



Einbauraum

Welle

Die Welle ist, neben dem Radial-Wellendichtring, ein wesentliches Maschinenelement im Rotations-Dichtsystem und muss daher eine Reihe von technischen Anforderungen erfüllen, um eine gute Dichtwirkung zu gewährleisten.

Die korrekte Ausführung der Welle im Laufflächenbereich der Dichtkante des Radial-Wellendichtrings ist sehr wichtig für die Lebensdauer und die Dichtfunktion des Rotations-Dichtsystems.

Toleranzen

Für den Wellendurchmesser d_1 im Laufflächenbereich der Dichtkante des Radial-Wellendichtrings ist das ISO-Toleranzfeld h_{11} nach DIN ISO 286 vorzusehen, um die für die Dichtlippe notwendige Überdeckung zu erreichen. Für die Rundheit der Welle ist die Toleranzklasse IT 8 notwendig.

Oberflächengüte der Welle

Die Welle ist im Laufflächenbereich kreisrund zu bearbeiten.

Die Oberflächenrauigkeit, gemessen in Längsrichtung, soll in den folgenden Bereichen liegen:

$$R_a = 0,2 \text{ bis } 0,8 \mu\text{m}$$

$$R_z = 1,0 \text{ bis } 4,0 \mu\text{m}$$

$$R_{\text{max}} \leq 6,3 \mu\text{m}$$

Zu glatte Wellenoberflächen ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$) in Verbindung mit hohen Umfangsgeschwindigkeiten führen zu Funktionsstörungen. Die Schmiermittelzufuhr zur Dichtkante wird gestört, der hydrodynamische Schmierfilm unter der Dichtkante reißt ab und thermische Schädigungen an der Dichtkante sind die Folge.

Zu raue Wellenoberflächen führen zu schnellem frühzeitigem Verschleiß der Dichtkante. Aus beiden Arten resultiert eine starke Leckage.

Treten an der rotierenden Welle zusätzliche axiale Bewegungen auf, so sollte man folgende Rautiefen einhalten, um eine gute Dichtfunktion zu gewährleisten:

$$R_a \leq 0,2 \mu\text{m}$$

$$R_z \leq 0,8 \mu\text{m}$$

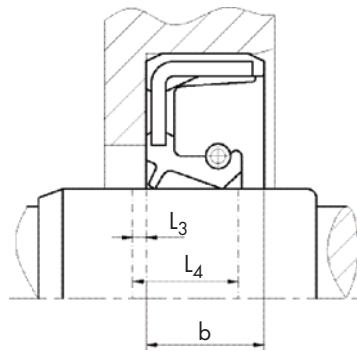
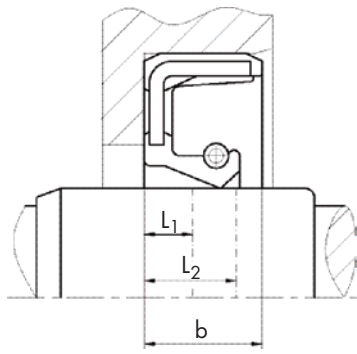
Oberflächenhärte der Welle

Die Lebensdauer der Dichtstelle ist auch von der Laufflächenhärte auf der Welle abhängig. Die Oberflächenhärte sollte mindestens 45 HRC betragen.

Bei Zutritt von verschmutzten Medien oder Schmutz von außen, sowie bei Umfangsgeschwindigkeiten $\geq 4 \text{ m/s}$ sollte die Oberflächenhärte mindestens 55 HRC – 60 HRC betragen.

Bei Oberflächenhärtungen ist eine Einhärtdiefe von mindestens 0,3 mm erforderlich.

Verchromte, kadmierte, nitrierte, und phosphatierte Wellenoberflächen sind Sonderbehandlungsverfahren. Über Ihre Eignung muss von Fall zu Fall entschieden werden. Nach dem Nitrieren ist die Grauschicht zu glätten. Bei verchromten Wellenoberflächen ist durch nachträgliches Einstichschleifen die Schmierfilmbildung sicherzustellen.



