

Berger/Kiefer (Hrsg.)

DICHTUNGS TECHNIK

JAHRBUCH 2010

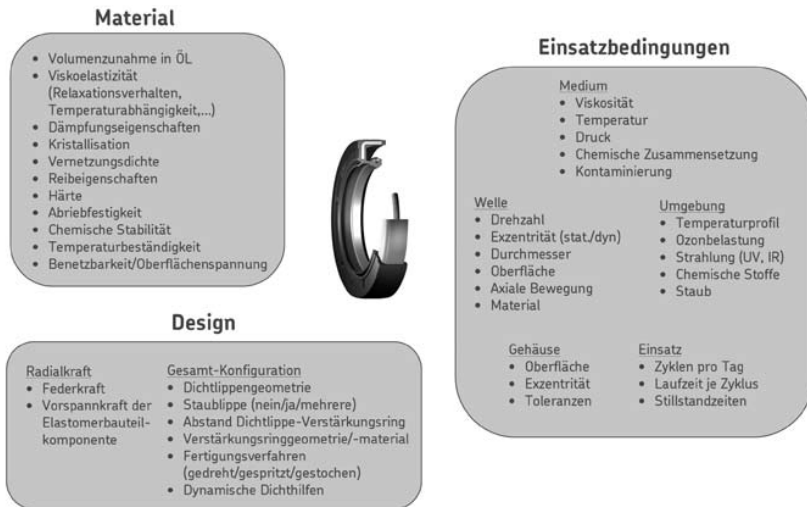
Dr.-Ing. Andreas Grambow, Dipl.-Ing. Jürgen Netzer

Auch Standards können Probleme lösen

MASCHINENBAU – Die Fragestellungen, die man zur Auswahl der optimalen Dichtung für einen vorgegebenen Anwendungsfall zu beantworten hat, sind vielfältig. Um dem Kunden die beste Lösung anzubieten, beurteilen Dichtungshersteller stets die mit der Anwendung verbundenen Einsatzbedingungen. Nur daraus lässt sich die zuverlässigste Dichtungsgeometrie und der entsprechende Werkstoff auswählen. In vielen Anwendungsfällen kann man auf bewährte Lösungen zurückgreifen. Häufig werden aber auch spezielle Anforderungen gestellt, die Modifikationen oder sogar vollständige Neuentwicklungen erfordern. Nachfolgend wird anhand von Radialwellendichtringen und Ventilschaftdichtungen aufgezeigt, wie einerseits mit neuen Werkstoffen für Standardgeometrien als auch andererseits mit neuen Geometrien und Standardwerkstoffen optimierte Lösungen entstehen.

Zur Auswahl einer geeigneten Dichtungslösung sind verschiedene Einflussfaktoren zu berücksichtigen. In >>1 sind verschiedene Einsatzbedingungen den Materialeigenschaften und dem Dichtungsdesign gegenübergestellt. Anhand eines Beispiels soll im folgenden kurz aufgezeigt werden, wie in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Informationen manchmal leider nicht die besten Ergebnisse erzielt werden und wie man dann doch noch die optimale Lösung findet. Nimmt man z.B. an, dass ein Maschinenhersteller bei der Entwicklung einer neuen Anlage an einer Dichtstelle einen Standard-Radialwellendichtring nach DIN 3760 vorgesehen hat. Weiterhin möchte er sicher gehen und definiert einen an der Dichtstelle auftretenden Temperaturbereich von $T = -20 \text{ °C}$ bis $T = 140 \text{ °C}$, wobei diese Temperaturen auch dauerhaft auftreten können. In der Anwendung soll ein synthetisches Öl eingesetzt werden.

