



**Autoren:**  
Prof. Dr.-Ing. Heinz K. Müller  
Dr. Bernard S. Nau

Eine besondere Herausforderung an den Ingenieur ist eine sichere Abdichtung von Maschinen und Anlagen. Wenn es um den unerwünschten Austritt von Flüssigkeiten oder Gasen aus Maschinen, Aggregaten und Anlagen geht, wird die häufig unterschätzte Kunst des Abdichtens zum zentralen Thema.

www.fachwissen-dichtungstechnik.de befasst sich auf allen Ebenen mit dem Vermeiden oder mit der kontrollierten Eindämmung von Leckage. In 24 Fachkapiteln werden die physikalischen Grundlagen und die vielfältigen Techniken des Abdichtens in klarer Sprache und mit prägnanten Bildern beschrieben. **fachwissen-dichtungstechnik** liefert damit die notwendigen Informationen zu Gestaltung, Auswahl, Entwicklung und Betrieb von Dichtungen und Dichtsystemen.

**Sponsoren:** www.fachwissen-dichtungstechnik.de wird unterstützt von

 <b>DICHTOMATIK</b> Any seal. Any time.	<b>DICHTOMATIK</b> GmbH Albert-Schweitzer-Ring 1 • 22045 Hamburg Tel:+49(0)40-66989-0 • Fax:+49(0)40-66989-101 <a href="mailto:mail@dichtomatik.de">mail@dichtomatik.de</a> • <a href="http://www.dichtomatik.de">www.dichtomatik.de</a>
 <b>elringklinger</b> Kunststofftechnik	<b>ElringKlinger</b> Kunststofftechnik GmbH Etzelstrasse 10 • 74321Bietigheim-Bissingen Tel:+49(0)7142-583-0 • Fax:+49(0)7142-583-200 <a href="mailto:info.ekt@elringklinger.com">info.ekt@elringklinger.com</a> • <a href="http://www.elringklinger-kunststoff.de">www.elringklinger-kunststoff.de</a>
 <b>GFD</b>	<b>GFD</b> – Gesellschaft für Dichtungstechnik mbH Hofwiesenstr. 7 • 74336 Brackenheim Tel:+49(0)7135-9511-0•Fax:+49(0)7135-9511-11 <a href="mailto:info@gfd-dichtungen.de">info@gfd-dichtungen.de</a> • <a href="http://www.seals.de">www.seals.de</a>
 <b>ISGATEC</b> G M B H	<b>ISGATEC</b> GmbH Am Exerzierplatz1A • 68167Mannheim Tel:+49(0)621-7176888-0 • Fax:+49(0)621-7176888-8 <a href="mailto:info@isgatec.com">info@isgatec.com</a> • <a href="http://www.isgatec.com">www.isgatec.com</a>
 <b>Parker</b>   Prädifa	<b>Parker Hannifin</b> GmbH ·Dichtungsgruppe Europa Arnold-Jäger-Str.1 • 74321Bietigheim-Bissingen Tel:+49(0)7142-351-0 • Fax:+49(0)7142-351-293 <a href="mailto:sci.seal.eu@parker.com">sci.seal.eu@parker.com</a> • <a href="http://www.praedifa.de">www.praedifa.de</a>
 <b>SEALWARE</b>	<b>SEALWARE</b> International Dichtungstechnik GmbH Feldbergstr.2 • 65555Limburg Tel:+49(0)6431-9585-0 • Fax:+49(0)6431-9585-25 <a href="mailto:info@sealware.de">info@sealware.de</a> • <a href="http://www.sealware.de">www.sealware.de</a>
 <b>VTH Verband</b> <b>Technischer Handel E.V.</b>	<b>VTH</b> Verband Technischer Handel e.V. Prinz-Georg-Straße 106 • 40479Düsseldorf Tel:+49(0)211-445322 • Fax:+49(0)211-460919 <a href="mailto:vth-verband@t-online.de">vth-verband@t-online.de</a> • <a href="http://www.vth-verband.de">www.vth-verband.de</a>
 <b>xpress seals</b> Dichtungen mit Persönlichkeit	<b>xpress seals</b> GmbH Fangdieckstr.70-74 • 22547 Hamburg Tel:+49(0)40-879744510 • Fax:+49(0)40-879744569 <a href="mailto:info@xpress-seals.com">info@xpress-seals.com</a> • <a href="http://www.xpress-seals.com">www.xpress-seals.com</a>



# 7

Prof.Dr.-Ing. Heinz K. Müller · Dr. Bernard S. Nau

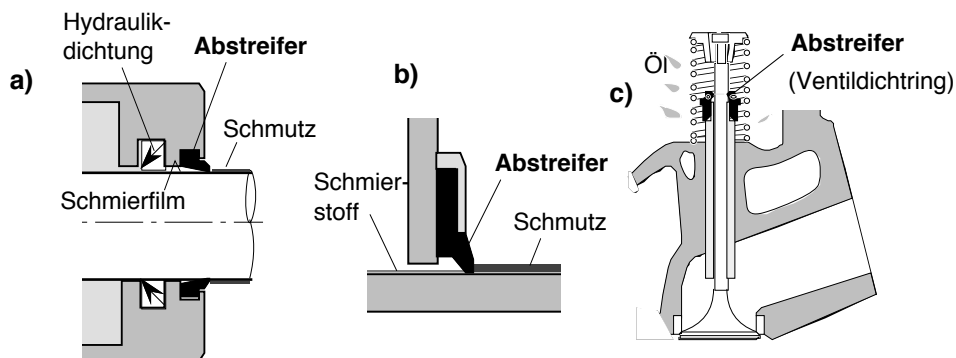
## Abstreifer

Anwendungsbereiche: Abstreifer für hydraulische Geräte, Schmutzabstreifer, Doppelabstreifer aus Elastomer und PTFE; Führungsbahnabstreifer in Werkzeugmaschinen: Probleme, Optimale Gestaltung; Abstreifer für Ventilschäfte von Hubkolbenmotoren. Literatur.