Laufflächenbereich

Die zuvor genannten Werte für die Oberflächengüte und die Oberflächenhärte sind innerhalb des in unten stehender Tabelle spezifizierten Laufflächenbereichs einzuhalten. Der Laufflächenbereich ist in Abhängigkeit von der Dichtungsbreite b spezifiziert.

b	L_1 m in.	L_2 m in.	L_3 m in.	L_4 m in.
7	3,5	6,1	1,5	7,6
8	3,5	6,8	1,5	8,3
10	4,5	8,5	2	10,5
12	5	10	2	12
15	6	12	3	15
20	9	16,5	3	19,5

Bearbeitung der Wellenoberfläche

Die Welle ist im Laufflächenbereich der Dichtkante drallfrei und kreisrund zu bearbeiten, damit an der Abdichtstelle keine Förder- bzw. Pumpwirkung und dadurch Leckage auftritt. Die korrekte Bearbeitung der Lauffläche ist sehr wichtig für die Dichtfunktion.

Folgende Bearbeitungsverfahren werden eingesetzt:

Einstichschleifen

Am Häufigsten wird das Einstichschleifen eingesetzt (Schleifen ohne axialen Vorschub der Schleifscheibe), da hiermit eine völlig drallfreie Gegenlauffläche erzielt wird. Um ein hohes Maß an Sicherheit zu erlangen, muss die Ausfeuerungszeit 30 Sekunden betragen. Die Schleifscheibe wird mit einem Vielkornabrichter abgezogen, damit nicht doch ein Drall entsteht. Beim Schleifen ist ein ganzzahliges Übersetzungsverhältnis zwischen Drehzahl der Welle (z.B. 50 1/min) und Drehzahl der Schleifscheibe (z.B. 1500 1/min) zu vermeiden.

Hartdrehen

Beim Hartdrehen müssen spezielle Prozessparameter wie z.B. Vorschub, Schnittgeschwindigkeit, Schnitttiefe, Schneidstoff eingehalten werden, um eine verwendbare Gegenlauffläche zu erzeugen. Grund für die Wahl dieses Bearbeitungsverfahrens ist seine hohe Wirtschaftlichkeit. Weitere Vorteile sind:

- Komplettbearbeitung in einer Aufspannung
- kurze Rüstzeiten
- weniger Produktionsschritte
- keine Entsorgung von Schleifschlamm
- exakt definierte Oberflächenstruktur der Welle

Gedrehte Wellen weisen in eine Richtung eine nicht unerhebliche Förderwirkung auf, d.h. aufgrund der Orientie-

rung der Bearbeitungsspuren (Drall) wird das Öl, wie bei einem Mikroschraubengewinde, in eine Richtung gefördert. Die Förderrichtung ist abhängig von der Drehrichtung der Welle. Von entscheidender Bedeutung bei der Auswahl des Radial-Wellendichtungs ist, dass die Welle bei wechselnder Drehrichtung auch entgegen der Abdichtrichtung fördern kann. Deswegen sollte entweder Hartdrehen für Wellen mit nur einer Drehrichtung (Förderrichtung der Welle in Richtung Ölraum) eingesetzt werden oder es sollte ein Radial-Wellendichtungs ausgewählt werden, der in der Lage ist, den von der hartgedrehten Welle erzeugten Förderstrom in den Ölraum zurück zu fördern.

Das Reibmomentverhalten von Radial-Wellendichtungen auf hartgedrehten Wellen ist mit dem von geschliffenen Wellen vergleichbar.

Dichtomatik fährt Testläufe mit Radial-Wellendichtungs-Bauformen an einem renommierten wissenschaftlichen Institut. Um die größtmögliche Funktionssicherheit zu gewährleisten, sollte die Dichtungsauswahl unbedingt durch Testläufe verifiziert werden. Für weitere Informationen, wie z.B. Prozessparameter oder Testläufe, steht die Entwicklungsabteilung von Dichtomatik zur Verfügung.

Glattwalzen

Tiefgezogene Bleche

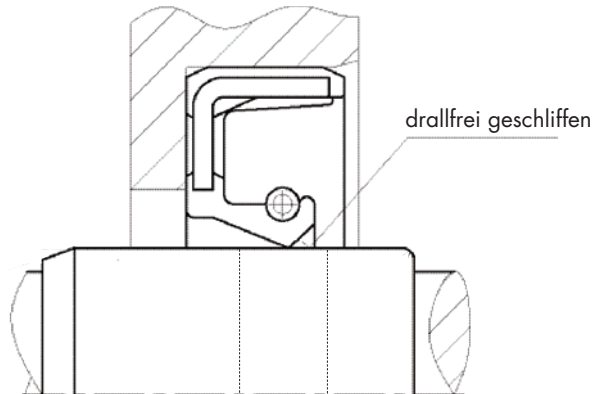
Weitere Verfahren sind Läppen, Honen, Schmirgeln, Reiben und Strahlen. Diese Verfahren können nur bedingt korrekte Gegenlaufflächen für einen Radial-Wellendichtungs erzeugen. Man sollte so gefertigte Gegenlaufflächen auf alle Fälle mit einer ausreichenden Anzahl von Prüfläufen absichern.