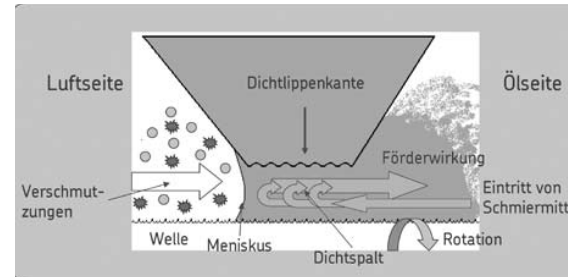
Unter der Annahme, dass die Oberflächen der Welle den allgemein üblichen Vorgaben entsprechen und die Exzentrizitäten auch innerhalb der Vorgaben der DIN liegen, wird der Entwickler wahrscheinlich einen Radialwellendichtring aus Fluorpolymer (FKM) auswählen. Diese Entscheidung begründet sich dadurch, dass einige Alternativwerkstoffe wie NBR aufgrund der Temperatur-



>>1: Die Einflussfaktoren auf die Funktion eines Dichtsystems

anforderungen nicht einsetzbar sind und andere wie HNBR eine geringere Kompatibilität mit Synthetikölen aufweisen. In der fertigen Anlage können nun aber dennoch Leckagen auftreten. Zum einen sind nicht alle (neuen) Synthetiköle zu allen auf dem Markt vorhandenen FKM-Mischungen kompatibel. Zum anderen ist FKM nicht unter allen Einsatzbedingungen der verschleißfesteste Werkstoff (z.B. im Vergleich zu NBR oder HNBR). Steht nun z.B. beim Endanwender die Anlage in einer Position, die nicht sicherstellt, dass stets genügend Schmierstoff an der Dichtkante ansteht, so kann die Lebensdauer einer FKM-Dichtung durchaus geringer ausfallen als die einer NBR-Dichtung in der gleichen Anwendung (unter der Annahme, dass die Dauertemperaturen in der Anwendung deutlich weniger hoch als o.a. sind).

In dieser Situation gibt es nun mehrere Möglichkeiten zur Lösung dieses Problems: Ist die Ölkompatibilität die Ursache für das Problem, so sollte man überprüfen, ob eine Modifikation/Verbesserung des FKM-Werkstoffes in diesem Punkt möglich ist. Liegt die Ausfallursache jedoch in hohem Verschleiß, so lassen sich eventuell folgende Maßnahmen ergreifen: Zum einen kann man natürlich auch hier mit modifizierten FKM-Werkstoffen arbeiten (FKM-Werkstoffe können durch unterschiedliche Zusammensetzungen auch un-



>>2: Die Förderwirkung unter der Dichtkante

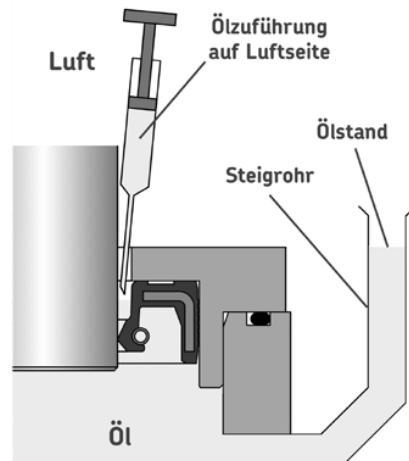
terschiedliche Verschleißfestigkeiten aufweisen). Zum anderen kann man auch den Einsatz anderer verschleißfesterer Werkstoffgruppen (wie NBR oder HNBR) prüfen. Es existieren nämlich auch NBR-Werkstoffe, die zu einer Vielzahl an Synthetik-Ölen kompatibel sind. Hierbei müsste allerdings geprüft werden, wie das zu erwartende Temperaturprofil in der Anwendung aussieht, da – wie eingangs erwähnt – der NBR-Werkstoff für Dauertemperaturen von 140 °C nicht geeignet ist. Hinsichtlich der Zulässigkeit kurzzeitig auftretender Temperaturspitzen und der Häufigkeit des Auftretens muss man sich mit dem jeweiligen Dichtungshersteller abstimmen. Falls der Einsatz von FKM jedoch nötig ist und sich kein verschleißfesterer Werkstoff findet, muss man die Beanspruchung der Dichtkante reduzieren. Man verbessert z.B. die Schmierverhältnisse am Dichtring durch gezielte Ölbeaufschlagung in der Anwendung oder reduziert die Kontaktpressung im Dichtspalt durch Modifikation der Dichtungsauslegung.

