt nur an einigen wenigen Unebenheiten. Wird eine normale Last aufgebracht, wirkt auf diese isolierten Punkte ein sehr hoher Druck. Ist kein Schmierfilm auf den Oberflächen vorhanden, verkleben die beiden Oberflächen miteinander. Geringste Verschmutzungen auf den Oberflächen können jedoch ein Verkleben verhindern. Siehe Abb. 4.12. Durch eine tangentialle Verschiebung der Oberflächen relativ zueinander kann der Schmierfilm am Kontaktpunkt abreißen, so dass eine Kaltverschweißung stattfinden kann.

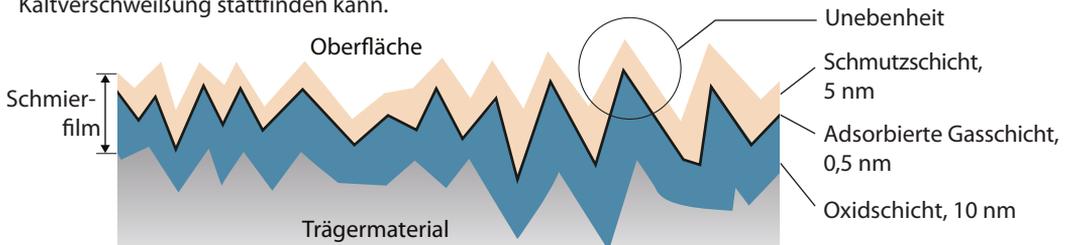


Abb. 4.12: Rauigkeitsprofil einer verschmutzten Oberfläche

Gleiten die Oberflächen kontinuierlich aneinander, werden die Verbindungen abgesichert und es bilden sich neue Verbindungen. Bei diesem Prozess tritt ein Verschleiß durch Verkleben auf. Um den Verschleiß durch Verkleben zu verhindern, ist besonders auf die Oberflächenbeschaffenheit zu achten, weil sie Einfluss auf die Kontaktspannung an den Berührungspunkten hat. Zur Vermeidung von Verschleiß durch Verkleben dürfen für die Dichtringe nur Werkstoffe verwendet werden, die nicht zur Kaltverschweißung neigen.

Verschleiß durch Abrieb

Verschleiß durch Abrieb tritt auf, wenn die Spitze eines Materials an einem anderen Material kratzt. Wenn die Rauigkeitsspitzen einer Oberfläche Material von einer anderen Oberfläche abträgt, liegt ein sogenannter Zweikörper-Abrieb vor. Durch diese Art des Abriebs entstehen gleichmäßige Riefen. Der Abriebprozess wird als Erosion bezeichnet, wenn ein Partikel auf eine Oberfläche aufschlägt und durch die kinematische Energie des Partikels Material von der Oberfläche abgetragen wird. In diesem Fall weist die Oberfläche ein zufällig gesprengeltes Muster auf. Sind harte Partikel zwischen zwei Gleitflächen eingeschlossen, kann auch dieser sogenannte Dreikörper-Abrieb zu schwerwiegenden Schäden führen. Siehe Abb. 4.13.

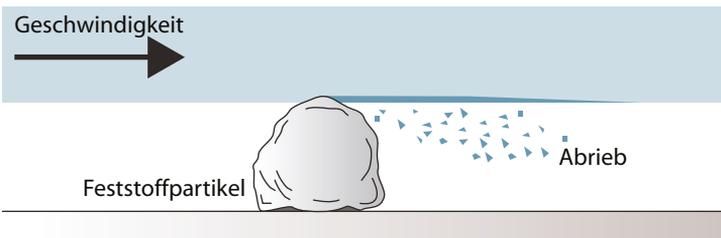


Abb. 4.13: Dreikörper-Abrieb

Auch durch Dreikörper-Abrieb entstehen gleichmäßige Riefen in der Oberfläche. Siehe Abb. 5.12 auf Seite 84.

Die Widerstandsfähigkeit gegenüber Abrieb ist abhängig von der Formbarkeit des Werkstoffs und von der Härte der Oberfläche im Vergleich zur Härte des den Abrieb verursachenden spitzen Körpers. Je formbarer der Werkstoff, desto größer ist die Neigung zur plastischen Verformung, ohne dass Abrieb entsteht, der den Verschleißprozess fördert.

Verschleiß durch Korrosion

Wenn Oberflächen in korrosiver Umgebung aneinander reiben, bilden sich auf der Oberfläche Reaktionsprodukte. Die Haftkräfte zwischen den Reaktionsprodukten und der Oberfläche sind jedoch häufig sehr gering, so dass sich diese Ablagerungen lösen und Schäden durch Abrieb verursachen können. Verschleiß durch Korrosion tritt vor allem bei Gleitringdichtungen mit harten Dichtflächen in korrosiver Umgebung auf, wenn z.B. das Bindemittel korrodiert und harte Körner aus dem Material freigesetzt werden.

Verschleiß durch Ermüdung

Oberflächen, die wiederholt hohen Spannungen ausgesetzt sind, können durch Ermüdungsprozesse verschleifen. Spannungen können durch mechanische Belastungen entstehen, wie z.B. bei Wälzlagern üblich. Die größten Spannungen, denen Dichtringe ausgesetzt sind, werden durch Temperaturerhöhungen infolge von Reibungswärme und Verdampfungsprozessen hervorgerufen. Verschleiß an Dichtflächen aus SiC kann z.B. bei Heißwasseranwendungen auftreten. Da infolge der thermischen Ermüdung des Werkstoffs SiC scharfkantige Körner freigesetzt werden, die für einen Abrieb an den Dichtflächen sorgen, entsteht der Eindruck, dass die Ursache für den Verschleiß auf Abrieb zurückzuführen ist, obwohl eigentlich Materialermüdung der Grund ist. Diese Verschleißform ist nur zu beobachten, wenn die Druck- und Temperaturgrenzen für eine stabile Reibung überschritten werden. Die thermische Ermüdung von SiC ist ein sehr komplexer Vorgang, der Verdampfungs-, Kavitations- und Korrosionsprozesse beinhalten kann.

Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie der Druck im Schmierfilm aufgebaut wird und wie verschiedene Mechanismen zu Verschleißvorgängen führen können. Der Druck im Schmierfilm kann durch einen in der Dichtfläche vorhandenen Keil erhöht werden, wenn der Keil in Bewegungsrichtung angeordnet ist. Der Keil kann entweder durch die Welligkeit des Dichttrings entstehen oder durch Vorsehen von hydrodynamischen Aussparungen oder Einbringen von Oberflächenstrukturen. Aber auch durch Verdampfung kommt es zu einer Druckerhöhung im Dichtspalt.

Die am häufigsten vorkommenden Verschleißarten sind: Verschleiß durch zusammenhaftende Dichtflächen, Verschleiß durch Abrieb, sowie Verschleiß aufgrund von Korrosion oder Ermüdung. Alle diese Verschleißarten können auch in Kombination auftreten.

- [1] B.S. Nau: "Hydrodynamic Lubrication in Face Seals", 3th Int. Conf. on Fluid Sealing (1967).
- [2] Bernard J. Hamrock: "Fundamentals of Fluid Film Lubrication".
- [3] A.O. Lebeck: "Face Seal waviness, prediction, measurement, causes and effects", 10th Int. Conf. on Fluid Sealing (1984).
- [4] L.E. Hershey: "Extending Mechanical Seal Service Life when operating in hot Water", 7th Int. Conf. on Fluid Sealing (1975) .
- [5] P. Waidner: "Evaporation in the gap of face seals – Theoretical calculations and results for hot water applications", 12th Int. Conf. on Fluid Sealing (1989).
- [6] J.T. Burwell: "Survey of possible wear mechanisms", Wear 1 (1957), p 119 – 141.
- [7] I. Etsion: " A Model for Mechanical Seal with Regular Microsurface Structure", Tribology Transactions, vol. 39 (1996), p 677-683.

Kapitel 5



Schäden an Gleitringdichtungen

1. Einführung
2. Mangelhafte Schmierung
3. Schäden durch Verunreinigungen
4. Zersetzung und mechanischer Verschleiß
5. Einbaufehler
6. Nicht bestimmungsgemäße Betriebsbedingungen
7. Fehleranalyse bei Gleitringdichtungen

1. Einführung

Schäden an der Gleitringdichtung ist die häufigste Ausfallursache bei Pumpen. Gleitringdichtungen sind den unterschiedlichsten und zum Teil stark schwankenden Betriebsbedingungen ausgesetzt. In einigen Fällen ändern sich die Betriebsbedingungen dabei so stark, dass sie zeitweise außerhalb des vorgesehenen Betriebsbereichs liegen.

Aus den beiden nachfolgenden Diagrammen ist ersichtlich, dass Schäden an der Gleitringdichtung mit Abstand die häufigste Ausfallursache von Pumpen ist. Siehe Abb. 5.1 und 5.2.

Ausfallursachen von Pumpen

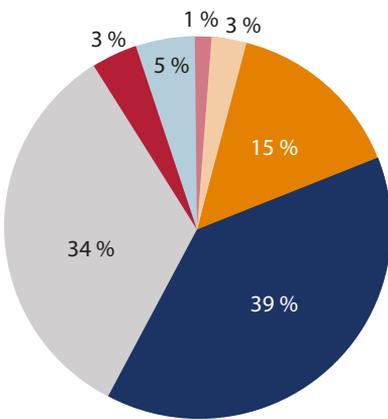


Abb. 5.1: Analyse von Pumpenschäden. Gleitringdichtungen sind für 39 % der Pumpenausfälle verantwortlich. [1]

Reparaturkosten bei Pumpen

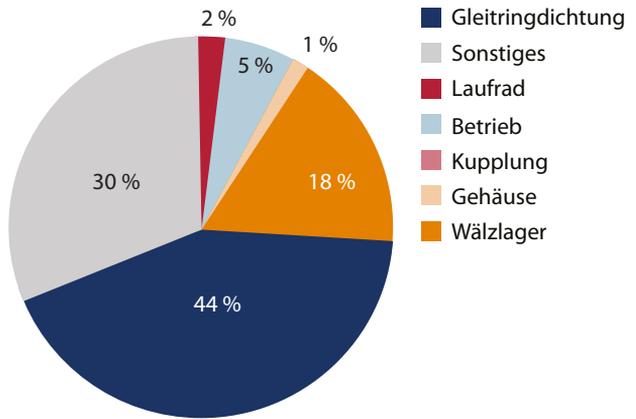


Abb. 5.2: Analyse der Reparaturkosten bei Pumpen. Gleitringdichtungen haben einen Anteil von 44 % an den Reparaturkosten von Pumpen. [1]

Die typischen Schäden an Gleitringdichtungen sind vor allem vom Typ der Gleitringdichtung und der Werkstoffpaarung abhängig. Gleitringdichtungen mit dynamisch belastetem O-Ring und einem Dichtring aus Graphit haben vor allem Probleme mit Verschleiß an den Dichtflächen und Blockieren, wodurch die axiale Beweglichkeit des dynamisch belasteten O-Rings und des Gleitrings behindert wird. Gleitringdichtungen mit der Werkstoffpaarung Hartmetall/Hartmetall hingegen sind anfälliger gegenüber Trockenlauf.

Für die Fehleranalyse einer beschädigten Gleitringdichtung und um das Ausfallen weiterer Gleitringdichtungen zu verhindern, sind ausführliche Informationen erforderlich. Denn anhand der Gleitringdichtung kann zwar festgestellt werden, welche Schäden aufgetreten sind, um aber die Ausfallursache benennen zu können, müssen häufig auch Informationen über die Pumpe und die Anwendung vorliegen. Diese Informationen sind in einem Schadensbericht festzuhalten, der auch Details zu den Betriebsbedingungen enthalten sollte. Dazu zählen auch Angaben zu den Komponenten im Umfeld der Gleitringdichtung. Siehe auch die Fehleranalyse zu Gleitringdichtungen auf den Seiten 89-91.