Drallfreiheit der Wellenoberfläche

Der Laufflächenbereich der Welle sollte unbedingt drallfrei gefertigt worden sein, damit an der Abdichtstelle keine Förder- bzw. Pumpwirkung eintritt und dadurch den Funktionsmechanismus des Radial-Wellendichtrings stört und Leckage bewirkt. Drallfrei bedeutet, dass die Bearbeitungsspuren keine Orientierung aufweisen, wie z.B. ein Mikroschraubengewinde mit Steigung.



Drallmeßgerät für Wellenoberflächen „Faden-Methode“



Wellen und Wellenschutzhülsen können mit der Faden-Methode auf Drallfreiheit geprüft werden. Dabei müssen verschiedene Parameter wie z.B. Fadenumschlagungswinkel, Drehzahl und Gewicht eingehalten werden, um ein verlässliches Ergebnis zu erzielen. Der Testfaden gleitet auf der benetzten, drallfreien Lauffläche ohne axiale Spuränderung. Bei vorhandenem Drall bewegt sich der Testfaden in Abhängigkeit von der Drehrichtung axial nach links oder rechts.

Werkstoffe der Welle

Als Wellenwerkstoffe geeignet sind die üblichen Vergütungsstähle, wenn die Werte für die Oberflächenhärte eingehalten werden.

Korrosionsbildung im Laufflächenbereich des Radial-Wellendichtrings ist zu vermeiden. Deswegen sind zur Abdichtung von Wasser oder wässrigen Medien Wellen aus härtbarem, hochlegiertem, nichtrostendem Stahl zu verwenden. Bei niedrigen Umfangsgeschwindigkeiten und untergeordneten Anwendungen kann man auch NE-Metalle verwenden.

Auch Eisen-Gusswerkstoffe sind teilweise als Wellenwerkstoff geeignet, wenn Lunkenfreiheit und eine Porengröße $< 0,05$ mm gewährleistet ist.

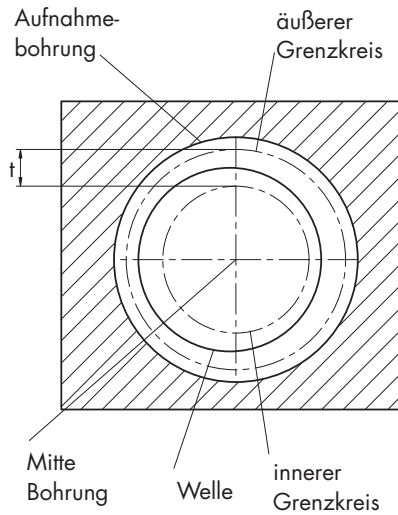
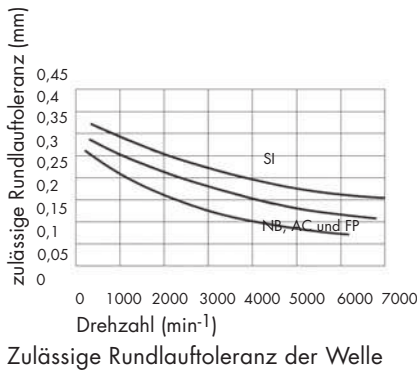
Aufgebrachte Keramikschichten können in Sonderfällen als Wellenwerkstoff verwendet werden, wenn die Oberfläche versiegelt und eine Porengröße von $< 0,05$ mm gewährleistet ist. Außerdem muss die geforderte Oberflächengüte eingehalten und eine gute Haftung auf dem Wellen-Grundwerkstoff gesichert sein.

Hartverchromte Wellen sind, wegen der schlechten Schmierfilmbildung und des ungleichmäßigen Verschleißes, nur bedingt geeignet. Die Schmierfilmbildung kann durch nachträgliches Einstichschleifen verbessert werden.