### 7.1 EINFÜHRUNG

Dichtungen, die das Eindringen von *Feststoffpartikeln* in ein Hydraulik- oder Schmiersystem verhindern sollen, werden als Abstreifer oder als Schmutzabstreifer bezeichnet. Es gibt auch Abstreifer, die das Eindringen einer *Flüssigkeit* unterbinden sollen, und manchmal sind beide Aufgaben zugleich zu erfüllen. In der Regel wirkt auf einen Abstreifer kein hydraulischer Druck.

Bild 1 veranschaulicht schematisch einige typische Anwendungsbereiche von Abstreifern. An der Austrittsstelle der Kolbenstangen hydraulischer Geräte verhindert ein Abstreifer das Eindringen von Schmutzpartikeln in die Führungsspalte bzw. in das Hydrauliksystem, Bild 1(a).



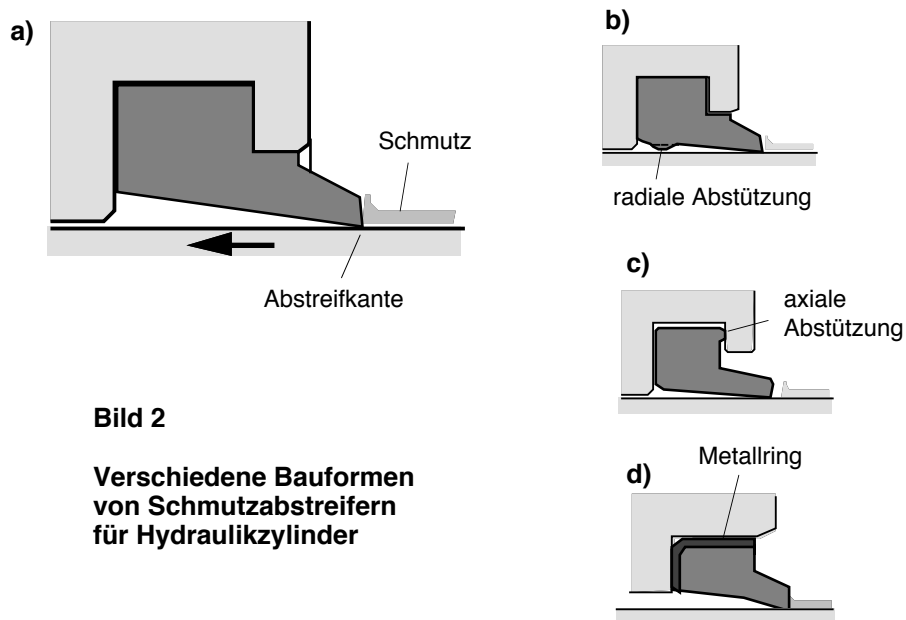
**Bild 1 Anwendungsbereiche von Abstreifern** a) Hydraulikzylinder  
b) Werkzeugmaschinenführung  
c) Ventil

Zugleich muß verhindert werden, daß die Kolbenstange einen dicken Ölfilm hinausschleppt, weil dieser zu dynamischer Leckage führen kann und zudem als Schmutzfänger wirkt. Ähnliches gilt für die Führungsbahnen von Werkzeugmaschinen. In beiden Bereichen findet man deshalb oft sogenannte *Doppelabstreifer*. Es gibt aber auch reine Flüssigkeitsabstreifer, beispielsweise an den Ventilfehrungen von Hubkolbenmotoren. Falls hier durch die Führungsspalte dauernd Schmieröl in den Brennraum gelangte, stiege der Ölverbrauch und die Kolbenringe könnten verkoken.

## 7.2 ABSTREIFER FÜR HYDRAULISCHE GERÄTE

### *Schmutzabstreifer*

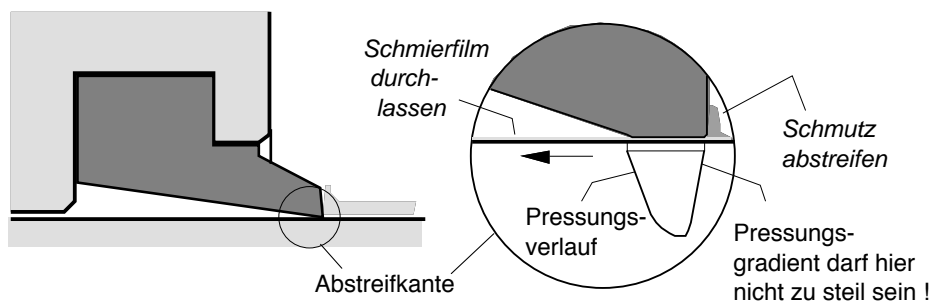
Bild 2 zeigt verschiedene Bauformen von Elastomer-Schmutzabstreifern für Hydraulikzylinder. Sie werden aus hartem NBR (ca.90 IRHD) und vorzugsweise aus sehr hartem Polyurethan (92..94 IRHD) hergestellt. NBR-Abstreifer sind zwar nicht optimal verschleißbeständig, ertragen aber Betriebstemperaturen bis ca. 110°C. Polyurethan-Abstreifer sind extrem verschleißfest, jedoch nur bis 80°C verwendbar. Die Abstreifer werden entweder in gefaltetem Zustand in eingestochene Gehäusenuten eingeführt, oder sie sind mit einem Versteifungsring versehen und können axial in offene Bohrungen eingepreßt werden. Ein Abstreifer muß auch bei begrenzter radialer Auslenkung der Stange zuverlässig funktionieren. Wichtig ist die stabile Lage und eine sichere Nebenabdichtung des Abstreifers in der Gehäusenut, die durch zusätzliche radiale oder axiale Abstützung verbessert wird. Keinesfalls darf Schmutz über die Nut am Abstreifer vorbei eindringen.