Im Folgenden werden die häufigsten Ausfallursachen von Gleitringdichtungen behandelt.

2. Mangelhafte Schmierung

Die ordnungsgemäße Funktion einer Gleitringdichtung mit der Werkstoffpaarung Hartmetall/Hartmetall hängt von einer ausreichenden Schmierung durch das Fördermedium ab. Trockenlauf und eine mangelhafte Schmierung können die Ursache für die nachfolgend aufgeführten Schäden sein.

Trockenlauf

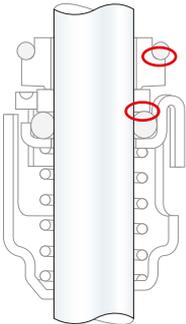


Abb. 5.3: Beschädigung der Oberfläche von Bauteilen aus EPDM und FKM durch zu hohe Temperaturen

Trockenlauf tritt auf, wenn die Gleitringdichtung nicht von Flüssigkeit umgeben ist, entweder weil die Pumpe nicht mit dem Fördermedium gefüllt ist, oder wegen einer unzureichenden Entlüftung, so dass sich um die Gleitringdichtung ein Luftpolster bildet. Durch das Fehlen eines Schmierfilms erhöht sich die Reibung zwischen den Dichtflächen, so dass die Temperatur erheblich ansteigt.

Sind die Dichtringe nicht vom Fördermedium umgeben, muss die Reibungswärme über die Gleitringdichtung abgeführt werden. Bei Gleitringdichtungen mit der Werkstoffpaarung Hartmetall/Hartmetall können die Dichtflächen dabei in nur wenigen Minuten Temperaturen von mehreren hundert Grad erreichen. Die typische Ausfallursache in Verbindung mit Trockenlauf ist das Verkohlen der Elastomerbauteile. Dieser Schaden tritt auf, wenn der O-Ring in direktem Kontakt mit dem Dichtring steht. Siehe Abb. 5.3.

Mangelnde Schmierung

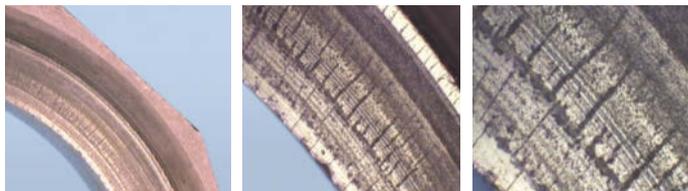
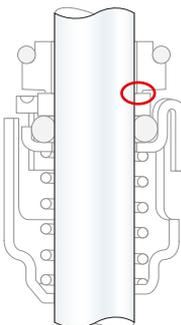


Abb. 5.4: Starke Wärmerisse in einer Dichtfläche aus Hartmetall infolge einer mangelhaften Schmierung

Ähnlich wie beim Trockenlauf kann die durch eine mangelhafte Schmierung an den Dichtflächen entstehende Reibungswärme zu erheblichen Problemen führen. Eine unzureichende Schmierung kann auftreten, wenn die Viskosität des Fördermediums sehr gering ist oder die Temperatur über den für Atmosphärendruck geltenden Siedepunkt liegt. Unter diesen Bedingungen kann die abzuführende Reibungswärme in einigen Bereichen sehr hoch sein. Durch den Wechsel zwischen lokaler Erwärmung und Kühlung können sich dann kleine, radial verlaufende Wärmerisse auf den Dichtflächen bilden. Siehe Abb. 5.4.

Geräusche

Bei unzureichender oder fehlender Schmierung können Gleitringdichtungen mit harten Dichtflächen Geräusche verursachen. Je nach Bauart und dem verwendeten harten Werkstoff sind der Geräuschpegel und die Frequenz gleichbleibend oder folgen einem eher zufälligen Verlauf.

Die Geräusche entstehen durch Vibrieren einzelner Bauteile. Dies hat zur Folge, dass auch die Lebensdauer der Gleitringdichtung herabgesetzt wird. Besonders Gleitringdichtungen mit Metallfaltenbalg neigen dazu, infolge von Vibrationen zu ermüden.

3. Schäden durch Verunreinigungen

Das Fördermedium ist häufig eine Mischung aus einer wasserhaltigen Flüssigkeit mit gelösten Feststoffen und kleinen unlöslichen Schwebepartikeln.

Der Schmierfilm im Dichtspalt ist großen Temperatur-, Druck- und Geschwindigkeitsschwankungen ausgesetzt. Dadurch steigt die Gefahr von Ausfällungen und Ablagerungen im Dichtspalt oder in unmittelbarer Umgebung des Dichtspalts.

Blockieren

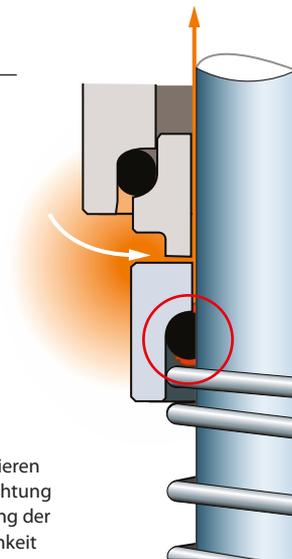


Abb. 5.5: Skizze vom Blockieren einer Gleitringdichtung durch Behinderung der axialen Beweglichkeit des dynamisch belasteten O-Rings

Das Blockieren einer Gleitringdichtung hat zur Folge, dass die axiale Beweglichkeit der rotierenden Bauteile eingeschränkt wird. Blockieren tritt am häufigsten bei O-Ring-Gleitringdichtungen auf, ist jedoch auch bei Faltenbalg-Gleitringdichtungen zu beobachten, wobei die auslösende Ursache jeweils unterschiedlich ist.

Bei O-Ring-Gleitringdichtungen können sich direkt neben dem O-Ring Ausfällungen und Ablagerungen bilden, die ein freies Gleiten des O-Rings verhindern. Wenn sich die Temperatur und der Druck in einem System ändern, ändern sich auch die Abmessungen der Pumpenbauteile geringfügig. Um diese Längenänderungen ausgleichen zu können, muss der O-Ring frei auf der Welle oder der Wellenhülse gleiten können, um eine korrekte Funktion zu gewährleisten. Siehe Abb. 5.5.

Arbeitet eine Faltenbalg-Gleitringdichtung bei Temperaturen nahe des maximal für die Kautschukart zulässigen Grenzwerts und nahe des für die Gleitringdichtung maximal zulässigen Drucks, neigen die Innenflächen des Faltenbalgs dazu, an der Welle zu haften und damit zu blockieren. Dasselbe Verhalten ist bei O-Ring-Gleitringdichtungen zu beobachten, wenn der dynamisch belastete O-Ring ebenfalls an der Welle festklebt. Dabei haben einige Kautschukarten, wie z.B. FKM, eine besonders hohe Neigung an Edelstahl haften zu bleiben.

Bei einer Fehleranalyse ist das Erkennen der Ausfallursache "Blockieren" häufig schwierig, weil die Gleitringdichtung zu Analysezwecken bereits zuvor zerlegt worden ist.

Öffnen des Dichtspalts

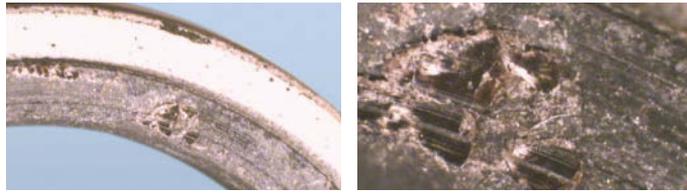
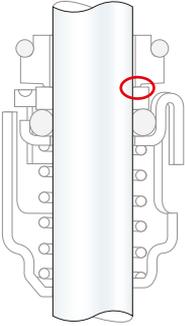


Abb. 5.6: Ablagerungen auf einer Dichtfläche aus Kohlegraphit

Einige Suspensionen und Lösungen neigen dazu, vereinzelte Ablagerungen auf den Dichtflächen zu bilden. Da die Ablagerungen ungleichmäßig auf den Dichtflächen verteilt sind, öffnet sich der Dichtspalt entsprechend. Das Ergebnis ist eine undichte Gleitringdichtung. Am Anfang ist der Leckagestrom gering, nimmt aber zu, sobald mehr Flüssigkeit in den Dichtspalt gelangt. Die Ablagerungen werden immer größer, weil die Temperatur der bereits mit Ablagerungen behafteten Oberfläche ansteigt. Siehe Abb. 5.6.

Verstopfen

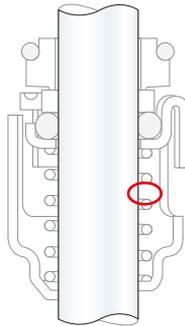
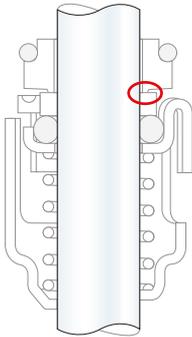


Abb. 5.7: Blockieren einer Gleitringdichtung mit Metallfaltensalz durch Kalkablagerungen

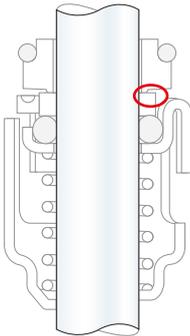
Enthält das Fördermedium einen hohen Anteil an Schwebstoffen und Fasern, kann die Gleitringdichtung durch Ausfällungen oder Absetzen der Schwebstoffe und Fasern an Federn, am Faltenbalg, am Mitnehmer oder an den O-Ringen ausfallen. Der Ablagerungsgrad ist abhängig vom Fördermedium und von den Strömungsbedingungen im unmittelbaren Bereich der Gleitringdichtung. In besonders schweren Fällen unterbinden die Ablagerungen die axiale Federwirkung des Faltenbalgs, wenn die Gleitringdichtung mit einem Metallfaltensalz ausgerüstet ist. Dann kann sich der Dichtspalt bei einer Änderung der Betriebsbedingungen ebenfalls öffnen. Siehe Abb. 5.7. Erfordert eine Änderung der Betriebsbedingungen das axiale Zusammendrücken des durch Ablagerungen blockierten Faltenbalgs, können sehr große Schließkräfte in der Gleitringdichtung auftreten. Dadurch können unzulässig hohe mechanische Spannungen auf die Bauteile der Gleitringdichtung wirken. Denkbar ist aber auch ein Ausfall der Gleitringdichtung aufgrund unzureichender Schmierung.

Partikel und Ablagerungen



Kleine Mengen an harten Partikeln auf den Dichtflächen führen zu einem erhöhten Verschleiß, insbesondere wenn eine Werkstoffpaarung bestehend aus einem harten und weichen Werkstoff verwendet wird. Dann werden die harten Partikel in den weichen Dichtring gepresst und wirken dort als Schleifmittel für den härteren Dichtling. Verunreinigungen zwischen den Dichtflächen führen entweder zu einer anhaltenden Erhöhung der Leckrate oder zu einer zeitlich begrenzten Erhöhung der Leckrate, bis die Verunreinigungen abgeschliffen und weggespült worden sind. Ein menschliches Haar beispielsweise besitzt eine Dicke von 50 bis 100 μm . Im Vergleich dazu beträgt die Höhe des Dichtspalts bei normalen Betriebsbedingungen nur 0,3 μm . Damit ist ein Haar von 60 μm um das 200-fache breiter als einer normaler Dichtspalt. Wie aus der Gleichung 2 auf Seite 18 ersichtlich, steigt die Leckrate in der dritten Potenz mit der Höhe des Dichtspalts an. Ist ein Haar zwischen den Dichtflächen eingeklemmt, ist die Leckrate um das $200^3 = 8.000.000$ -fache höher als bei einer Gleitringdichtung mit sauberen Gleitflächen.

Verkleben



Ein Verkleben der Dichtflächen tritt auf, wenn die beiden Dichtringe miteinander verzahnt oder teilweise verschweißt sind. Ist die Verbindung stärker als das Anlaufmoment des Motors, kommt es zu einer Motorstörung oder zu einer Beschädigung von Bauteilen der Gleitringdichtung.