Was bedeutet eigentlich „dicht“?

Radialwellendichtringe werden eingesetzt, um dafür zu sorgen, dass weder Verunreinigungen in das Innere eindringen (und damit innenliegende Komponenten wie Lager und Zahnräder beschädigen) noch das Schmiermedium aus dem Inneren der Anlage nach außen dringt. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, besitzen Dichtungen eine Förderfunktion. In >>2 ist für einen Radialwellendichtring schematisch dargestellt, wie man sich dies vorstellen kann. Zwischen der Dichtkante und der sich drehenden Welle entsteht ein Spalt, in dem komplexe Strömungsvorgänge dazu führen, dass das anstehende Öl unterhalb der Dichtkante von der Luftseite weg wieder in Richtung Ölseite gefördert wird. Um die Effekte, die hierbei zur Förderwirkung führen, zu erklären, gibt es verschiedene Hypothesen. An dieser Stelle sei nur darauf hingewiesen, dass die auftretenden Strömungen u.a. von den

folgenden Faktoren wesentlich beeinflusst werden:

- Benetzbarkeiten von Dichtungs- und Wellenwerkstoff (in Bezug auf das eingesetzte Öl)
- Oberflächenbeschaffenheiten von Dichtungs- und Wellenwerkstoff
- Dichtkantengeometrie
- Radialkraft (resp. Kontaktpressung im Dichtspalt)
- Oberflächengeschwindigkeit der Wellenoberfläche
- Dralleigenschaften der Wellenoberfläche
- Ölviskosität und dessen Abhängigkeit von Temperatur und Schergeschwindigkeit

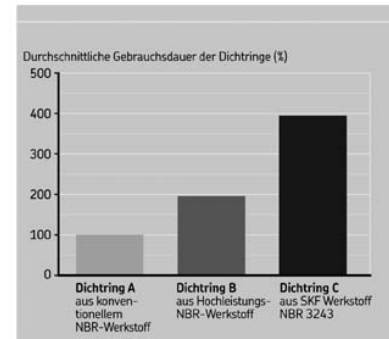
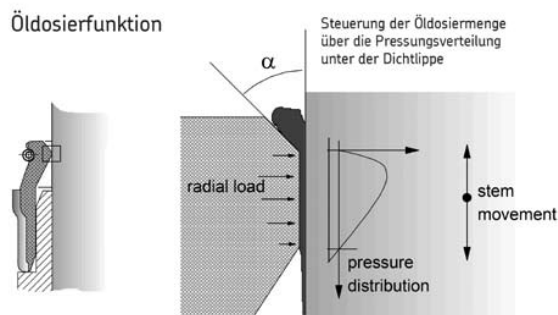


>>3: Schematische Darstellung eines Fördertests

Um die „Dichtfunktion“ eines Radialwellendichtrings zu prüfen, wird daher häufig ein Fördertest durchgeführt, bei dem geprüft wird, wie schnell ein RWDR eine von außen auf der Luftseite zugeführte Ölmenge auf die Ölseite „fördert“. In >>3 ist ein solcher Testaufbau schematisch dargestellt.