**Bild 2**  
**Verschiedene Bauformen von Schmutzabstreifern für Hydraulikzylinder**

Bezüglich der Gestaltung und Vorspannung der Abstreifkante eines Schmutzabstreifers gibt es ein Dilemma. Denkt man allein an ein möglichst effektives Abstreifen der Schmutzschicht, so

scheint eine stark vorgespannte steile Abstreifkante günstig zu sein. Ein sehr steiler Pressungsgradient auf der Außenseite des Abstreifers birgt jedoch die Gefahr, daß ein Teil des beim Ausfahren vom Abstreifer durchgelassenen Schmierfilms beim Einfahren abgestreift wird. Der Zusammenhang zwischen dem Pressungsgradienten und der Filmdicke ist in *Kapitel 5* ausführlich erläutert. In der Tat kann ein Schmutzabstreifer auf diese Weise Leckage herbeiführen! Ein paar Zahlen mögen dies verdeutlichen: Auf einer sich trocken anfühlenden Stange kann noch eine ca. 1 µm dicke Schmierschicht haften. Angenommen, der Abstreifer streift bei einfahrender Stange nur 1% dieser sehr dünnen Flüssigkeitsschicht ab (=10<sup>-5</sup> mm bzw. 10 Ölmolekülschichten), dann entsteht bei einer Stange mit Durchmesser 50 mm und einem Hub von 50 cm nach 100 Hübten eine Leckage von ca. 2 Tropfen (≈ 80 mm<sup>3</sup>). In der Praxis beobachtet man am Ende der Stange einen immer dicker werdenden Ölring, der schließlich abtropft. Besteht in der Praxis der Verdacht, daß ein Abstreifer Leckage verursacht, sollte man diesen versuchsweise ausbauen. Verschwindet dann die Leckage, so ist die Abstreifkante zu „scharf“. Schmutzabstreifer müssen so gestaltet sein, daß *beim Einfahren* der auf der Stange haftende Schmierfilm nicht abgestreift wird, jedoch Schmutzteilchen zurückgehalten werden. Dies gilt insbesondere auch für Pneumatikzylinder!



**Bild 3 Abstreifkante muß Schmierfilm durchlassen**

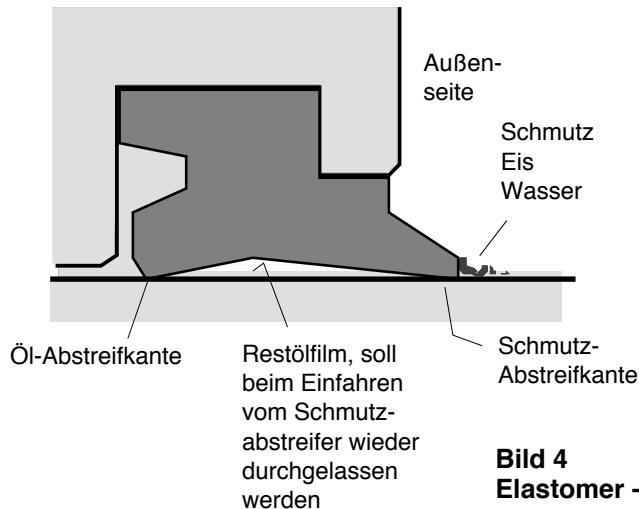
Die Abstreifkante muß demnach so geformt sein, daß außen der Pressungsgradient *nicht zu steil* ist, Bild 3. Wenn jedoch eine Hydraulikdichtung unter zeitweilig ungünstigen Bedingungen (schnelles Ausfahren, hohe Viskosität) mehr Öl als üblich durchläßt, gelangt dieses Öl wegen des flachen, *innenseitigen* Keilwinkels auch unter der Abstreiferlippe nach draußen. Ist dieser Ölfilm verhältnismäßig dick, so bildet sich bei aufeinanderfolgenden Einfahrbewegungen am Abstreifer ein Ölring, also Leckage. Um dies sicher zu vermeiden, sollte der von der Hydraulikdichtung her kommende Ölfilm nochmals zurückgehalten werden bevor er den Schmutzabstreifer erreicht. Dazu dient die Ölabbreiflippe eines Doppelabstreifers.

### **Doppelabstreifer aus Elastomer**

Die von der inneren Dichtkante abgestreifte Flüssigkeit sammelt sich im Raum zwischen Doppelabstreifer und Hydraulikdichtung. In der Regel wird sie zwischendurch wieder in das Hydrauliksystem zurückgepumpt. Wichtig ist dabei eine gut rückförderfähige Hydraulikdichtung und/oder zeitweilig eine höhere Einfahrtgeschwindigkeit.



Die Dichtungshersteller bieten eine Vielfalt von Elastomer-Doppelabstreifern an, meistens mit einer inneren stumpfen Dichtlippe und einer außenseitigen Schmutzabstreifkante. Bild 4 zeigt einen typischen Elastomer- Doppelabstreifer. Wegen der genannten Einschränkungen und Vorteile bestehen Doppelabstreifer entweder aus hartem NBR oder aus sehr hartem Polyurethan. Wichtig ist auch hier die oben beschriebene ausgewogene Abstreifwirkung der Schmutzabstreifkante und die Nebenabdichtung in der Gehäusenut.