Ein Verkleben der Dichtflächen kann verschiedene Ursachen haben. Betroffen sind vor allem Gleitringdichtungen mit harten Werkstoffpaarungen. Hauptgrund für das Verkleben ist die Ausfällung von klebrigen Stoffen aus dem Fördermedium, die sich auf den Dichtflächen absetzen oder Korrosion an den Dichtflächen. Ein Verkleben der Dichtflächen ist nur bei Pumpen im Aussetzbetrieb möglich. Je nach Fördermedium erfolgt ein Verkleben der Dichtflächen innerhalb von mehreren Stunden. Der Prozess wird dabei durch hohe Temperaturen beschleunigt.

4. Zersetzung und mechanischer Verschleiß

Alle Bauteile einer Gleitringdichtung müssen ausreichend beständig gegenüber chemischen oder physikalischen Umwelteinflüssen sein, um während der zu erwartenden Lebensdauer ordnungsgemäß zu funktionieren. Erhöhte Temperaturen, erhebliche mechanische Belastungen und chemische Einflüsse verringern jedoch die zu erwartende Lebensdauer der Gleitringdichtung. Dies gilt aber nur, solange bestimmte Grenzwerte nicht überschritten werden. Bei Überschreiten dieser Grenzwerte erfolgt eine Zersetzung und Fehlfunktion der Bauteile sehr viel schneller, so dass ein sofortiger Ausfall die Folge ist.

Bauteile aus Polymerkautschuk zeigen eine Vielzahl an Zersetzungserscheinungen, wie z.B. Blasen, Risse, Hohlräume oder Verfärbungen. In einigen Fällen kann die Zersetzung jedoch nur durch Messung von physikalischen Eigenschaften nachgewiesen werden. Zersetzungsprozesse entstehen bei einer Unverträglichkeit gegenüber der chemischen oder thermischen Umgebung.

Aufquellen von Elastomeren

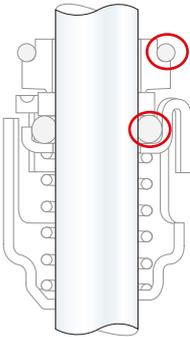


Abb. 5.8: Ein neuer O-Ring aus EPDM (links) und ein durch mineralölhaltiges Wasser aufgequollener O-Ring aus EPDM (rechts)

Das Aufquellen von Kautschuk bedeutet eine Volumenvergrößerung und eine Abnahme der Härte durch Aufnahme eines Lösungsmittels, das als Weichmacher wirkt. Die Volumenvergrößerung ist abhängig von der Kautschukart, der Konzentration des Lösungsmittels, den herrschenden Temperaturen und der Einwirkdauer. Im Extremfall kann sich die Längenausdehnung eines aufgequollenen Elastomerteils verdoppeln.

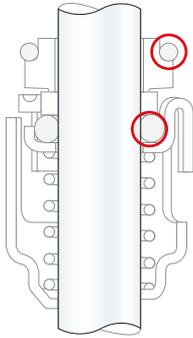
Die ordnungsgemäße Funktion ist bei vielen Gleitringdichtungen in hohem Maße von der Geometrie der Elastomerteile abhängig. Deshalb können bereits kleine Änderungen in den Abmessungen kritische Auswirkungen haben. Eine Verringerung der Härte hingegen hat Einfluss auf bestimmte mechanische Eigenschaften des Kautschuks.

Der häufig eingesetzte Kautschukwerkstoff EPDM zeigt einen hohen Aufquellgrad in Verbindung mit Mineralöl. Dabei ist das Ausmaß des Aufquellens des EPDM-Bauteils unabhängig von der Konzentration des Mineralöls im Wasser. Die Konzentration hat aber Einfluss darauf, wie lange ein Betrieb vor einem Ausfall des Bauteils noch möglich ist. Siehe Abb. 5.8.

Auch andere Kautschukarten neigen zum Aufquellen, wenn diese Medien ausgesetzt werden, gegenüber denen eine Unverträglichkeit besteht.

Die oben beschriebene Volumenvergrößerung ist nur ein Indiz für eine Unverträglichkeit gegenüber dem Fördermedium. Sie ist vor allem von der Löslichkeit des entsprechenden Stoffes abhängig. Darüberhinaus kann das Fördermedium aber auch die Trägerstruktur und/oder Vernetzung des Elastomers angreifen. Dies führt dann zu einer Veränderung der physikalischen Eigenschaften, wie z.B. der Zugfestigkeit, Elastizität und Härte. Hohe Temperaturen und eine lange Einwirkdauer verstärken noch die aggressiven Bedingungen.

Alterung der Elastomere



Zusätzlich zu dem zuvor beschriebenen Zersetzungsprozess findet auch ein natürlicher Alterungsprozess statt, durch den sich häufig die physikalischen Eigenschaften, wie z.B. die Elastizität und die Härte des Werkstoffs ändern. Alterung kann in zwei verschiedene Gruppen unterteilt werden:

- lagerungsbedingte Alterung
- Luftalterung.

Bei der lagerungsbedingten Alterung tritt hauptsächlich eine Zersetzung durch Oxidation ein. Neben dem offensichtlichen Einfluss des Sauerstoffs, sind auch die katalytische Wirkung von Wärme, Licht, inneren und äußeren Spannungen sowie die Nähe zu Metallen, die den Oxidationsprozess begünstigen, zu berücksichtigen. Im Gegensatz zur lagerbedingten Alterung ist die Luftalterung dadurch gekennzeichnet, dass Ozon den Kautschuk angreift. Für das Verständnis ist es wichtig, zu verstehen, dass es sich hier nicht nur um eine andere Form der sauerstoffbedingten Zersetzung handelt, sondern ein völlig anderer Prozess stattfindet. Wird der Kautschuk einer beliebigen Form von Spannungen ausgesetzt, entstehen auf der luftbeaufschlagten Seite Ausbrüche, die rechtwinklig zur Längenausdehnung sind. Diese Alterungsart ist z.B. bei alten Fahrrad- oder Autoreifen in Form von konzentrischen Ausbrüchen an den Stellen der höchsten, während des Betriebs auftretenden Verformung zu beobachten.

Schlagartiger Druckabfall

Ein schlagartiger Druckabfall macht sich bei Polymerkautschuk in Form von Bläschen, Vertiefungen oder pockenförmigen Erhebungen auf der Oberfläche bemerkbar. Besitzt das Fördermedium in der gasförmigen Phase einen hohen Partialdruck, diffundiert das Gas in den Kautschuk. Fällt der Druck und kann das absorbierte Gas im Verhältnis zum Druckabfall nicht schnell genug entweichen, baut sich im Innern des Kautschuks ein Überdruck auf. Übersteigt der Überdruck die Festigkeit des Werkstoffs, findet aufgrund der Dekompression eine Explosion statt. Besonders anfällig hierfür sind Elastomere mit hoher Gaslöslichkeit und geringer mechanischer Festigkeit.

Korrosion

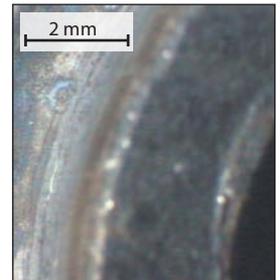
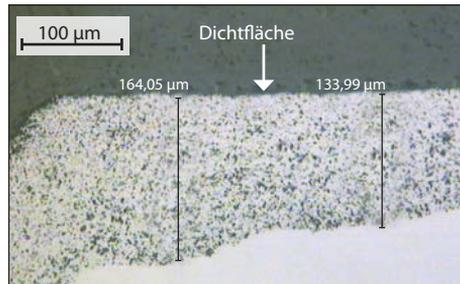
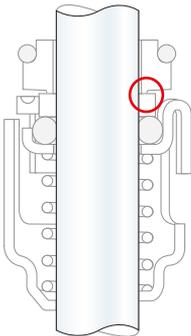
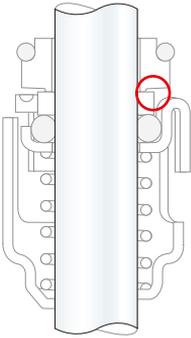


Abb. 5.9: Punktförmige Korrosion im eingebetteten Wolframkarbid. Durch die Korrosion der Deckschicht wird die Verschleißfestigkeit herabgesetzt.

Am häufigsten werden für die Herstellung der Dichtringe Verbundwerkstoffe verwendet. Um eine punktförmige Korrosion zu vermeiden, müssen alle Bestandteile des für die Herstellung des Dichtrings verwendeten Werkstoffs korrosionsbeständig gegenüber dem Fördermedium sein. Korrosion bei Dichtringen aus Wolframkarbid tritt vor allem in der metallischen Binderphase



auf. Das Ergebnis ist eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften, einschließlich der Abnahme der Verschleißfestigkeit. Ohne metallische Binderphase wird die Oberfläche matt. Durch die punktförmige Korrosion in der metallischen Binderphase kommt es zu Spannungen, so dass Risse im Dichtring entstehen. Siehe Abb. 5.9. An den anderen Oberflächen des Dichtrings kann starke Erosion an den Stellen auftreten, wo die metallische Binderphase korrodiert ist. Siehe Abb. 5.10. Bei Pumpen und Rohrleitungen aus Edelstahl korrodiert der Dichtring aus Wolframkarbid und einer metallischen Binderphase aus Kobalt, wenn er mit Leitungswasser in Berührung kommt.



Abb. 5.10: Korrosion der metallischen Binderphase, gefolgt von starker Erosion bei einem Dichtring aus Wolframkarbid und einer metallischen Binderphase aus Kobalt

Bei Keramikwerkstoffen, wie z.B. Aluminiumoxid, wird durch den Korrosionsprozess häufig die Glasschicht aufgelöst oder oxidiert, und dadurch die Verschleißfestigkeit herabgesetzt. Fehlt die Glasschicht, wird die Oberfläche des Dichtrings poröser, so dass die mechanische Festigkeit beeinträchtigt wird. Je nach Werkstoffqualität und Fördermedium kann die Abnahme der Festigkeit nur einige Prozent betragen oder erheblich sein.

Bei Edelstahlpumpen tritt Korrosion an den Metallteilen der Gleitringdichtung nur selten auf, weil die zu ihrer Herstellung verwendete Edelstahlqualität in der Regel höher als die der anderen Pumpenbauteile ist.

Verschleiß

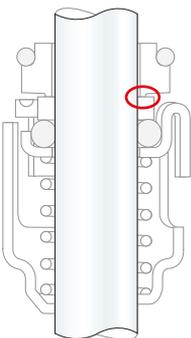


Abb. 5.11: Normale Verschleißspuren auf der Oberfläche eines Dichtrings aus Wolframkarbid

Weil die Schmierfilmdicke in etwa im Bereich der Oberflächenrauigkeit liegt, unterliegen die Dichtflächen einem gewissen Verschleiß. Dieser normale Verschleiß ist bei einer ordnungsgemäß arbeitenden Gleitringdichtung jedoch so gering, dass die Lebensdauer durchaus mehrere Jahre beträgt. Siehe Abb. 5.11. Nur in den wenigsten Fällen kommt es zu Problemen. Solange die axiale Beweglichkeit des Gleitrings nicht beeinträchtigt ist, arbeiten Gleitringdichtungen auch bei starkem Verschleiß von 0,5 bis 1 mm und mit größeren Riefen auf den Dichtflächen noch einwandfrei.

Verschleiß, Fortsetzung



Abb. 5.12: Tiefe Riefen auf der Dichtfläche im Bereich der medienbeaufschlagten Seite

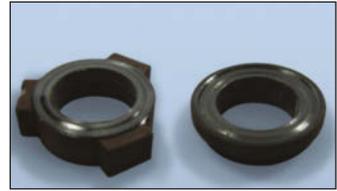


Abb. 5.13: Riefen auf den Dichtflächen im Bereich der Verdampfungszone

Tiefe Riefen in der Nähe der medienbeaufschlagten Seite sind ein Anzeichen dafür, dass im Fördermedium enthaltene Feststoffpartikel in den Dichtspalt eingedrungen sind. Siehe Abb. 5.12.