Auch Kunststoffwellen sind nur bedingt geeignet. Da Kunststoffe eine sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit haben, ist der Wärmeabtransport über die Welle gestört und es kommt zu einer großen Temperaturerhöhung an der Dichtkante. Ab bestimmten Drehzahlen kann es zur Erweichung bzw. zum Schmelzen des Kunststoffs kommen.

Für alle Oberflächenwerkstoffe der Welle gilt: die geforderten Werte für Oberflächengüte und Härte müssen eingehalten werden.

Kann die Welle, aus wirtschaftlichen, konstruktiven oder fertigungstechnischen Gründen, nicht mit den geforderten Laufflächeneigenschaften ausgestattet werden, so können entsprechende Wellenschutzhülsen verwendet werden. Dichtomatik bietet Wellenschutzhülsen in allen Abmessungen und verschiedenen Werkstoffen an und die Entwicklungsabteilung legt diese auch konstruktiv aus.



Darstellung der Rundlaufabweichung

Rundlaufabweichung

Eine Rundlaufabweichung (Schlag) oder dynamische Exzentrizität der Welle soll in kleinen Grenzen gehalten werden. Bei hohen Drehzahlen besteht sonst die Gefahr, dass die Dichtlippe infolge ihrer Trägheit, der Welle nicht mehr folgen kann. Wird dadurch einseitig ein zu großer Spalt zwischen Dichtkante und Welle erzeugt, so tritt das abzudichtende Medium aus und es entsteht Leckage. Es ist deshalb zweckmäßig, den Radial-Wellendichtring in unmittelbarer Nähe des Lagers anzuordnen und das Lagerpiel so klein wie möglich zu halten. Die zulässigen Werte für die Rundlaufabweichung in Abhängigkeit der Drehzahl sind links im Bild dargestellt.

Für unsere druckbeaufschlagbare Bauform WAY/WASY gelten eingeschränkte Werte, da die Dichtlippe hier wesentlich steifer ausgeführt ist.

Montageschräge

d_1	d_3
< 10	$d_1 - 1,5$
$10 < 20$	$d_1 - 2$
$20 < 30$	$d_1 - 2,5$
$30 < 40$	$d_1 - 3$
$40 < 50$	$d_1 - 3,5$
$50 < 70$	$d_1 - 4$
$70 < 95$	$d_1 - 4,5$
$95 < 130$	$d_1 - 5,5$
$130 < 240$	$d_1 - 7$
$240 < 500$	$d_1 - 11$

Fase an der Welle

Um die Dichtlippe beim Einbau nicht zu beschädigen und um das Abkippen der Dichtlippe zu vermeiden, werden die beiden folgenden konstruktiven Ausführungen der Wellenschulter vorgeschlagen:

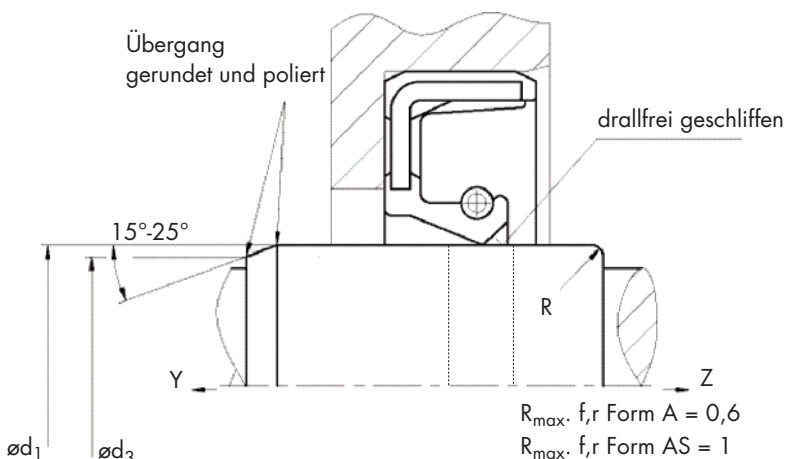
Einbaurichtung Z der Welle

Ab abrunden der Wellenschulter mit $r = 0,6$ bis 1 mm.

Einbaurichtung Y der Welle

Anschrägen der Wellenschulter, empfohlener Winkel 15° bis 25° .

Der Anschlagdurchmesser d_3 ist in nebenstehender Tabelle aufgeführt.