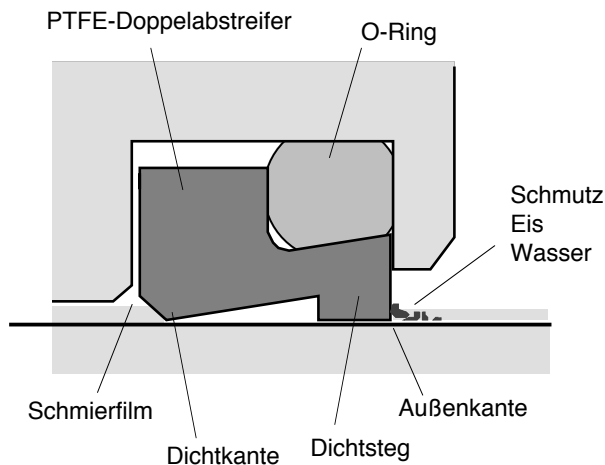


**Bild 4**  
**Elastomer -Doppelabstreifer**

Die innere Dichtlippe eines Doppelabstreifers bildet zusammen mit der Hydraulikdichtung ein *Dichtungstandem* (s. Kapitel 5), das unter ungünstigen Bedingungen problematisch werden kann, nämlich, falls der Zwischenraum zwischen Hydraulikdichtung und Doppelabstreifer sich ganz mit Flüssigkeit füllt. Baut sich in diesem Raum ein Schleppdruck auf, so kann der Doppelabstreifer nach außen aus seiner Nut hinausgedrückt werden. Bei Verwendung eines Doppelabstreifers ist es deshalb wichtig, daß die Hydraulikdichtung ein möglichst gutes Rückfördervermögen aufweist. In Kapitel 5 wurde gezeigt, daß es bei schwierigen Betriebsbedingungen besser ist, die Hydraulikflüssigkeit mit einer Tandemanordnung aus zwei rückförderfähigen Hydraulikdichtungen abzuschotten und erst dahinter einen Abstreifer oder Doppelabstreifer vorzusehen.

### **Doppelabstreifer aus PTFE**

Bei hohen Betriebstemperaturen bis 200°C müssen auch Doppelabstreifer aus verstärktem PTFE bestehen. Bild 5 auf der nächsten Seite zeigt eine firmenspezifische Bauform (Excluder®). Dieser Abstreifer hat eine der Hydraulikdichtung zugewandte Dichtkante, die die Schmierfilmdicke weiter reduziert. Die Außenkante eines Dichtstegs wirkt als Schmutzabstreifer. Die ölabbstreifende Dichtkante ist durch Übermaß vorgespannt, der äußere Dichtsteg wird zusätzlich von einem O-Ring angepreßt, der auch als Nebenabdichtung wirkt. Mit einem O-Ring aus FKM sind PTFE-Abstreifer auch beständig gegen alle Arten von biologisch abbaubaren Hydraulikflüssigkeiten. Für Temperaturen bis 80°C, aber mit sehr guter Abstreifwirkung, werden geometrisch ähnliche Bauformen auch aus hartem Polyurethan angeboten.

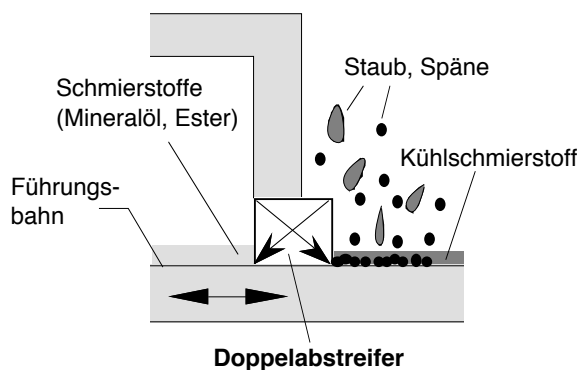


**Bild 5**

**Doppelabstreifer aus PTFE mit zusätzlichem O-Ring**

### 7.3 FÜHRUNGSBAHNABSTREIFER IN WERKZEUGMASCHINEN

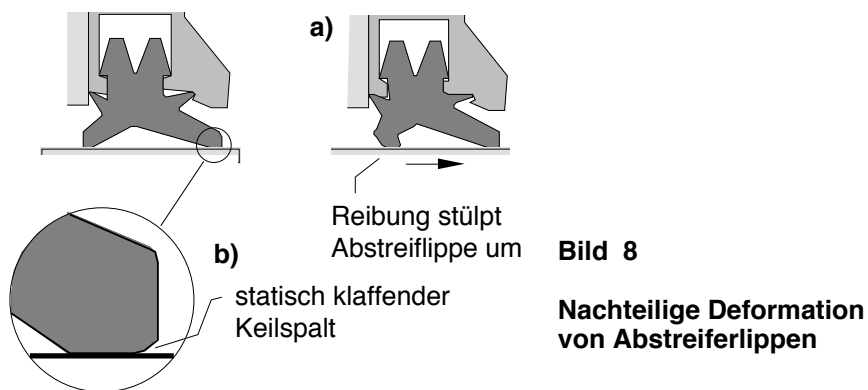
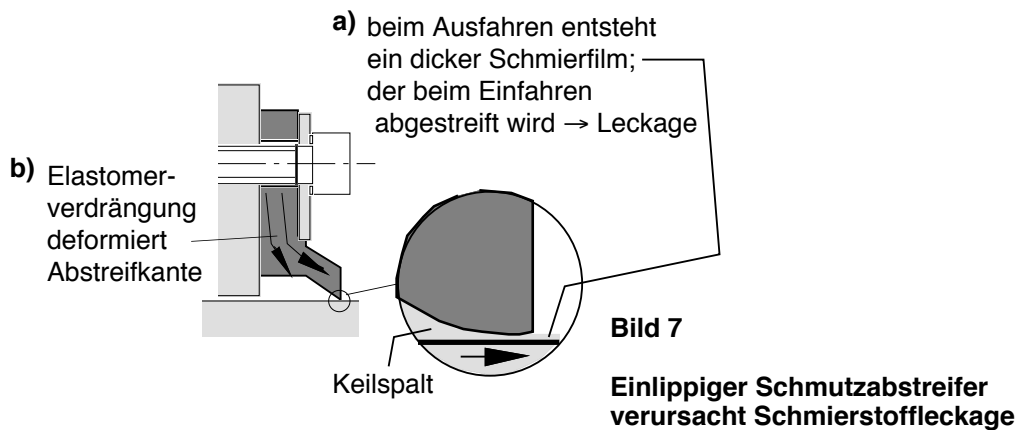
Bei flüssigkeitsgeschmierten Führungsbahnen von Werkzeugmaschinen muß an erster Stelle das Eindringen von Kühlstoff und von Fremdpartikeln in die Spalte zwischen den Gleitflächen verhindert werden. Des weiteren ist aus wirtschaftlichen Gründen der Verlust von Schmierstoff einzuschränken. Außerdem dürfen die Abstreifer keinesfalls Stick-Slip erzeugen. Bild 6 veranschaulicht schematisch diese Grundfunktionen.