Tiefe Riefen in der Nähe der der Umgebung zugewandten Seite deuten hingegen daraufhin, dass sich Ablagerungen aus Ausfällungen vom Fördermedium dort gebildet haben, wo der Schmierfilm verdampft. Siehe Abb. 5.13.

5. Einbaufehler

Einige Schäden an Gleitringdichtungen sind auf Einbaufehler und eine falsche Handhabung während der Montage zurückzuführen. Beispiele hierfür sind z.B. Falschausrichtung der Welle, Dichtungssitz nicht rechtwinklig zur Welle eingebaut, unzulässige axiale Verschiebung der Welle, falsche Einbaulänge, usw.

Falschausrichtung

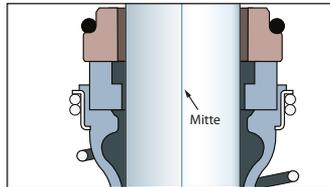
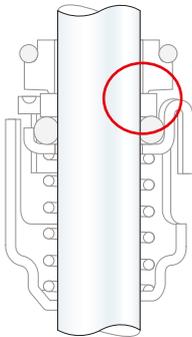


Abb. 5.14: Ordnungsgemäß ausgerichtete Dichtung

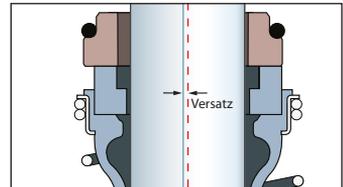


Abb. 5.15: Dichtungseinbau mit radialem Versatz

Aus der Lage und Größe von Verschleißspuren am Dichtsitz bzw. Gegenring kann auf mögliche Probleme geschlossen werden. Sind die Verschleißspuren auf dem Gegen- und dem Gleitring hinsichtlich der Breite identisch, ist die Gleitringdichtung richtig auf der Welle ohne Versatz ausgerichtet. Siehe Abb. 5.14.

Ist die Gleitfläche beim Gegenring jedoch über den gesamten Bereich breiter als beim Gleitring liegt eventuell ein Wellenversatz vor. Siehe Abb. 5.15. Dasselbe Verschleißbild zeigt sich auch bei einer Unwucht der Welle.

Eine ungleichmäßige Tiefe der Verschleißspuren ist ein Anzeichen dafür, dass der Dichtsitz bzw. der Gegenring schief eingebaut worden ist. Siehe Abb. 5.16.

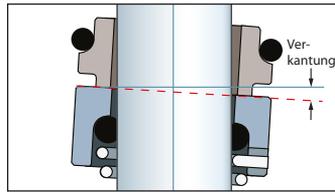
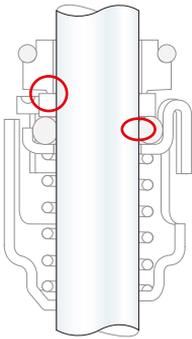


Abb. 5.16: Ungleichmäßig tiefe Verschleißspuren auf dem Gegenring als Folge einer Verkantung

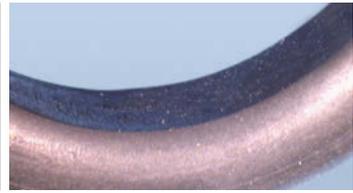


Abb. 5.17: Verschleiß am dynamisch belasteten O-Ring, wo die Dichtung die Welle berührt

Ein ungewöhnlich hoher Verschleiß am dynamisch belasteten O-Ring ist zu beobachten, wenn der Sitz des O-Rings leicht geneigt ist. Im weiteren Verlauf entstehen axial ausgerichtete Risse auf den Innenflächen. Siehe Abb. 5.17.

Verschleiß am dynamisch belasteten O-Ring tritt auf, wenn eine Relativbewegung zwischen der Welle oder der Wellenhülse und dem O-Ring stattfindet. Die Relativbewegung kann durch eine axiale Verschiebung der Welle (z.B. durch Vibration) oder durch eine Falschachrichtung des stationären Dichtsitzes (die Dichtfläche steht nicht senkrecht zur Welle) hervorgerufen werden.

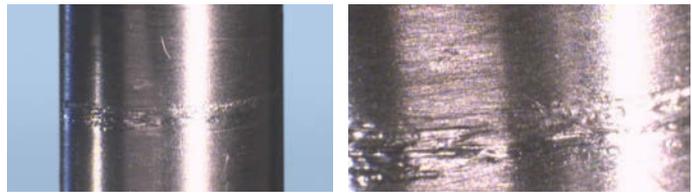
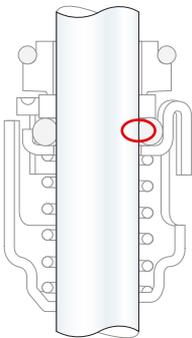


Abb. 5.18: Korrosion an der Welle unterhalb des dynamisch belasteten O-Rings als Folge axialer Relativbewegungen

Durch die axialen Relativbewegungen kann es auf der Welle oder der Wellenhülse unterhalb des dynamisch belasteten O-Rings zur Korrosionsbildung kommen, weil der O-Ring ständig auf der Wellenoberfläche reibt und so die schützende Oxidschicht entfernt. Siehe Abb. 5.18.

Zusammenbau

Überall dort, wo eine Gleitringdichtung in rotierenden Maschinen eingebaut ist, darf die axiale Verschiebung der Welle nicht größer als die Elastizität der Gleitringdichtung sein. Ansonsten erhöht sich der Verschleiß an den Dichtringen oder es werden einzelne Bauteile der Gleitringdichtung beschädigt.

Einbau

Die Einbaulänge der meisten Gleitringdichtungen entspricht den in der Norm festgelegten Abmessungen. So kann der Betreiber die Gleitringdichtung austauschen und einen Gleitringdichtungstyp einbauen, der besser zu seiner Anwendung passt. Aber auch wenn die Gleitringdichtungen dieselbe Einbaulänge besitzen, müssen sich die Gleitflächen nicht zwingend an derselben Stelle befinden. Werden Komponenten aus zwei Gleitringdichtungen miteinander kombiniert, kann deshalb der Anpressdruck erheblich zu- oder abnehmen.

6. Nicht bestimmungsgemäße Betriebsbedingungen

Beim Betrieb von Pumpen können Betriebsbedingungen auftreten, die von den bestimmungsgemäßen Bedingungen abweichen. Eine Änderung der Betriebsbedingungen kann jedoch Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Gleitringdichtung haben.

Die nachfolgenden Parameter haben Einfluss auf das Verhalten der Gleitringdichtung:

- der Druck in der Dichtungskammer
- die Temperatur in der Dichtungskammer im unmittelbaren Bereich der Gleitringdichtung
- das Fördermedium
- die Drehzahl
- die Abmessungen der Gleitringdichtung.

Werden die durch die oben genannten Parameter definierten Betriebsbedingungen, die jeweils für eine bestimmte Anwendung gelten, nicht eingehalten, kann es zu Fehlfunktionen oder Beschädigungen der Gleitringdichtung kommen.

Druck

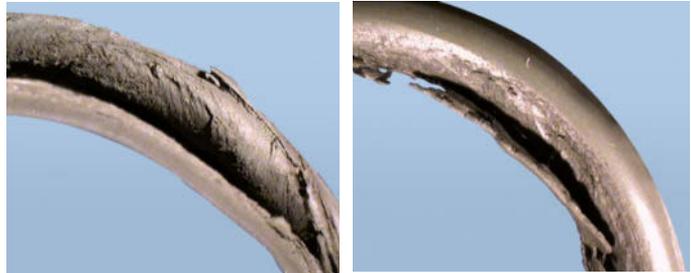
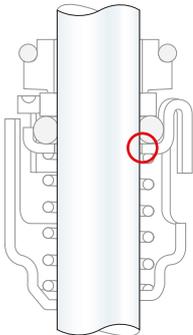


Abb. 5.19: Extrudierte O-Ringe infolge eines zu hohen Drucks

Der Druck auf der medienbeaufschlagten Seite muss innerhalb bestimmter Grenzen liegen, die durch die Bauform der Gleitringdichtung sowie die verwendeten Werkstoffe und von dem Fördermedium vorgegeben werden. Übersteigt der Förderdruck im Bereich der Gleitringdichtung den zulässigen Wert, können unterschiedliche Schäden auftreten. So kann sich z.B. die Reibung zwischen den Dichtringen erhöhen und entweder direkt Schäden infolge der Reibungskräfte hervorrufen oder die Nebendichtungen beschädigen. Auch extrudierte O-Ringe gehören zu den häufig zu beobachteten Schäden. Nähert sich die Temperatur dem für den entsprechenden Kautschuk zulässigen Grenzwert, wird der Werkstoff weicher, so dass der O-Ring extrudieren kann. Siehe Abb. 5.19.

Temperatur

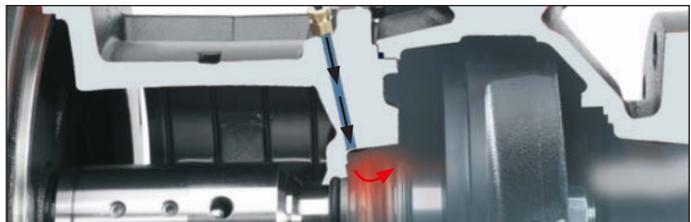


Abb. 5.20: Abführen der Reibungswärme durch Umwälzung des Fördermediums in der Dichtungskammer

Durch die Reibung zwischen den Dichtflächen entsteht auch im Normalbetrieb Wärme. Deshalb ist die Temperatur in und um die Gleitringdichtung um ca. 10 bis 20 K höher als die Medientemperatur.

Die Temperaturvorgaben für die Gleitringdichtung gelten genau für diesen Bereich. Dies ist vom Konstrukteur unbedingt zu berücksichtigen. Siehe Abb. 5.20. Bei einer Überschreitung der Temperaturgrenzwerte können die Elastomerbauteile beschädigt werden. Außerdem verschlechtert sich die Schmierung, so dass die Verschleißrate ansteigt. Siehe den Punkt "Mangelhafte Schmierung" auf Seite 77.

Kein Förderstrom

Fördert die Pumpe gegen einen geschlossenen Schieber ist kein Volumenstrom vorhanden. Durch die in der Gleitringdichtung entstehende Reibungswärme und die um das Laufrad entstehende Wärme infolge von Verwirbelungen erwärmt sich die ganze Pumpe, so dass insbesondere die Elastomerteile der Gleitringdichtung beschädigt werden können.

Zusätzlich zur Temperaturerhöhung besteht eine erhöhte Gefahr des Trockenlaufs, wenn der durch die Pumpe und die Dichtungskammer fließende Volumenstrom nicht ausreichend ist.

Fehlende Entlüftung

Je nach Gestaltung der Dichtungskammer, den Betriebsbedingungen und dem Fördermedium kann sich unter bestimmten Voraussetzungen Luft im Bereich der Gleitringdichtung ansammeln. Eine unzureichende Entlüftung, die zu dauerndem oder kurzzeitigem Trockenlauf führt, kann sich äußerst negativ auf die Lebensdauer der Gleitringdichtung auswirken.

Vibration

Bei Auftreten von mechanischen Schwingungen wirken auf alle Bauteile der Gleitringdichtung höhere Kräfte. Dies führt zu einem erhöhten Verschleiß an allen Bauteilen, Abplatzungen an den Dichtringen und möglicherweise zu einem Öffnen des Dichtspalts. Schwingungen können z.B. durch Reibung zwischen den Dichtflächen entstehen, wenn die Grenzwerte der Betriebsparameter überschritten werden. Andererseits wird das Auftreten von Schwingungen häufig mit verschlissenen Lagern oder speziellen Strömungsverhältnissen in Verbindung gebracht. Die Verschleißspuren auf dem Gegenring werden breiter, wenn sich die Schwingungen radial ausbreiten. Siehe Abb. 5.15

Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden die Hauptursachen für den Ausfall von in Pumpen eingesetzten Gleitringdichtungen beschrieben. Häufig ist es jedoch schwierig, die genaue Ausfallursache zu bestimmen, auch wenn die Förderbedingungen bekannt sind. Deshalb ist eine ausführliche Fehleranalyse erforderlich, um zukünftig Ausfälle von Gleitringdichtungen zu vermeiden.