Ventilschaftdichtungen werden im Motor eingesetzt, um übermäßigen Öldurchtritt vom Ventiltrieb in den Verbrennungsraum zu vermeiden. Dabei übernimmt die Ventilschaftdichtung ebenfalls mehr als nur eine reine Dicht-

>>4: Schematische Darstellung der Öldosierfunktion einer Ventilschaftdichtung



Untersuchungen in realen Getrieben

Pumpfähigkeit von Dichtringen aus verschiedenen NBR-Werkstoffen			
Geschwindigkeit Drehzahl	Umfangsgeschwindigkeit	Pumpfähigkeit von NBR-Werkstoffen	
		Konventioneller NBR	SKF Werkstoff NBR 3243
min ⁻¹	m/s	s	
1 000	3,0	–	117
1 500	4,6	280	69
2 000	6,1	186	50
2 500	7,6	130	40
3 000	9,1	102	31
3 500	10,6	82	25
4 000	12,1	68	21
4 500	13,7	57	18

Prüfstanduntersuchungen

Leistungsvergleich gilt für eine 60 mm Welle und Motoröl SAE 30

>>5: Pumpwirkung und Verschleißtests an Dichtringen aus verschiedenen NBR-Werkstoffen

tungsaufgabe, denn sie muss in allen Betriebszuständen eines Motors eine konstant geringe Ölmenge dosieren, um die Schmierung der Ventile sicherzustellen. Die Funktionsweise ist in >>4 gezeigt. Wie bei den Radialwellendichtringen auch, müssen die Druckverhältnisse im Dichtspalt so eingestellt werden, dass die gewünschte Funktion in allen Betriebszuständen des Motors sichergestellt wird. Dazu ist beim Öffnen des Ventils (Abwärtsbewegung) von der Dichtung ein Großteil des anliegenden Öls abzustreifen, während beim Schließen (Aufwärtsbewegung) ein Teil des am Ventil anhaftenden Öls wieder zurückgefördert werden soll.

Neue Werkstoffe zur Lebensdaueroptimierung

Am Beispiel eines neuen NBR-Werkstoffs soll nun gezeigt werden, dass Standardprodukte wie Radialwellendichtringe durch Werkstoffoptimierungen den immer stärker werdenden Anforderungen gerecht werden können. Die Ausgangssituation war ein Kunde, der für seine Anwendung eine höhere Lebensdauererwartung des Dichtsystems verlangte. Die Welle entsprach hierbei nicht den Anforderungen, wie sie in der DIN angegeben sind. Eine Analyse gelaufener Dichtringe ergab weiterhin, dass es sich um ein „Verschleißproblem“ handelte, welches auf die Wellenoberfläche zurückzuführen war. Da der Kunde die Fertigung seiner Wellen nicht einfach verändern konnte, entschied man sich in diesem Fall zur Entwicklung eines neuen, verschleißfesteren Werkstoffes, der gleichzeitig auch noch in Verbindung mit der gewählten Querschnittsgeometrie eine Verbesserung der Dichtfunktion

bewirken sollte. Die Entwicklung führte auf einen Werkstoff, der eine erheblich höhere Pumpwirkung im Radialwellendichtring erzeugt als bisherige Standardwerkstoffe. Dies ist in >>5 an den erheblich kürzeren Förderzeiten für vorgegebene Ölmengen zu erkennen.