**Bild 6**

**Abdichtung der Führungsbahn einer Werkzeugmaschine (schematisch)**

In der Praxis existiert eine Vielfalt unterschiedlicher Bauformen von Abstreifern. Sie bestehen im wesentlichen aus Elastomer-Dichtstreifen, die in speziellen Fassungen gehalten mit einem Teil des Maschinengehäuses verbunden sind. Die Bilder 7 und 8 auf der nächsten Seite zeigen typische Formen herkömmlicher Abstreifer, die an Platten angespritzt bzw. anvulkanisiert oder in Halteteile eingeknüpft sind. Die Abstreifer berühren mit einer oder zwei Abstreifkanten die bewegte Gleitfläche. Neben geraden Abstreifleisten gibt es für Profilschienen-Führungen auch um Ecken herumführende Dichtstreifen.



Im Zuge steigender Anforderungen hinsichtlich der Schmutz- und Schmiermitteldichtheit in modernen Maschinen erwiesen sich viele in der Praxis verwendete Abstreifer als unbefriedigend. Die Anwender klagen über Verschleiß und Korrosion in den Führungen aufgrund des Eindringens von Kühlstoff und Schmutzpartikeln in die Führungsspalte, sowie über zu hohe Schmiermittelverluste. Bei der Untersuchung handelsüblicher Abstreifer traten eine Reihe von Mängeln zutage. Unter anderem zeigte sich,

- daß Abstreifer mit nur einer schmutzabstreifenden Dichtlippe oft erhebliche Schmierstoffleckage aufweisen, Bild 7(a);
- daß bei angeschraubten Abstreiferleisten die Abstreifwirkung beeinträchtigt wird, wenn Elastomer aus der Klemmzone zur Abstreifkante hin verdrängt wird, Bild 7(b);
- daß Abstreiflippen durch Reibung verzerrt werden und sogar umklappen können, wobei die Abstreifwirkung verloren geht, Bild 8(a);
- daß Abstreiflippen bereits beim Vorspannen abdichtseitig klaffen können, wodurch an der Abstreifkante ein flacher Keilspalt entsteht, der bei Schmierstoffabstreifern zu erheblicher Schmierstoffleckage führt, bei Schmutzabstreifern zum Eindringen von Partikeln in den Gleitspalt, Bild 8(b);



Aufgrund dieser Beobachtungen und der aus der Hydrauliktechnik bekannten Tatsache, daß ein effektives Abstreifen von Öl nach *innen* und von Schmutz nach *außen* nicht mit einer einzigen Dichtkante möglich ist, wurde die Querschnittsform eines *Doppelabstreifers für Werkzeugmaschinenführungen* neu gestaltet (Lambert, 2000). Gestützt auf die elasto-hydrodynamische Theorie (s. Kapitel 5) wurden die Dichtkanten optimiert. Bild 9 zeigt als Ergebnis der Optimierung einen ca. 5 mm breiten Doppelabstreifer aus hartem Polyurethan, der formschlüssig befestigt ist. Seine dichtungstechnisch aktive Zone besteht aus zwei nach außen weisenden, „massiven“ Dichtlippen.