7. Fehleranalyse bei Gleitringdichtungen

Die zuvor beschriebenen Ausfallursachen und Schadensbilder wurden in einer Tabelle zur Fehleranalyse zusammengefasst. Siehe Seite 90 - 91.

Zielsetzung der Tabelle ist es, Hilfestellung bei der Fehlersuche zu geben und Verbesserungsmöglichkeiten beim Einsatz der Gleitringdichtungen hinsichtlich der Betriebs- und Umgebungsbedingungen aufzuzeigen.

Die folgenden Hauptkomponenten der Gleitringdichtung sollten betrachtet werden:

- komplette Gleitringdichtung
- Dichtringe
- Elastomere
- Metallteile
- Welle/Wellenhülse.

In der ersten Spalte der Tabelle sind die Hauptkomponenten der Gleitringdichtung aufgeführt. Die zweite Spalte zeigt die Untersuchungsergebnisse. Die Ziffern geben die mögliche Ausfallursache an. Siehe die Legende zur Fehleranalyse auf Seite 92.

Mögliche Ursachen für den Ausfall von Gleitringdichtungen

		Mögliche Ursachen für den Ausfall					
		Anlagen-/Prozesseinfluss				Schlechte thermische Regelung	
Bauteil	Ergebnis der Sichtprüfung	Mangelnde Schmierung	Reinigung (Behandlung)	Verschmutzung	Korrosion (chemischer Angriff)	Kühlung	Heizung
Komplette Gleitringdichtung	Verstopft			15/17/41			
	Guter Zustand			1		1	1
	Blockiert			1		1	1
	Geräusche	13				20	15
	Fest/Verklebt				11		
Dichtringe (1) - (2)	Abgeplatzte Kanten				11		
	Gerissen/Gebrochen	3			11		
	Ablagerungen außerh. d. Dichtfl.			1/17/38			
	Angeätzt/Zersetzt		5		11		
	Löchrig		5		11		
	Verkratzt/Abgenutzt	13				20	15
	Verschleißspuren:						
	Keine Verschleißspuren						
	Blasig/Schuppig	13/24		23/18	31		
	Ablagerungen			8/9/17			
	Exzentrisch						
	Rillen	20		8			
	Tragspuren nicht durchgängig				39		
	Matte Oberfläche				11/21		
Geweitet oder verengt							
Normale Verschleißspuren							
Wärmerisse	13/20					20	15
Verschleiß Umgebungsseite	13			8			
Verschleiß Medienseite							
Elastomere	Verbrannt/Verschmort	3			11		
	Eingerissen/Eingekerbt						
	Zersetzt		11		11		
	Verdrillt						
	Gebrochen (Faltenbalg)						
	Verlust der Elastizität	3					12
	Gerissen						
	Aufgequollen		11		11		
Verschleiß, dynamische O-Ringe (3)							
Verschleiß, statische O-Ringe (4)	3		34	34			
Metallteile	Gerissen/Gebrochen			34	34		
	Verformt			34	34		
	Verfärbt	3	11		11		
	Angeätzt/Zersetzt		5/11		11		
	Löchrig		11		11		
	Verschlissen	13					
Welle/Hülse	Gebrochen/Gerissen	13	11				
	Löchrig		11		11		
	Verschlissen			8	11		

(1) Rotierender Gleitring (2) Gegenring (3) Dynamisch belastete O-Ringe (4) Statisch belastete O-Ringe

Ausfall von Gleitringdichtungen

Ursache	Falsche Montage			Anlagenstörungen					Sonstige
	Zusammenbau	Einbau	Falsch- ausrichtung	Förder- strom	Druck	Tempe- ratur	Schlechte Entlüftung	Vibration	
	2/19	2			1		1	1	
		7			15/35	13	36	16	
		10		4			3	16	37
		10						16	
		5		11					
		7			35	13	36		
	1	2							
		22				15			
			26						16
	19	7	40				4		
	38								
			19/40						16
				4	15		36		
	10/19	25		4		13	3		
	19	10				12	3		
		7	26		13	13			
			28			12	3		
			28		27/30				
	19/26		19/26/40		29			16/32	
							3		
	19		26		13/29	13		16	
	7/37	7			13	13			
	19	32				33	3		
			26					14	
	10	10			29			16	
		6			29			16	
		6	26		29			32	

Legende zur Fehleranalyse

	Mögliche Ausfallursachen von Gleitringdichtungen
1	Öffnen der Dichtflächen durch Behinderung der axialen Beweglichkeit des Gleitrings. Eine axiale Bewegungsmöglichkeit muss gegeben sein, um die axiale Ausdehnung durch Wärme und Druck ausgleichen zu können.
2	Kein Kontakt zwischen Gleit- und Dichtring durch Nichteinhaltung der korrekten Einbaulänge.
3	Überhitzung durch Trockenlaufen der Dichtflächen. Hohe Drehmomente, die auf Dichtflächen aus Hartmetall wirken, können zu einer erhöhten Wärmeentwicklung führen. Dadurch können die Elastomere aushärten.
4	Ein geschlossener Schieber auf der Druckseite führt zu einer unzulässigen Erwärmung (Schäden siehe Punkt 3).
5	Chemische Reaktion mit einem Oxidationsmittel, wie z.B. Salpetersäure.
6	Dichtung oder Hülse nicht ordnungsgemäß befestigt.
7	Zu hohe Druckbelastung durch Nichteinhaltung der korrekten Einbaulänge.
8	Aus dem Medium ausfallende Partikel, wie z.B. Natriumhydroxidkristalle, setzen sich auf den Gleitflächen ab.
9	Bildung klebriger Schichten im Dichtspalt durch Verdampfen flüchtiger Stoffe.
10	Beschädigung durch falsche Handhabung (oder durch zu hohe Druckbelastung).
11	Dichtungswerkstoff chemisch nicht für das Fördermedium geeignet.
12	Zersetzung des Elastomers (Dichtungswerkstoffs) durch zu hohe Temperaturen.
13	Die Dichtung wurde zu hohen Drücken/Temperaturen ausgesetzt.
14	Ständiges Entfernen der Passivschicht durch Relativbewegung.
15	Betriebsdruck liegt unterhalb oder in der Nähe des Dampfdrucks.
16	Lager möglicherweise verschlissen.
17	Fördermedium ist gesättigt mit Ablagerungen.
18	Feststoffpartikel mit Kalkablagerungen im Fördermedium.
19	Falscher Zusammenbau der Hauptkomponenten der Gleitringdichtung.
20	Viskosität für die eingesetzte Gleitringdichtung zu gering.
21	Wolframkarbid wurde durch Korrosion mattgrau oder grün.
22	Ablagerung von Metallen, wie z.B. Kupfer, auf den Dichtflächen durch elektrochemische Prozesse infolge einer nicht oder nur unzureichend geerdeten Pumpe.
23	Einige SiC-Werkstoffe können im Wasser mit einer Leitfähigkeit unter $5 \mu\text{S/m}$ korrodieren.
24	Bläschenbildung bei harz imprägnierter Kohle durch zu hohe Wärmeableitung.
25	Einsetzen von Elastomeren ohne vorheriges Reinigen der Oberflächen.
26	Falsch ausgerichteter Sitz der Gleitringdichtung.
27	Explosionsartiger Druckabfall durch schnelle Druckentlastung.
28	Erwärmung durch Falschausrichtung.
29	Ein-/Ausschalten der Pumpe bei zu hohen Betriebsdrücken insbesondere bei Dichtflächen aus Hartmetall.
30	Extrudieren des Gummiwerkstoffs bei hohen Drücken und/oder Temperaturen.
31	Aufquellende Imprägnierung kann zur Blasenbildung auf Dichtflächen aus imprägnierter Kohle führen.
32	Unerwünschte axiale Bewegung der Welle und der Gleitringdichtung.
33	Kavitation in der Dichtungskammer.
34	Verkleben der Dichtflächen aus harten Werkstoffen (SiC/SiC oder WC/WC).
35	Partieller Trockenlauf, wenn der Atmosphärendruck höher als der die GLRD umgebende Flüssigkeitsdruck ist.
36	Partieller Trockenlauf durch Luft/Luftblasen in unmittelbarer Nähe der Dichtflächen.
37	Falsche Handhabung/Fallenlassen der Pumpe oder Gleitringdichtung
38	Verformung des Dichtrings/Dichtungsgehäuses durch Druck oder andere Kräfte.
39	Korrosion unter einem (weichen) Dichtring, besonders wenn der (harte) Werkstoff zu erhöhter Korrosion neigt.
40	Falschausrichtung der Dichtringe.
41	Verschmutzung durch Haare oder Dreck.

Kapitel 6

Normen und Zulassungen



1. EN 12756 - Europäische Norm für Gleitringdichtungen
2. Zulassungen

In diesem Kapitel werden die Normen, Zulassungen und Richtlinien behandelt, die für in der Industrie eingesetzte Gleitringdichtungen gelten.

1. EN 12756 - Europäische Norm für Gleitringdichtungen

Abmessungen gemäß EN 12756

In der europäischen Norm EN 12756 sind die Hauptabmessungen für den Einbau von einfachen und doppelten Gleitringdichtungen in das Pumpengehäuse definiert. Weiterhin sind in dieser Norm die für Gleitringdichtungen zu verwendenden Bezeichnungen und Werkstoffcodes beschrieben. Dadurch wird der Austausch von Informationen zwischen den Herstellern und Anwendern von Gleitringdichtungen erleichtert.

Typenbezeichnung

Die Typenbezeichnung gemäß EN 12756 basiert auf dem folgenden Kodierungssystem für einfache Gleitringdichtungen:

Beispiel

N U 012 S O

Pos. 1:	Einbaulänge: N = Normal K = Kurz	N	U	012	S	O
Pos. 2:	Entlastung: U = Nicht entlastet B = Entlastet					
Pos. 3:	Nenndurchmesser der Welle: Der Durchmesser in mm wird durch eine dreistellige Ziffer ausgedrückt.					
Pos. 4:	Drehrichtung der Gleitringdichtung: R = Rechtsdrehende Welle (vom Dichtsitz aus gesehen im Uhrzeigersinn) L = Linksdrehende Welle (vom Dichtsitz aus gesehen gegen den Uhrzeigersinn) S = Beide Drehrichtungen möglich					
Pos. 5:	Verdrehsicherung für den Dichtsitz 0 = ohne Verdrehsicherung 1 = mit Verdrehsicherung					

Beispiel für die Bezeichnung einer Gleitringdichtung mit normaler Einbaulänge: **NU04350**.
Der Code beschreibt eine nicht entlastete Gleitringdichtung für eine Welle mit Ø43, die für beide Drehrichtungen geeignet ist und über keine Verdrehsicherung für den Dichtsitz verfügt.

Beispiel für eine vergleichbare Gleitringdichtung mit kurzer Einbaulänge: **KU04350**.

In der EN 12756 sind die Abmessungen für die Aufnahme des feststehenden Dichtsitzes und der empfohlene maximale Außendurchmesser für den rotierenden Teil angegeben.
Die meisten Hersteller von Gleitringdichtungen stellen der Typenbezeichnung gemäß EN 12756 einen herstellereigenen Typencode/Produktcode voran.
Zusätzlich zu den Abmessungen werden in der EN 12756 die für die Bauteile der Gleitringdichtung zu verwendenden Werkstoffe vorgegeben.