Beschädigungen der Welle

Alle Arten von Beschädigungen wie z.B. Riefen, Kratzer, Stoßstellen, Lunken, Poren, Korrosion auf der Lauffläche der Welle sollten unbedingt vermieden werden. Sie führen zum frühzeitigen Ausfall und zur Leckage. 30 % dieser Ausfälle haben ihre Ursache in falscher Wellenbearbeitung oder -beschädigung. Deshalb sollte man die Wellen von der Produktion bis zur endgültigen Montage sorgfältig schützen. Es können Transportvorrichtungen oder spezielle aufgeschobene Schutzhüllen aus Kunststoff verwendet werden.

Gehäusebohrung

Die konstruktive Gestaltung der Gehäusebohrung ist wichtig, weil in ihr die statische Abdichtung (zweiter Leckageweg) durch den Radial-Wellendichtring-Außenmantel erfolgt. Um einen festen und dichten Sitz in der Gehäusebohrung zu erreichen, sind die folgenden technischen Anforderungen unbedingt einzuhalten:

Toleranzen

Für den Bohrungsdurchmesser d_2 ist das ISO-Toleranzfeld H8 nach DIN ISO 286 vorzusehen, um im Zusammenspiel mit der Presssitzzugabe am Außenmantel der Radial-Wellendichtringe eine gute statische Dichtwirkung zu erzielen.

Gehäusemaße

Die axialen Gehäusemaße und die dazugehörigen Eckenradien sind in der Tabelle in Abhängigkeit der Radial-Wellendichtring-Höhe b angegeben:

b	t_1 min.	t_2 min.	R_1
7	5,95	7,3	
8	6,8	8,3	0,5
10	8,5	10,3	
12	10,3	12,3	
15	12,75	15,3	0,7
20	17	20,3	

Fase an der Gehäusebohrung

Die Gehäusebohrung sollte eine Fase von 10° bis 20° haben und die Übergänge sollten gratfrei ausgeführt werden, um eine problemlose Montage des Radial-Wellendichtrings zu ermöglichen.

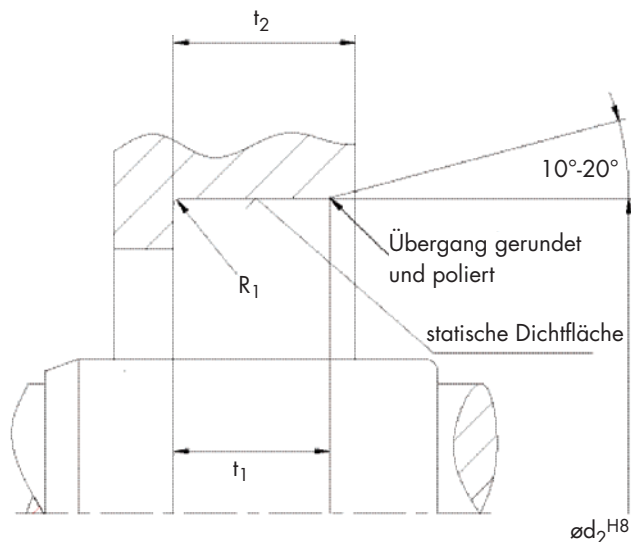
Oberflächengüte der Gehäusebohrung

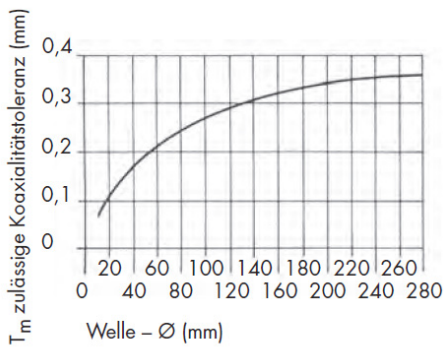
Um eine gute statische Dichttheit und einen sicheren Haftsitz in der Gehäusebohrung zu erreichen, sollten die folgenden Rauigkeitswerte eingehalten werden:

zulässige Werte für Bauformen mit gummiertem Außenmantel WA
 $R_a = 1,6$ bis $6,3 \mu\text{m}$
 $R_z = 10$ bis $20 \mu\text{m}$
 $R_{\text{max}} \leq 25 \mu\text{m}$