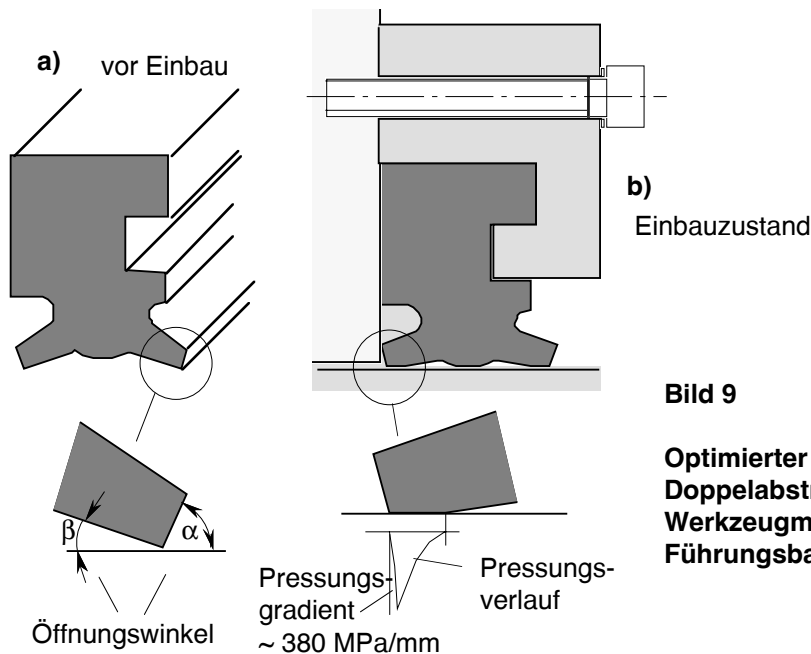


Bild 9

Optimierter  
Doppelabstreifer für  
Werkzeugmaschinen-  
Führungsbahnen

Der abstreifseitige Öffnungswinkel beträgt bei beiden Abstreiflippen  $\alpha = 65^\circ$ , der innenseitige Öffnungswinkel  $\beta = 20^\circ$ , Bild 9(a). Zur Begrenzung des ca. 0,4 mm betragenden Vorspannwegs befindet sich zwischen den Dichtkanten ein balliger Steg. Mittels einer FEM-Analyse und durch optische Beobachtung wurde nachgewiesen, daß die vorgespannte Abstreifkante die Gleitfläche auf einer Breite von ca. 0,3 mm berührt, wobei die Kontaktpressung ein asymmetrisches, annähernd dreieckförmiges Profil aufweist, Bild 9(b). Die Berührzone reicht bis zur Außenkante des Abstreifers, ein Klaffen ist ausgeschlossen.

Der für die Abstreifwirkung ausschlaggebende, außenseitige *Pressungsgradient* des Abstreifers nach Bild 9 ist groß, nämlich ca.  $w = 380 \text{ MPa/mm}$ . In Kapitel 5 ist näher erläutert, daß eine berührende Dichtkante, die eine Flüssigkeit mit der Viskosität  $\eta$  abstreift, bei Gleitbewegung mit der Geschwindigkeit  $v$  einen Schmierfilm der Dicke  $h$  passieren läßt, wobei die Schmierfilmdicke sich aus  $h = [2 \eta v / (9 w)]^{0,5}$  ergibt. Nimmt man realistische Werte an, nämlich Schmieröl mit  $\eta = 0,15 \text{ Pas}$ , eine Gleitgeschwindigkeit  $w = 1 \text{ m/s}$  und einen





Druckgradienten  $w = 380 \text{ MPa/mm}$ , so ergibt sich für den Ölabbreifer eine Filmdicke von ca.  $0,3 \mu\text{m}$ , was eine hervorragende Abstreifwirkung erwarten läßt. Die Gleitfläche erscheint dabei praktisch als trocken. Die Filmdicke eines gegebenenfalls in den Ölraum eingebrachten niederviskosen Kühlschmierstoffs ist noch wesentlich kleiner.

Die hervorragende Wirkung des Doppelabbreifers nach Bild 9 wurde experimentell und in der Werkzeugmaschinenpraxis bestätigt. Er übertraf herkömmliche Abstreifer, sowohl bezüglich der Schmiermitteldichtheit als auch in der Abstreifwirkung gegen Schmutz und Kühlschmierstoff.

## 7.4 ABSTREIFER FÜR VENTILSCHÄFTE VON HUBKOLBENMOTOREN

Um einen unkontrollierten Durchtritt von Schmieröl durch den Führungsspalt zum Ventilsitz zu verhindern, werden die Ventilschäfte moderner Verbrennungsmotoren auf der Antriebsseite abgedichtet, Bild 10. Im Gegensatz zu den Abstreifern von Hydraulikzylindern und Werkzeugmaschinenführungen ist hier lediglich Spritzöl abzudichten.

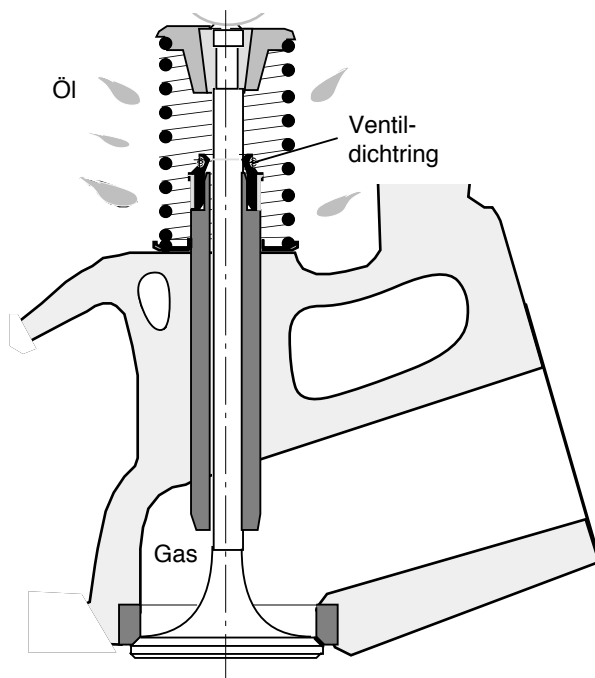


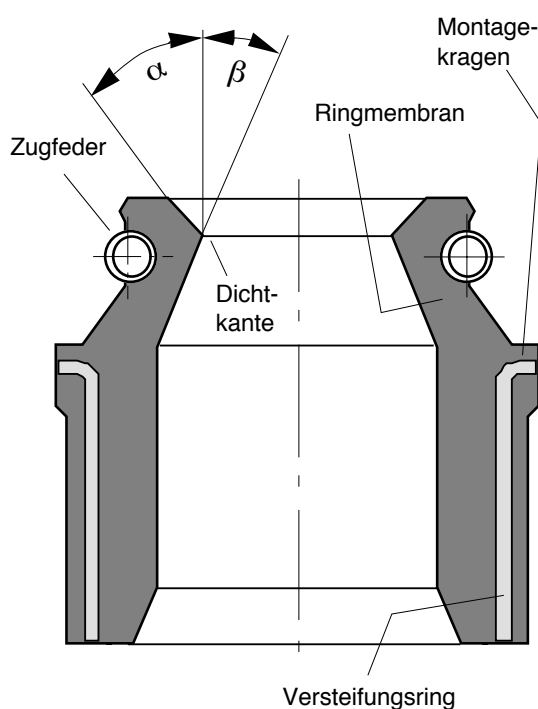
Bild 10

Ventil eines Verbrennungsmotors mit Ventildichtring

Ventildichtringe haben zunächst die Aufgabe, dem vom Ventiltriebwerk kommenden Öl den Zutritt zum Ventilführungsspalt zu versperren. Wie bei Hydraulikdichtungen muß ein zu scharfes Abstreifen vermieden werden, da sonst mangels ausreichender Schmierung der Gleitführung das Ventil blockieren kann. Insofern sind Ventildichtringe zugleich Öldosiereinrichtungen für