Werkstoffschlüssel gemäß EN 12756

Die für die Bauteile der Gleitringdichtung verwendeten Werkstoffe können mit Hilfe des Buchstabencodes identifiziert werden. Der Code für einfache Gleitringdichtungen besteht aus fünf Buchstaben. Im Folgenden werden nur einfache Gleitringdichtungen betrachtet.

Position im Werkstoffschlüssel	1	2	3	4	5
Werkstoff des Gleitrings					
Werkstoff des Gegenrings					
Werkstoff der Nebendichtungen					
Werkstoff der Feder					
Werkstoffe für andere Bauteile					

Beispiel: EN12756-NU04350-QQEGG

Der Code beschreibt eine nicht entlastete Gleitringdichtung für eine Welle mit Ø43, die für beide Drehrichtungen geeignet ist und über keine Verdrehsicherung für den Dichtsitz verfügt, mit

1. Gleitring aus SiC
2. Gegenring aus SiC
3. Nebendichtungen aus EPDM
4. Feder aus CrNiMo-Stahl
5. allen anderen Bauteilen aus CrNiMo-Stahl.

Viele Hersteller von Gleitringdichtungen verwenden für die Bezeichnung ihrer Gleitringdichtung die in der Norm vorgeschlagene Typenbezeichnung mit einigen Ergänzungen. Andere Hersteller verwenden aber auch ihre eigenen Codes.

Werkstoffschlüssel gemäß EN 12756, Ausgabe 2000

Position 1 und Position 2	Position 3	Position 4 und Position 5
Werkstoff für den Gleitring (1) und den Gegenring (2)	Werkstoff für die Nebendichtungen	Werkstoff für andere Bauteile der Gleitringdichtung
<p>Veredelte Kohle</p> <p>A Synthetische Kohle metallimpregniert</p> <p>B Synthetische Kohle, kunstharzimpregniert</p> <p>C Andere Kohlewerkstoffe</p> <p>Metalle</p> <p>D Unlegierter Stahl</p> <p>E Cr-Stahl</p> <p>F CrNi-Stahl</p> <p>G CrNiMo-Stahl</p> <p>H Metalle mit Karbidbeschichtung</p> <p>K Hartmetallbeschichtung</p> <p>M Legierung mit hohem Nickelanteil</p> <p>N Bronze</p> <p>P Grauguss</p> <p>R Graugusslegierung</p> <p>S Cr-Stahlguss</p> <p>T Andere Werkstoffe</p> <p>Hartmetalle</p> <p>U Wolframkarbid</p> <p>Q Siliziumkarbid</p> <p>J Andere Hartmetalle</p> <p>Metalloxide</p> <p>V Aluminiumoxid</p> <p>W Chromoxid</p> <p>X Andere Metalloxide</p> <p>Kunststoffe</p> <p>Y PTFE-verstärktes Fiberglas</p> <p>Z Andere Kunststoffe</p>	<p>Elastomere</p> <p>B Butylkautschuk (IIR)</p> <p>E Ethylenpropyl-Kautschuk (EPDM)</p> <p>K Perfluorkautschuk (FFKM)</p> <p>N Chloroprenkautschuk (CR)</p> <p>P Nitrilkautschuk (NBR)</p> <p>S Silikonkautschuk (MVQ)</p> <p>V Fluorkohlenstoff-Kautschuk (FKM)</p> <p>X Andere Elastomere</p> <p>Ummantelte Elastomere</p> <p>M PTFE-ummantelte Elastomere</p> <p>Keine Elastomere</p> <p>G Graphit</p> <p>T PTFE</p> <p>Y Andere Werkstoffe</p> <p>Verschiedene Werkstoffe</p> <p>U Verschiedene Werkstoffe für elastische Bauteile</p>	<p>D Unlegierter Stahl</p> <p>E Cr-Stahl</p> <p>F CrNi-Stahl</p> <p>G CrNiMo-Stahl</p> <p>M Legierung mit hohem Nickelanteil</p> <p>N Bronze</p> <p>T Andere Werkstoffe</p>

In den Dokumentationsunterlagen der verschiedenen Hersteller von Gleitringdichtungen sind zahlreiche Varianten der oben aufgeführten Werkstoffe zu finden. Dabei ist zu beachten, dass **für die unterschiedlichen Positionen** zum Teil der gleiche Buchstabe für jeweils andere Werkstoffe verwendet wird.

2. Zulassungen

In einigen Fällen werden spezielle Zulassungen für die Gleitringdichtungen gefordert, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen.

Trinkwasserzulassungen und örtliche Zulassungen mit weltweiter Bedeutung

Werkstoffe, die während der Gewinnung, Aufbereitung und Verteilung zu den Entnahmestellen in Berührung mit Trinkwasser kommen, können bestimmte Stoffe freisetzen, die auf diese Weise in das Trinkwasser gelangen. Dies hat negative Auswirkungen auf die Trinkwasserqualität und kann zu Gesundheitsrisiken für den Verbraucher führen.

Deshalb wird bei allen Zulassungsverfahren eine Untersuchung durchgeführt, ob die verwendeten Werkstoffe auch für Trinkwasseranwendungen geeignet sind. Dadurch soll eine unzulässige Verschlechterung der Trinkwasserqualität verhindert werden. Die Eignung der Werkstoffe kann mit Hilfe einer Ionenwanderungs-/Auswaschprüfung festgestellt werden. Die Überprüfung der Werkstoffe erfolgt entweder einzeln oder anhand des zusammengebauten Produkts.

In der nachfolgenden Tabelle sind einige wichtige nationale Organisationen aufgeführt, die für die Zulassung von Werkstoffen für die Verwendung in Trinkwasseranwendungen zuständig sind.

Land	Bezeichnung der Richtlinie	Rechtlicher Rahmen	Abnahmeorganisation/ Institut	Was wird geprüft bei der Auswasch-/Ionenwanderungsprüfung?	Mechanische Prüfung des kompletten Produkts?
Frankreich	ACS (Attestation de conformité sanitaire). Siehe [1]	Ministerieller Erlass vom 29. Mai 1997	Jedes der vier vom französischen Gesundheitsministerium autorisierten Prüflaboratorien darf ACS-Zertifikate ausstellen.	Jeder einzelne Werkstoff oder ein komplettes Produkt aus mehreren Werkstoffen kann ein ACS-Zertifikat besitzen.	Nein
Großbritannien	WRAS / DWI BS 6920. Siehe [2]	Wasserversorgungsrichtlinie 1999	Water Regulations Advisory Scheme/ Drinking Water Inspectorate	Alle nichtmetallischen, medienberührten Werkstoffe des Produktes müssen gemäß der britischen Norm 6920:2000 geprüft sein.	Ja
USA	NSF 61. Siehe [3]			Es können einzelne Werkstoffe oder das gesamte Produkt zugelassen werden.	Nein
Deutschland	DVGW UBA / KTW. Siehe [4]			Einzelne Werkstoffe/ Komponenten	Nein – zurzeit nicht für Pumpen vorgesehen

Weitere Informationen hierzu finden Sie in [1] bis [4].

Hygienezulassungen

Der Einsatz von Pumpen in Hygieneanwendungen und sterilen Prozessanwendungen, wie z.B. in Produktionsstätten der pharmazeutischen und biotechnischen Industrie sowie der Nahrungsmittelindustrie, erfordert strengere Konstruktionsstandards im Hinblick auf die Reinigungsfähigkeit und Desinfizierung als bei anderen Anwendungen.

Die Konstruktion, die verwendeten Werkstoffe und die Oberflächenbeschaffenheit der medienberührten Bauteile sind Gegenstand zahlreicher nationaler und internationaler Richtlinien, Vorschriften und Gesetze. Dazu gehören z.B. die

- Richtlinien der FDA (Food and Drug Administration)
- Empfehlungen und Abnahmen der EHEDG (European Hygienic Equipment Design Group)
- Richtlinien der 3A Sanitary Standards
- Anforderungen der QHD (Qualified Hygienic Design).

FDA



Die FDA (Food and Drug Administration) ist eine öffentliche, wissenschaftlich orientierte Behörde der Vereinigten Staaten, die der Gesundheitsbehörde unterstellt ist.

Die FDA ist für die Sicherheit der Nahrungsmittel, Kosmetikartikel, Arzneimittel, Bioprodukte sowie medizinischen Geräten verantwortlich. Sie ist eine der ältesten Verbraucherschutzorganisationen der Vereinigten Staaten.

Weitere Informationen finden Sie auf der Internetseite der FDA [5].

EHEDG



Die EHEDG (European Hygienic Engineering & Design Group) wurde 1989 gegründet. Zu den Mitgliedern der gemeinnützigen Organisation gehören Unternehmen der Nahrungsmittelindustrie, des Anlagen- und Maschinenbaus sowie Forschungsinstitute und Gesundheitsbehörden. Sie erarbeitet Richtlinien und Prüfverfahren für die hygienisch sichere Herstellung von Nahrungsmitteln, hat aber keine unmittelbare gesetzgebende Funktion.

Zwei der EHEDG-Richtlinien sind für die Beurteilung einer hygienegerechten Konstruktion und der Reinigungsfähigkeit von Prozessanlagen zur Nahrungsmittelherstellung von Bedeutung. Siehe [6] und [7]. Die Dokumente können unter <http://www.ehedg.org> heruntergeladen werden.

In der Richtlinie "Gestaltungskriterien für hygienegerechte Maschinen, Apparate und Komponenten" [6] werden die Konstruktionskriterien für eine hygienegerechte und keimfreie Gestaltung der Betriebsmittel, die für die Nahrungsmittelherstellung eingesetzt werden, definiert. Mit Hilfe dieser Richtlinie soll eine mikrobiologische Verunreinigung bereits konstruktionsseitig verhindert werden, so dass die Qualität der Nahrungsmittel nicht beeinträchtigt wird.

Die Richtlinie "Methode zur Bewertung der In-Place Reinigbarkeit von Anlagenbauteilen zur Lebensmittelherstellung" [7] beschreibt ein Prüfverfahren zur Erkennung von hygienebedenklichen Bereichen, wo sich Nahrungsmittelreste ansammeln und/oder Mikroben ansiedeln können. Der Grad der Reinigungsfähigkeit richtet sich danach, inwieweit eine bakterienverseuchte Schmutzschicht entfernt werden kann. Die Reinigung erfolgt dabei mit einem milden Reinigungsmittel, damit einige Verschmutzungen im Referenzrohr verbleiben. Dadurch wird ein Vergleich der Reinigungsfähigkeit zwischen dem Prüfobjekt und dem Referenzrohr mit bekannter Oberflächenrauigkeit erleichtert. Besitzt das Prüfobjekt eine gleich gute oder sogar bessere Reinigungsfähigkeit als das Referenzrohr, kann die EHEDG ein entsprechendes Zertifikat ausstellen.

Damit eine sichere Nahrungsmittelherstellung nicht auf Europa beschränkt bleibt, setzt sich die EHEDG aktiv für die weltweite Harmonisierung von Richtlinien und Normen ein.

Das EHEDG-Zeichen wird von Maschinenherstellern verwendet, um die Übereinstimmung mit den EHEDG-Anforderungen zu bestätigen.

Weitere Informationen finden Sie auf der Internetseite der EHEDG [8].



3-A Sanitary Standards

Die 3-A Sanitary Standards, Inc. ist die amerikanische Entsprechung zur europäischen EHEDG, die jedoch über kein eigenes Prüfverfahren verfügt. Deshalb bestätigt das 3-A-Zertifikat nur die Übereinstimmung mit den aufgestellten Konstruktionskriterien. Die amerikanischen Organisationen NSF und 3-A haben sich zu einer Zusammenarbeit bei der Ausarbeitung von EHEDG-Richtlinien verpflichtet. Im Gegenzug unterstützt die EHEDG die Ausarbeitung von 3-A- und NSF-Normen.

Das 3-A-Zeichen wird von Maschinenherstellern verwendet, um die Übereinstimmung mit den 3-A Sanitary Normen zu bestätigen.