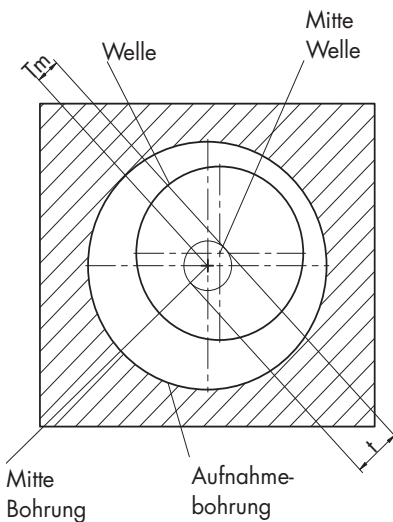
zulässige Werte für Bauformen mit metallischem Außenmantel WB, WC
 $R_a = 0,8$ bis $3,2 \mu\text{m}$
 $R_z = 6,3$ bis $16 \mu\text{m}$
 $R_{\text{max}} \leq 16 \mu\text{m}$

Bei Radial-Wellendichtringen mit metallischem Außenmantel und/oder Einsatz in Verbindung mit dünnflüssigen Medien oder Gas ist eine sehr gute Oberflächenqualität erforderlich, d.h. die Oberfläche in der Gehäusebohrung sollte frei von Beschädigungen und Bearbeitungsspuren aller Art, wie z.B. Kratzern, Riefen, Lunkern und Stoßstellen, sein.





Zulässige Koaxialitätstoleranzen der Welle zur Gehäusebohrung



Darstellung Koaxialitätstoleranzen

Koaxialitätstoleranzen der Gehäusebohrung

Die zulässige Koaxialitätstoleranz (Mittigkeitsabweichung) zwischen der Gehäusebohrung und der Welle/Lagerstelle ist in nebenstehender Tabelle dargestellt. Die Koaxialität führt zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Anpressung am Umfang. Daraus folgt auf der einen Seite eine stärkere Beanspruchung der Dichtkante, die zu vorzeitigem Verschleiß führt. Auf der anderen Seite entsteht eine zu geringe Anpressung der Dichtkante an die

Welle, was zur Beeinträchtigung der Dichtfunktion führen kann und somit Leckage bewirkt. Dabei ist zu beachten, dass kürzere Dichtlippen (druckbeaufschlagbare Bauform WAY/WASY) kleinere zulässige Werte erfordern. Durch spezielle Elastomere sowie flexiblere Aufhängungen der Dichtlippe und längere Dichtlippen lässt sich die Koaxialitätstoleranz vergrößern. Die Koaxialitätsabweichung sollte möglichst klein gehalten werden, um eine gleichmäßige spezifische Radialkraft/Linienpressung zu erzielen.

Werkstoffe für Gehäuse

Als Werkstoffe für Gehäuse und Gehäusedeckel/-flansche, die den Radial-Wellendichtring aufnehmen sollen, werden folgende verwendet:

- im Maschinenbau gängige Stähle und Vergütungsstähle
- Eisen-Gusswerkstoffe z.B. GGG, GG, GS, GTS
- NE-Metalle und NE-Metall-Legierungen z.B. G-AlMg
- Kunststoffe z.B. Thermoplaste und Duroplaste

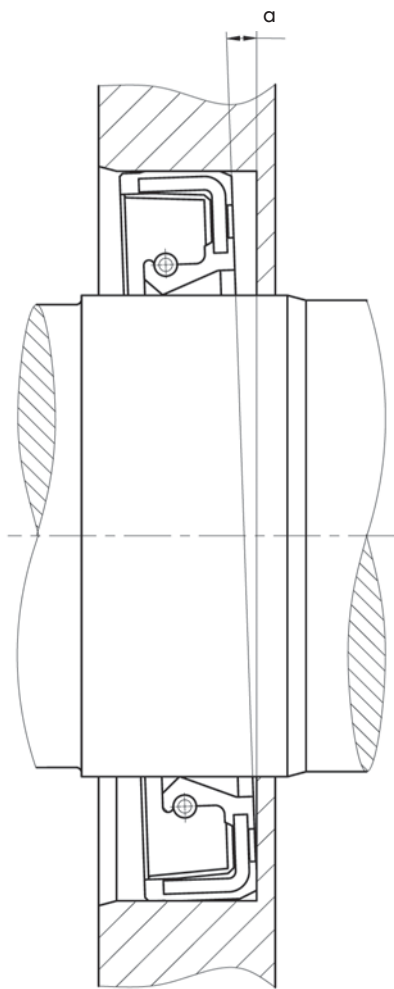
Bei der Auswahl der Radial-Wellendichtring-Bauform und des Gehäusewerkstoffs muss man auf jeden Fall den Wärmeausdehnungskoeffizienten beachten, der bei den oben aufgeführten Werkstoffen sehr unterschiedlich ist.