die Ventilführung. Die außerordentlich kleinen Ölmengen, die zur Schmierung der Ventilführung erforderlich sind, können nur mittels einer elastohydrodynamisch gesteuerten Schleppströmung dosiert werden. Dazu bedarf es wiederum eines Dichtflächenkontakts mit definierter Pressungsverteilung, die sich während der gesamten Gebrauchsdauer nur wenig verändern darf. Schließlich sollen radiale Bewegungen und Kippbewegungen des Ventilschafts, die bei fortschreitendem Verschleiß der Führung größer werden, das Abdichtverhalten und die Öldosierung nicht nachteilig beeinflussen.

Im Laufe einer jahrzehntelangen empirischen Entwicklung zeigte sich, daß diese Anforderungen insgesamt am besten mittels einer beweglich gelagerten, federunterstützten Elastomerdichtkante zu erfüllen sind. Bild 11 zeigt die charakteristische Bauform eines Ventildichtrings.



**Bild 11**

**Elastomer-Ventildichtring**

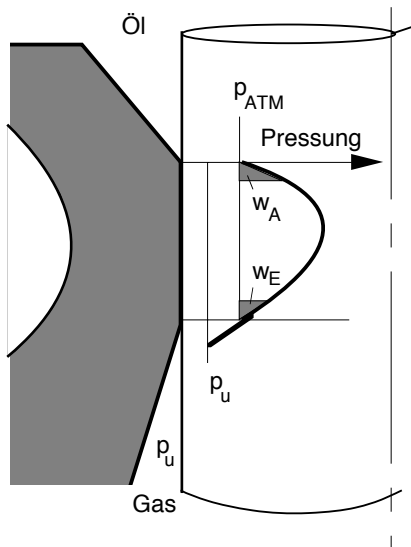
Ein Elastomerteil bildet eine Dichtkante, die - wie beim Radial-Wellendichtring (*Kapitel 8*) - zusätzlich mittels einer Spiralzugfeder angepreßt wird. Der Kontaktflächenwinkel  $\alpha$  auf der Ölseite ist größer als der Winkel  $\beta$  auf der Brennraumseite. Praktische Mittelwerte im Einbauzustand sind  $\alpha = 40^\circ \dots 45^\circ$  und  $\beta = 25^\circ \dots 30^\circ$ . Damit entsteht ein asymmetrischer Pressungsverlauf, der sich in Abhängigkeit vom Druck im Führungsspalt noch verändert. Da der Führungsspalt bei intakter Dichtung nur teilweise mit Öl gefüllt ist, wird der Druck unterhalb der Dichtung hauptsächlich vom veränderlichen Gasdruck beeinflusst.

Die auf den Umfang bezogene Radialkraft moderner Ventildichtringe liegt im Bereich von  $p_L = 0,5 \dots 1 \text{ N/mm}$  und ist somit mindestens fünfmal so groß wie bei modernen Radial-Wellen-



dichtringen. Bei einer Kontaktflächenbreite von etwa  $b = 0,4 \dots 0,6$  mm liegt die mittlere Kontaktflächenpressung im Bereich  $p_m = p_L/b = 1,3 \dots 1,7$  MPa, und ihr Maximalwert ist größer als 2 MPa. Die Ringmembran zwischen Dichtteil und Haftteil des Ventildichtrings muß axial so steif sein, daß sie von den Reibkräften nicht zusammengesoben wird. Andererseits muß die Membran die spielbedingten Radialbewegungen der Dichtkante aufnehmen.

Bild 12 zeigt prinzipiell die Verhältnisse für ein Einlaßventil. Bei öffnendem Einlaßventil herrscht unterhalb der Dichtfläche der Saugdruck  $p_u$ . Ein nur Mikrometer dicker Ölfilm wird vom bewegten Ventilschaft in den Dichtspalt zwischen abgeplatteter Dichtkante und Ventilschaftoberflächen geschleppt. Die bei öffnendem Ventil durch diesen Spalt geschleppte Ölmenge ist, außer von der Viskosität und der Gleitgeschwindigkeit, vom größten Pressungsanstieg  $w_A$  am antriebsseitigen Ende des Dichtspalts abhängig.



**Bild 12**

**Pressungsverlauf an der aufliegenden Dichtkante eines Ventildichtrings**

Bei schließendem Ventil ist hingegen der Pressungsanstieg  $w_E$  maßgebend. Falls  $w_A = w_E$  würde bei annähernd symmetrischem Geschwindigkeitsverlauf theoretisch der ganze Ölfilm wieder durch den Dichtspalt nach oben transportiert. Außer vom Winkel  $\beta$  wird  $w_E$  von der Druckdifferenz zwischen Ölraum und Führungsspalt, also vom Saugdruck beeinflusst. Zudem spielen bei der Bewegungsumkehr auch die auf den Ölfilm wirkenden Massenkräfte und die Abstreifwirkung der Rauheitserhebungen der Ventilschaftführung eine Rolle. Der Teil des Ölfilms, der bei schließendem Ventil den Dichtkontakt nicht mehr erreicht, kann auch nicht mehr durch den Dichtspalt zurückgeschleppt werden.