Weitere Informationen finden Sie auf der Internetseite von 3-A Sanitary Standards [9].

QHD



QHD (Qualified Hygienic Design) ist ein Prüfverfahren zur Beurteilung der hygienegerechten Gestaltung und Reinigungsfähigkeit von Komponenten, Maschinen und Anlagen für den Einsatz in keimfreien Sterilanwendungen. Das Verfahren wurde von der VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.) entwickelt und dient dazu, dass die Hersteller selbst prüfen können, ob alle Oberflächen CIP-reinigungsfähig (CIP = Cleaning in Place) sind.

Der Hersteller bescheinigt, dass die im QHD-Handbuch aufgeführten Anforderungen bei der Konstruktion des Produkts berücksichtigt worden sind. In einem zweiten Schritt werden Prüfungen zur Reinigungsfähigkeit in einem Prüflabor vom Hersteller selbst oder von einer unabhängigen Prüfororganisation durchgeführt.

Das QHD-Zeichen wird von Maschinenherstellern verwendet, um die Übereinstimmung mit den QHD-Anforderungen zu bestätigen.

Weitere Informationen finden Sie auf der Internetseite des VDMA [10].

Weitere Richtlinien, die für die Verwendung von Gleitringdichtungen von Bedeutung sein können:



ATEX

ATEX ist die Abkürzung für den französischen Ausdruck "ATmosphère EXplosible" (explosionsfähige Atmosphäre). Unter dem Begriff ATEX sind eine Reihe von europäischen Richtlinien zusammengefasst, die für Betriebsmittel gelten, die zur Verwendung in explosionsgefährdeter Umgebung bestimmt sind.

Die ATEX-Zulassung wird erteilt, wenn die Anforderungen der beiden folgenden EU-Richtlinien erfüllt sind:

1. **Richtlinie 94/9/EG**, auch bekannt als ATEX 95 oder **ATEX-Geräterichtlinie**.
Die Richtlinie gilt für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen. Sie regelt den Verantwortungsbereich des Herstellers für diese Art von Produkten. Insbesondere hat der Hersteller dafür zu sorgen, dass die Bildung von explosionsfähiger Atmosphäre verhindert wird und keine Zündquellen vorhanden sind.
2. **Richtlinie 99/92/EG**, auch bekannt als ATEX 137 oder **ATEX-Arbeitsplatzrichtlinie**.
Die Richtlinie definiert die Mindestanforderungen zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes von Arbeitern, die einer Gefährdung durch eine explosionsfähige Atmosphäre ausgesetzt sind. Sie regelt den Verantwortungsbereich des Anlagenbetreibers und des Bedieners.

Wie bereits zuvor erwähnt, entsteht während des Pumpenbetriebs Wärme im Dichtspalt der Gleitringdichtung. Die ATEX-Richtlinie regelt, ob spezielle Schutzvorkehrungen erforderlich sind. Eine explosive Atmosphäre kann durch entzündliche Gase, Nebel, Dämpfe oder durch mit Luft vermischte Stäube entstehen. Bereiche mit einer explosionsfähigen Atmosphäre werden in Gefährdungszonen eingeteilt. Die Einteilung eines Bereiches in eine bestimmte Zone sowie deren Größe richtet sich nach der Wahrscheinlichkeit, dass eine explosionsfähige Atmosphäre auftritt und wie beständig die explosionsfähige Atmosphäre ist. Zudem werden die Betriebsmittel entsprechend des Schutzgrades in Kategorien eingeteilt.

Weitere Informationen finden Sie unter [11].



API 682 und ISO 21049

API (American Petroleum Industry) ist der einzige Wirtschaftsverband, der alle Belange der amerikanischen Erdöl- und Erdgasindustrie regelt. In den Normen API 682 und ISO 21049 werden die Anforderungen an Gleitringdichtungen und Dichtungssysteme für den Einsatz in der Öl- und Gasindustrie beschrieben

Weitere Informationen hierzu finden Sie in [12].

Zusammenfassung

Unterschiedliche Anwendungen erfordern entsprechend zugeschnittene Normen und Zulassungen. Die wichtigste Norm für Gleitringdichtungen ist die EN 12756. Zusätzlich können je nach Anwendung Zulassungen oder Richtlinien von Bedeutung sein, die für Trinkwasser, Nahrungsmittel, Reinigungsprozesse oder explosionsgefährdete Bereiche gelten.

Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.sante.gouv.fr>
- [2] <http://www.wras.co.uk>
- [3] <http://www.nsf.org>
- [4] <http://www.dvgw.de/104.html>
- [5] <http://www.fda.gov>
- [6] The Hygienic Equipment Design Criteria, Document Guideline No. 8 (2004)
- [7] A method for the assessment of in-place cleanability of food processing equipment, Document No. 2 (2000).
- [8] <http://www.ehedg.org>
- [9] <http://www.3-a.org>
- [10] www.vdma.org
- [11] www.ce-mark.com/atexdir.html
- [12] Overview of API 682 and ISO 21049, Proceedings of the Twenty-First International Pump Users Symposium, Turbomachinery Laboratory, Texas A&M University, College Station, Texas, pp. 131-137, 2004

A

Abgestufte Welle	10
Ablagerungen	13, 20, 36, 78, 79
Abmessungen	94
Abmessungen der Gleitringdichtung	86
Abplatzungen an Dichtringen	87
Abrasive Bestandteile	32, 56
Abrasive Bestandteile und Zusätze	43
Abrieb	73
Absetzen von Schwebstoffen	79
Acrylonitril-Butadien-Kautschuk	59
ACS	97
Äußerer Rotor mit Magnet	40
Aggressive Medien	41
Alarmmeldung	33
Allgemeines zu Schäden	76
Alterung der Elastomere	82
Aluminiumoxid	48
Amerikan. 3-A Sanitary Standards	99
Anlagenstörungen	86
Anlaufmoment	80
Anpresskraft	13
Antimonium	47
Anwend. mit einf. Zufluss der Sperrfl.	34
API 682	100
ATEX	100
ATEX-Geräterichtlinie	100
ATEX-Arbeitsplatzrichtlinie	100
Atmosphäre	10
Atmosphärendruck	14, 20
Aufquellen von Elastomeren	81
Aufnahme von Lösungsmitteln	81
Auseinanderlaufender Dichtspalt	19, 71
Ausfällung	30, 78, 79
Ausfällung von Feststoffen	20
Ausfallursachen von Pumpen	76
Auskristallisierung	36
Außen angeordnete Dichtung	41
Außenfläche	13
Austausch der Flüssigkeit	41
Auswählen einer Gleitringdichtung	42
Automatisches Entlüftungsventil	39
Axiale Beweglichkeit	13, 27, 76, 78, 83, 85
Axiale Oberflächen	10
Axiale Verschiebung der Welle	84
Axialkraft	15

B

Back-to-Back-Dichtungsanordnung	34
Bakterienverseuchte Schmutzschicht	99
Barriere	8
Bauteile der Gleitringdichtung	95
Behälter mit Sperrflüssigkeit	37
Belastungsverhältnis	15, 16
Beschädigung der Oberfläche	77
Betriebsbedingungen	42, 76
Betriebsparameter	66, 86
Betriebsverh. bei glykolhalt. Wasser	56
Betriebsverh. bei Wasser mit abr. BT	56
Betriebsverhalten bei Heißwasser	55
Betriebsverhalten bei reinem Wasser	57
Bezeichnung der Gleitringdichtung	94
Binderphase aus Kobalt	83
Blei	47
Blockade	79
Blockade durch Ablagerungen	79
Blockieren	78
Blockieren der Gleitringdichtung	27, 76
Breite der Gleitfläche, b	18

C

Centistoke	42
Chemische Adhäsion bei Oberflächen	59
Chemische Beständigkeit	42
Chem. Beständigkeit von Elastomeren	60
Chemische Verbindungen	59
CIP (Cleaning-in-Place)	38, 99
Cleaning-in-Place	38

D

Dampf	71
Dampfdruck	20, 21
Dead-End-System	37
Diamantähnliche Kohle (DLC)	50
Diamantbeschichtungen	50
Dichtflächen	10
Dichtspalt	10, 12, 14, 56, 57
Dichtungskammer	31
Dichtungssitz	41
Dichtungssystem	39
Dichtungssysteme	31
Dichtungstechnologie	22
Dichtzone	69
Differenzdruck, Δp	18

Direkt gesintertes SiC	49	Elastizität	81
Doppelte Gleitringdichtung Typ O	32	Elastizität der Gleitringdichtung	85
Doppelte Gleitringdichtung Typ P	36	Elastomermembran	35
Doppelte GLRD in Tandemanordnung	31, 36	Elastomerteile	11, 38, 42, 80
Doppeltwirkende Dichtungssysteme	31	Elektropoliert	38
Dosierpumpe	34	EN 12756	47, 94
Drehmomentübertragung	11, 27, 61	Entlastete Gleitringdichtung	15
Drehmomentübertragungsring	12	Entlastete O-Ringdicht. in Patronenbeh.	29
Drehrichtung	94	Entlastete O-Ring-Gleitringdichtung	28
Drehrichtung gegen Uhrzeigersinn	28	Entlastete Patronendicht. mit Metallbalg	29
Drehzahl	86	Entlastung	94
Drehzahl der Welle	42	Entmineralisiertes Wasser	58
Dreikörper-Abrieb	73	EPDM	60, 81
Druck der Sperrflüssigkeit	32	Erhöht angeord. Sperrflüssigkeitsbeh.	37
Druck des Fördermediums	33	Erosion	73
Druck im Bereich der Gleitringdicht.	42	Erste Grundfos Gleitringdichtung	22
Druck in der Dichtungskammer	86	Explosionsfähige Atmosphäre	100
Druck-Temperatur-Diagramm	55	Explosionsgefährdete Flüssigkeiten	32
Druckbehälter	33	Ext. Spülflüssigkeitsversorgungssyst.	37
Druckdifferenz	13	Extrudieren	86
Drucklos	36	Extrudierte O-Ringe	86
Druckluftversorgung	33		
Druckprofil	67	F	
Druckquellen	33	Falschachsrichtung	39
Druckschalter	34	Falschachsrichtung der Welle	84
Druckverstärker	35	Faltenbälge	11
Druckverteilung	14	Faltenbalg-Gleitringdichtung	12
Durchgehende Welle	8	FDA	43, 98
Durchmesser der Gleitringdichtung	42	Feder	11, 12, 95
DVGW	97	Federkraft	13, 15
Dynamisch belasteter O-Ring	76	Federn und Faltenbälge	61
Dynamische Nebendichtung	27	Fehlende Entlüftung	87
Dynamische Viskosität	18, 42	Fehleranalyse	76
		Fehlfunktion	80
E		FFKM	60
Ebene Fläche	10	Feinschliff	70
Einbaulänge	85, 94	Fester Schmierstoff	54, 59
EHEDG	98, 99	Feststeh. Nebendicht. aus Elastomer	12, 13
Einätzung	71	Feststehender O-Ring	11
Einbau	85	Feststehender Teil	8, 9, 12, 13
Einbaufehler	84	FKM	60, 78
Eingebettetes Graphit	49	Flüchtige Stoffe	59
Einlaufen der Welle	13	Flüssigkeitsgeschmiert	12
Einlaufphase	70	Fluorinierter Mischkautschuk	60
Einlaufphase zum Einschleifen	53	Fluorkarbon-Monomer -Kautschuk	60
Einwirkdauer	81	Förderdruck	14
Elastische Verformung	13	Fördermedien mit geringer Viskosität	68