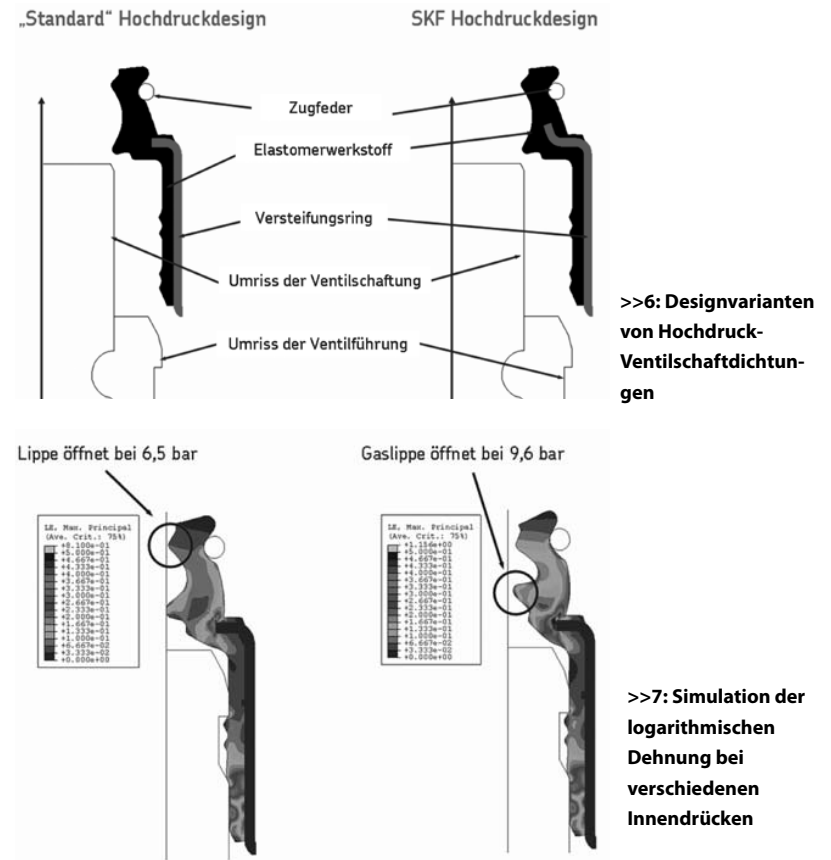
Weiterhin besitzt der Werkstoff eine höhere Verschleißfestigkeit als konventionelle NBR-Mischungen. Vergleichende Lebensdaueruntersuchungen in realen Getrieben mit Radialwellendichtringen aus dieser Mischung (NBR 3243) und aus anderen (konventionellen bzw. auch Hochleistungs-) Mischungen zeigen, dass unter den gewählten Bedingungen die Lebensdauer um den Faktor 2-3 erhöht werden konnte >>5 (links).

Es existieren auch Anwendungsfälle, in denen Radialwellendichtringe aus dieser Mischung eine längere Lebensdauer erreichen als entsprechende Radialwellendichtringe aus Fluorpolymer, obwohl der synthetische Schmierstoff dies nicht hätte erwarten lassen. Hier zeigt sich, dass die gute Kompatibilität zu dem eingesetzten synthetischen Schmierstoff in Kombination mit der hohen Verschleißfestigkeit entscheidend für den Erfolg ist.

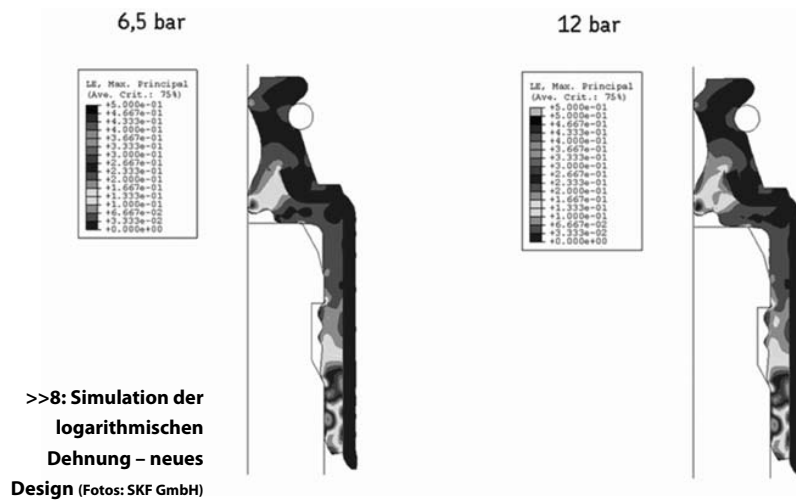
Neues Design, kombiniert mit existierenden Werkstoffen

Am Beispiel einer neuen Generation Ventilschaftdichtungen soll nun aufgezeigt werden, wie man bestehende gute Lösungen weiterentwickeln kann, um den stetig steigenden Anforderungen gerecht zu werden. Hierbei wurde im Gegensatz zum vorangegangenen Beispiel nicht der Werkstoff verändert sondern die Querschnittsgeometrie.