Beim Auslaßventil herrscht bei bewegtem Ventil im Führungsspalt Überdruck. Die Dichtfläche wird dadurch entlastet. Dies begünstigt an sich den Rücktransport des am Ventilschaft haftenden Öls, kann jedoch auch zum Durchblasen von heißem Gas führen. Um dies zu vermeiden, wurden für Auslaßventile spezielle Ventildichtringe mit zusätzlicher Gaslippe ent-



wickelt. Wegen der Nähe der Brennräume werden die Ventilschäfte, und damit auch die Ventildichtringe, sehr heiß. Bei Voll-Lastbetrieb von PKW-Ottomotoren wurden im Elastomer der Ventildichtringe am Einlaßventil Temperaturen bis 150°C, am Auslaßventil bis 180°C gemessen. Deshalb wird für Ventildichtringe heute vorwiegend Fluorelastomer (FKM) verwendet.

Der bei 100°C gemessene Ölverlust eines modernen Ø7mm- FKM -Ventildichtrings beträgt im Neuzustand im Mittel nur einige hundertstel Gramm pro Betriebsstunde. Bei gealterten Dichtringen muß nach einer Fahrstrecke von ca. 100 000 km hingegen pro Dichtring mit einem Ölverlust von bis zu 1...2g/h gerechnet werden. Dies ist vor allem auf eine verschleiß- und alterungsbedingte Verbreiterung der Kontaktfläche bei gleichzeitiger Abnahme der radialen Anpreßkraft zurückzuführen. Dadurch wird auch der Pressungsgradient  $w_A$  kleiner, und es wird mehr Öl durch den Dichtspalt geschleppt.

Alternativ zu Ventildichtringen aus Elastomer wurden auch Ringe aus PTFE-Werkstoffen erprobt. Langfristig wurde mit diesen teureren Dichtringen jedoch keine zuverlässige Abdichtung und Öldosierung erreicht. Dies hängt wahrscheinlich mit der eingeschränkten Radialbeweglichkeit der steiferen PTFE-Dichtkörper zusammen.

## 7.5 LITERATUR

*Lindgren, H.:* Hydrodynamic analysis of elastomeric lip seals, Chalmers University of Technology, Göteborg, 1990

*Lambert, M.:* Abdichtung von Werkzeugmaschinen-Flachführungen, Diss. 2000, IMA, Universität Stuttgart, ISBN 3-921920-88-4

*Peter, J. und Frenzel, U.K.:* Abstreifer-Kassette für Heißes und Scharfes, Eine Marktübersicht und Bewertung von Abstreifern bzgl. dem Einsatz im Arbeitsraum von zerspanenden Werkzeugmaschinen. VDI Berichte Nr. 1579, Nov. 2000.

*Müller, H.K., Nau, B.S.:* Fluid Sealing Technology, Principles and Applications, M.Dekker Inc., New York, 1998, ISBN 0-8247-9969-0



### **Hinweise auf Inhaber, Urheberrecht und Verwertung von *www.fachwissen-dichtungstechnik.de***

Inhaber und Betreiber der Domain [www.fachwissen-dichtungstechnik.de](http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de) ist Prof. Dr. Heinz Konrad Müller, Otl-Aicher-Str. 48, D-80807 München, Deutschland.

Der gesamte Inhalt der unter der Domain [www.fachwissen-dichtungstechnik.de](http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de) veröffentlichten Internetpublikation einschließlich der Fachkapitel, die als PDF herunterladbar sind, ist urheberrechtlich geschützt und darf insgesamt oder in Teilen ausschließlich für den persönlichen Gebrauch ohne Vergütung kopiert und verwendet werden. Zitate sind mit Angabe der Quelle ausführlich zu kennzeichnen. Jede anderweitige Verwendung oder Verwertung, Vervielfältigung, Übersetzung, Nachdruck, Vortrag, Entnahme von Abbildungen, Funksendung, Mikroverfilmung und Speicherung auf elektronischen Datenträgern ist vergütungspflichtig und bedarf der schriftlichen Genehmigung durch den Inhaber der Domain (s.o.).

Inhaber des Urheberrechts (Copyright ©) und verantwortlich für den Inhalt von [www.fachwissen-dichtungstechnik.de](http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de) sind die Autoren Dr. Heinz Konrad Müller und Dr. Bernard S. Nau.

### **Hinweise auf den Inhalt bezüglich Handelsnamen, Warenzeichen und den gewerblichen Rechtsschutz:**

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenzeichen usw. in [www.fachwissen-dichtungstechnik.de](http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de) berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten sind und von jedermann benutzt werden dürfen.

Ein Teil der in [www.fachwissen-dichtungstechnik.de](http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de) beschriebenen oder im Bild wiedergegebenen Dichtelemente und Dichtsysteme sind, ohne dass darauf hingewiesen ist, durch Patentanmeldungen, Patente oder Gebrauchsmuster rechtlich geschützt. Insofern berechtigen die wiedergegebenen Beschreibungen und Bilder nicht zu der Annahme, dass die beschriebenen oder dargestellten Gegenstände im Sinne des gewerblichen Rechtsschutzes als frei zu betrachten sind und von jedermann hergestellt oder benutzt werden dürfen. Für die Richtigkeit der Wiedergabe der in [www.fachwissen-dichtungstechnik.de](http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de) direkt oder indirekt zitierten Vorschriften, Richtlinien und Normen sowie für die Anwendbarkeit der konstruktiven Regeln und Hinweise im Einzelfall übernehmen die Autoren und der Betreiber der Domain keine Gewähr.