Wärmeausdehnung

Wichtig für den statischen Abdichtvorgang in der Gehäusebohrung (zweiter Leckageweg) ist das Wärmeausdehnungsverhalten (Wärmeausdehnungskoeffizient α) der Werkstoffe von Radial-Wellendichtring und Gehäuse. Während des Betriebs können erhebliche Temperaturdifferenzen auftreten, die unterschiedliche lineare Maßänderungen der verschiedenen Werkstoffe nach sich ziehen. Die linearen Maßänderungen kann man mit dem allgemeingültigen Gesetz für die lineare Längenausdehnung berechnen:

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L_0 \text{ [mm]}$$

Die Unterschiede der Wärmeausdehnungskoeffizienten von Stahl, Eisen-Gusswerkstoffen, NE-Metallen, Kunststoffen (Thermoplasten) und Elastomeren sind teilweise sehr groß und ergeben somit diverse Probleme. Bei Temperaturerhöhung zwischen NE-Metall- oder Kunststoffgehäuse und Radial-Wellendichtring mit metallischem Außenmantel verringert sich die Überdeckung/Vorspannung aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten und die Dichtung kann herausgedrückt werden. Deshalb wird bei NE-Metall- oder Kunststoffgehäusen der Einsatz von Radial-Wellendichtringen mit gummiertem Außenmantel (z.B. Bauform WA) empfohlen. Diese haben konstruktiv eine größere Presspassungszugabe/Überdeckung und können aufgrund des wesentlich höheren Wärmeausdehnungskoeffizienten der Ausdehnung des Gehäuses besser folgen. Radial-Wellendichtringe mit rillierter, gummiummantelter Außenfläche (Bauform WAK) sind mit einer noch höheren Presspassungszugabe ausgeführt und können deshalb noch größere Spalte abdecken. Gehäuse aus Stahl oder Eisen-Gusswerkstoff in Kombination mit einem Radial-Wellendichtring mit gummiertem Außenmantel bieten die größten Vorteile aus thermischer Sicht.



Darstellung der Schiefstellung

Zulässige Schiefstellung

Der eingebaute Radial-Wellendichtring muss möglichst zentrisch und senkrecht zur Welle eingebaut sein. Die Rechtwinkligkeitstoleranz nach DIN 3761 sollte die Werte der nebenstehenden Tabelle nicht überschreiten. Größere Abweichungen (Schiefstellung) führen zu Pumpwirkungen und beeinflussen damit die Dichtwirkung negativ. Außerdem ist bei rauen Oberflächen ein starker einseitiger Verschleiß an der Dichtlippe zu erwarten.

Wellen- durchmesser /mm	Rechtwinklichkeits- toleranz /mm
bis 25	0,1
über 25 bis 80	0,2
über 80	0,3

Steifheit

Aufnahmegehäuse sind aus Gründen der Wirtschaftlichkeit oft sehr dünnwandig ausgeführt. Bei der Montage von Radial-Wellendichtringen in dünnwandige Gehäusebohrungen oder Aufnahmegehäuse mit geringer Festigkeit, besteht die Gefahr, dass das Aufnahmegehäuse stark aufgeweitet wird und dadurch Leckage auftreten kann. Die Aufweitung der Gehäusebohrung muss deshalb durch die Auswahl der Radial-Wellendichtring-Bauform in den möglichen Grenzen gehalten werden, um den für die statische Dichtheit notwendigen Haftsitz zu gewährleisten.

Es empfiehlt sich, Radial-Wellendichtringe mit gummiertem Außenmantel (z.B. WA) zu verwenden oder eine weitere Gehäusebohrungstoleranz zu nehmen.

Geteilte Gehäuse

Bei geteilten Aufnahmegehäusen kann mit der Bauform WA (gummierter Außenmantel) statische Dichtheit auch an den Trennfugen erreicht werden.

Durch die gute elastische Verformbarkeit des Elastomers und das Formfüllvermögen wird mit der Bauform WA die geforderte statische Dichtheit erzielt. So können auch geteilte Aufnahmegehäuse mit verschiedenen Trennebenen und eventuellem Versatz an der Trennfuge sicher abgedichtet werden.