Fördermedium	13, 30, 42, 78, 86	Gummifaltenbalg-Gleitringdichtung	23, 27
Freies Gleiten	78	H	
Fressen	39	Härte	81
Frostschutzmittel	28, 29	Harte Ablagerungen	20
Führungselemente	61	Harte Ausfällungen	84
Füllstand	33	Harte Partikel	80
Funktionsprinzip	12	Hermetische Abdichtung	40
FXM	60	HNBR	59
G		Hochdruckenwendungen	28
Gefährdungszonen	100	Hochviskose Medien	28, 29
Geflochtene Stopfbuchspackung	9, 22	Höhe des Dichtspalts, h	18
Gegenring	10, 12, 13, 20, 95	Hydraulisch beaufschlagte Fläche	15, 16
Geläppte Oberfläche	70	Hydrodynamisch	65
Geräusche	78	Hydrodynamische Aussparungen	68, 74
Geschliffene Oberfläche	70	Hydrodynamischer Druck	14, 19, 66
Geschwindigkeitsverteilung	67	Hydrodynamischer Keil	68
Giftige Flüssigkeit	32	Hydrodynamischer Schmierfilm	15
Glänzende Oberfläche	70	Hydrodynamische Schmierung	66
Gleichgewichtszustand	59	Hydrostatisch	65
Gleitfläche	15, 16, 84	Hydrostatische Schmierung	71
Gleitring	10, 12, 20, 41, 95	Hydrostatischer Druck	14, 19
Gleitringdichtung	9	Hygiene	38
Gleitringdichtung für Kraftfahrzeuge	22	Hygiene- und Sterilanwendungen	98
GLRD für hohe Drehzahlen	39	Hygieneanwendungen	38
GLRD für Hygieneanwendungen	38	Hygienegerechte Konstruktion	98
GLRD mit Metallfaltenbalg	78	Hygienezulassungen	98
Glyzerin	33	Hypochlorit	48
Grenzschmierung	65	I	
Größe der Verschleißspuren	84	Imprägniertes Kohlegraphit	47
Grundfos BME-Druckmodul	39	Inhibitoren	57
Grundfos CH/CHI-Pumpe	22	Innere Reibung	66
Grundfos CP-Pumpe	22	Innerer Rotor mit Magnet	40
Grundfos CR-Pumpe	22, 33	Innerer Überdruck	41
Grundfos GLRD in Patronenbauweise	23	Integrierte Umwälzung	31
Grundfos Pumpenmagazin	22	Ionen	59
Grundfos Gleitringdichtung Typ A	16, 27	ISO 21049	100
Grundfos Gleitringdichtung Typ B	27	K	
Grundfos Gleitringdichtung Typ C	28	k = Belastungsverhältnis	15, 16
Grundfos Gleitringdichtung Typ D	28	Kaltverschweißung	72
Grundfos Gleitringdichtung Typ G	28	Kautschuk	59
Grundfos Gleitringdichtung Typ K	29	Kautschukart	81
Grundfos Gleitringdichtung Typ O	30	Kegelförmig verformte Dichtflächen	19
Grundfos Gleitringdichtung Typ P	30	Keilabstand	67
Grundfos Gleitringdichtung Typ R	29	Kein Fördestrom	87
Grundfos GLRD Typ H	16, 21, 29		
Gummifaltenbalg	12		

Klebrige Ablagerungen	20	Mediendruck	20
Klebrige Medien	32	Metalteile der Gleitringdichtung	83
Klebrige Stoffe	80	Membrandruckbehälter	34
Kochplatte	21	Metallfaltenbalg aus gewalztem Blech	29
Kohlegraphit	47	Mischschmierung	65
Kohlegraphit mit Harzfällung	47	Mittlerer Radius, R_m	18
Kolbenpumpe	22	Modifizierte Nebendichtungen	38
Kondensatdampf	38	Mögliche Ausfallursachen von GLRD	92
Konstanter Überdruck	33, 34		
Kontaktfläche	8	N	
Kontaktpunkte	65	Natürliche Konvektion	33, 37
Konzentrische Ausbrüche	82	Nebendichtungen	11, 59, 95
Korrosion	80	Nenndurchmesser der Welle	94
Korrosion von Wolframkarbid	82	Newton'sche Flüssigkeiten	67
Korrosive Medien	41	Nicht entlastete Gleitringdichtung	15
Kühlflüssigkeit	31	Nicht entlastete O-Ring-GLRD	27, 28
Kurze Einbaulänge	95	Nicht parallele Dichtflächen	19
		Niveauanzeige	33
L		Niveauschalter für hohen Füllstand	33
Läppen	68	Niveauschalter für niedrigen Füllstand	33
Lagerungsbedingte Alterung	82	Normale Einbaulänge	95
Laminar	66	Normaler Verschleiß von WC	83
Laserbearbeitung	71	Normen	94
Lebensdauer	80	Normen und Vorschriften	38
Leckage	10, 17, 30, 40	NSF 61	97
Leckrate	18, 57, 68, 70, 80		
Leitfähigkeit	58	O	
Leitungen, Stopfen und Halterungen	61	O-Ring-Gleitringdichtungen	78
Lippendichtung	9	Oberer Temperaturgrenzwert	87
Löslichkeit	81	Oberflächenbeschaffenheit	65, 70, 98
Lückenhafter Schmierfilm	20	Oberflächenrauigkeit	17, 38, 83
Luftalterung	82	Öffnen des Dichtspalts	79
Luftgekühlte Dichtungskammer	39	Öffnungskraft	13, 14
Luftkühlung	39	Oxide	83
		Oxidschicht	59
M			
Magnetantrieb	40	P	
Mangelhafte Schmierung	77, 87	Parallele Dichtflächen	19
Manometer	33, 34	Parallele Flächen	67, 71
Materialanteilskurve	69	Partikel und Ablagerungen	80
Mechanische Eigenschaften	81	Patronenbauweise	23
Mechanische Schwingungen	87	Patronengehäuse	29
Mechanische Spannungen	79	Perfluorkautschuk	60
Medien mit hoher Temperatur	39	Physikalische Adhäsion	58
Medien mit langfaserig. Bestandteilen	28	Planheit der Dichtflächen	17, 18
Medienbeaufschlagte Seite	84	Prüfverfahren	99
Medienberührte Bauteile	38	PTFE-Faltenbalg	41

Pumpendrehzahl	17	Schmierung	30, 65
Pumpengehäuse	10, 12, 13	Schmierverhalten	65
Punktförmige Korrosion	73, 83	Schubkraft	58
Q		Schubspannung	67
QHD	98, 99	Schwebstoffe und Fasern	79
R		Schwingungen	17, 87
Rauigkeit	69	Sicherheitsrückschlagventil	35
Rauigkeit der Dichtflächen	18	Sicherheitsventil	33
Rauigkeitsspitzen	73	Siedepunkt	42
Rechtwinklig	84	Silikonkautschuk	60
Reduzierte Dichtflächen	28, 29	Siliziumkarbid	23, 49
Reibeigenschaft	55	SIP (Sterilisation-in-Place)	38
Reibender O-Ring auf Wellenoberfl.	85	Spalt	41
Reibung	8	Spaltbreite	18
Reibungskräfte	86	Spaltrohr	40
Reibungswärme	21, 72, 73, 77	Sperrflüssigkeit	30, 32
Reibwert	21, 47	Sperrflüssigkeitsbeaufschlagte Seite	36
Reinigungsfähigk. und Beständigkeit	38	Spülflüssigkeit	30, 36, 37
Reinigungsprozesse	38	Stabile Reibung	55, 74
Relativbewegung	68	Stabiler Schmierfilm	39
Relativer Materialanteil	69	Standard-Gleitringdichtung	39
Reparaturkosten bei Pumpen	76	Statisch belastete Elastomerteile	29
Reynolds-Gleichung	67	Statisch belastete O-Ringe	40
Richtlinie 94/9/EG	100	Sterile Prozessanwendungen	98
Richtlinie 99/92/EG	100	Stillstand	13
Rotierender O-Ring	11	Stopfbuchse	9
Rotierender Teil	8, 9, 12, 13	Stribeck-Kurve	65
Rotierender Teil als Dichtungssitz	39, 42	Strukturieren der Oberfläche	71
Rücken an Rücken	31, 32	Suspensionen	79
Rückschlagventil	35	Systemdruck	14
S		T	
Sanitary Standards 3A	98, 99	Tangentiale Verschiebung	72
Schadensbericht	76	Temperatur	17, 42, 86
Schäden an Gleitringdichtungen	76	Temperatur im Bereich der GLRD	86
Schäden durch Temperatureinwirkung	72	Temperaturerhöhung	86, 87
Schäden durch Verunreinigungen	78	Temperaturschockfestigkeit	48
Scherung	67	Temperaturvorgaben	87
Scherwiderstand	66, 67	Thermische Ermüdung	73
Schlagartiger Druckabfall	82	Thermische Verformung	68, 69
Schleifmittel	80	Thermoelemente	56
Schließkraft	13, 15, 57, 79	Thermometer	33
Schmalere Dichtfläche	28, 29, 57	Tiefe Riefen	84
Schmierfilm	12, 13, 14, 20, 68	Trägerstruktur	81
Schmierflüssigkeit	31, 32	Tribologie	64
		Trinkwasserzulassungen	47, 97
		Trockenlauf	56, 72, 76, 77

Trockenlaufgefahr	87	Werkstoffcode	94, 95
Typenbezeichnung	94	Werkstoffcode A	47
Typencode/Produktcode	95	Werkstoffcode B	47
U		Werkstoffcode E	60
Überdruck	33	Werkstoffcode K	60
Überwachung des Leckagestroms	37	Werkstoffcode P	59
Umgebungsseite	84	Werkstoffcode Q	49
Umlaufsystem mit Behälter	37	Werkstoffcode S	60
Umwälzung	31, 37	Werkstoffcode U	48
Ungiftig	33	Werkstoffcode V	48, 60
Unterwassermotor	41	Werkstoffe	46
Unzulässiger Anpressdruck	85	Werkstoffe der Dichtflächen	46
Unzulässiger Überdruck	41	Werkstoffe für Bauteile	95
V		Werkstoffpaar. Kohlegraphit/Alumina	52
Verdampfung	17, 20, 36, 71, 73, 74	Werkstoffpaarung Kohlegraphit/SiC	52
Verdampfungspunkt	20	Werkstoffpaarung Kohlegraphit/WC	51
Verdampfungszone	69	Werkstoffpaarung SiC/SiC	54
Verdrehsicherung	94	Werkstoffpaarung WC/WC	53
Verkantete Dichtung	85	Werkstoffpaarungen der Dichtflächen	51
Verkleben	80	Werkstoffprüfungen und allg. Prüf.	55
Verkleben der Dichtflächen	57, 58	Wolframkarbid (WC)	23, 48
Verkohlen der Elastomerbauteile	77	WRAS	97
Vernetzung	81	Z	
Versatz	84	Zersetzung	80
Verschleiß	15, 72	Zersetzung und mechan. Verschleiß	80
Verschleiß am dynam. belast. O-Ring	84	Zinn	47
Verschleiß der Oberfläche	13	Zugfestigkeit	81
Verschleiß durch Abrieb	72, 73, 74	Zulassungen	94, 97
Verschleiß durch Ermüdung	72, 74	Zusammenbau	85
Verschleiß durch Korrosion	72, 73	Zusammenlaufender Dichtspalt	19, 71
Verschleiß durch Verkleben	72	Zweikörper-Abrieb	73
Verschleißrate	55		
Verschleißspuren	20, 84, 87		
Verschlossene Lager	87		
Verschmutzte Medien	28		
Verschmutzung	13, 37		
Verunreinigungen	80		
Viskosität	17, 42, 66		
Vollständiger Schmierfilm	14, 65		
W			
Wärmerisse	77		
Welle	12		
Wellenduchmesser	17		
Welligkeit	68, 74		

GRUNDFOS GmbH
Schlüterstr. 33
D-40699 Erkrath
Tel: +49 211 929 690
www.grundfos.de

GRUNDFOS Pumpen AG
Burggacherstrasse 10
CH-8117 Fällanden
Tel: +41 21 653 49 36
www.grundfos.ch

GRUNDFOS Pumpen Vertriebs Ges.m.b.H
Grundfosstraße 2
A-5082 Grödig
Tel: +43 6246 883 0
www.grundfos.at

GRUNDFOS 