Die steigende Leistungsdichte heutiger Motoren ist mit höheren Lade- und Abgasgedrücken verbunden, aber auch die Optimierung von Motorbremssystemen in LKW-Motoren hat eine kontinuierliche Druckerhöhung in Einlass- und Auslasskanälen zur Folge. Dieser Druck liegt direkt an der Ventilschaftdichtung an und muss bei der Auslegung berücksichtigt werden. Für Gasdrücke in begrenzter Höhe wurden bereits in der Vergangenheit Dichtungen mit Gegendruck-Dichtlippen eingesetzt. Es ist nun gelungen, eine neue Hochdruck-Ventilschaftdichtung zu entwickeln, die selbst bei Drücken bis zu 12 bar noch zuverlässig arbeitet. Dies wird durch eine optimierte Lippenkonstruktion und eine neugestaltete Metallarmierung erreicht, die den Gasdruck auch bei solch hohem Druck sicher vom Funktionsbereich der Öldichtung isolieren.



In einer Finite-Elemente-Simulation können die Designvarianten gegenübergestellt werden, um das Verhalten der Dichtungen bei Druckbeaufschlagung miteinander vergleichen zu können. >>6 zeigt die „Standard-“ und die neue Designvariante (links). In >>7/8 wird das unterschiedliche Verhalten der Bauteile gezeigt. Während bei einer herkömmlichen Hochdruck-Ventilschaftdichtung das Öffnen der Dichtlippe bei ca. 6,5 bar und der Gegendruck-Dichtlippe bei ca. 9,6 bar zu erwarten ist, kann mit der neuen Hochdruck-Ventilschaftdichtung auch noch bei 12 bar sicher abgedichtet werden.



Die neue Hochdruck-Ventilschaftdichtung stellt eine zuverlässige optimale Schmierung des Ventilschafts auch bei höchsten Drücken im Motor sicher und kann zur Verringerung der Blow-by-Gase beitragen. Damit bietet sich dem Kunden das Potenzial zur Reduzierung der Schadstoffemissionen des Motors und einer Minimierung des Aufwandes für das Ölabscheidesystem.

Fazit

Ein Dichtsystem setzt sich aus vielen Komponenten zusammen und unterliegt einer Vielzahl an Einflüssen. Dadurch kann ein Dichtungssystem seine Anforderungen nur erfüllen, wenn die Einzelkomponenten korrekt aufeinander abgestimmt sind. Dies lässt sich mit voller Gewissheit im Vorfeld häufig nicht klären. Daher werden von Maschinenherstellern häufig Tests in den realen Anlagen durchgeführt. Fällt dabei ein Dichtsystem aus, so ist es nicht immer nötig, eine grundlegend neue Dichtung oder einen neuen Werkstoff zu entwickeln. Obwohl verschiedene namhafte Hersteller auf dem Markt Dichtungen aus gleichen Werkstoffgruppen (wie z.B. NBR und FKM) in ihrem Portfolio haben, können sich diese in ihren Eigenschaften spürbar unterscheiden. So kann es sein, dass bestimmte Mischungen in Kombination mit speziellen Ölen zu verfrühtem Ausfall führen. In diesem Fall sollte man auch Alternativen anderer Hersteller in Betracht ziehen und prüfen, ob mit deren Werkstoffen Verbesserungen zu erreichen sind.

Falls diese Vorgehensweise nicht zur Lösung des Problems führt, so muss man auch geometrische Einflüsse mit in die Betrachtung nehmen. Hierbei können durchaus einfache Anpassungen wie z.B. die Reduzierung der Radialkraft zum Ziel führen. Für spezielle Anwendungen kann natürlich letztlich auch eine komplette Neuentwicklung einer Dichtung mit angepasster Geometrie und optimiertem Elastomermaterial der einzig erfolgreiche Ansatz zur sicheren Abdichtung sein.