

## 7 Entwicklung neuer Abstreiferstirnplatten

In die Entwicklung neuer Abstreiferstirnplatten fließen die Ergebnisse folgender Untersuchungen ein:

- Untersuchungen / Entwicklung von Abstreiferleisten, /24/
- Entwicklung von Abstreiferstirnplatten. Mit Hilfe der FEM, /45/-/48/
- Praktische Untersuchungen an Abstreiferstirnplatten, /45/

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen noch einmal kurz zusammengestellt und die Funktionsmerkmale der neu entwickelten Abstreiferstirnplatten vorgestellt.

Grundlage der Entwicklung neuer Abstreiferstirnplatten ist das Abstreiferprofil V18\_9, Bild 97. Um sicher Schmierstoff und Fremdstoffe abzudichten, muss das Abstreiferprofil schmutz- und schmierstoffseitig steile Pressungsanstiege haben. Es hat daher zwei Dichtlippen. Die nach unten gewölbte Anlagefläche im Dichtungszwischenraum begrenzt den Vorspannweg. Der ausgelegte Pressungsverlauf wird so sicher erreicht. Der Kontakt der Dichtlippe mit der abzustreifenden Gegenfläche beeinflusst maßgeblich die Dichtwirkung des Abstreifers. Der Pressungsverlauf unter der Dichtlippe muss stoffseitig große Gradienten haben. Keilspalte an der Dichtlippe müssen vermieden werden. Der Verlauf der Pressung wird maßgeblich beeinflusst durch die Geometrie der Dichtlippenkante. Die Geometrie der Dichtlippenkante wird bestimmt durch die in Bild 97 dargestellte Kombination der Winkel  $\Theta$ ,  $\Psi$  und  $\Omega$ . Geeignete Winkelkombinationen haben folgende Eigenschaften:

- Gute Dichtwirkung durch große Pressungsgradienten
- Das Pressungsmaximum ist nahe der Stoffseite, das Unterwandern der Dichtlippe durch Feststoffe wird somit weitgehend verhindert
- Die Dichtwirkung ist nahezu unabhängig von der Einbausituation
- Die Dichtwirkung ist nahezu unabhängig vom Vorspannweg

Für die schmutz- und schmierstoffabstreifende Dichtlippen des Abstreiferprofils V18\_9 wurde die Winkelkombination  $\Theta = 20^\circ$ ,  $\Psi = 95^\circ$  und  $\Omega = 65^\circ$  ausgewählt. Der Abstreifergrundwerkstoff ist ein Polyurethan. Der Härtebereich des Werkstoffs liegt zwischen 90 – 95 Shore A. Das Material darf nicht zur Adhäsion neigen. Sonst besteht die Gefahr, dass der gesamte Dichtkörper bei der Bewegung umklappt.



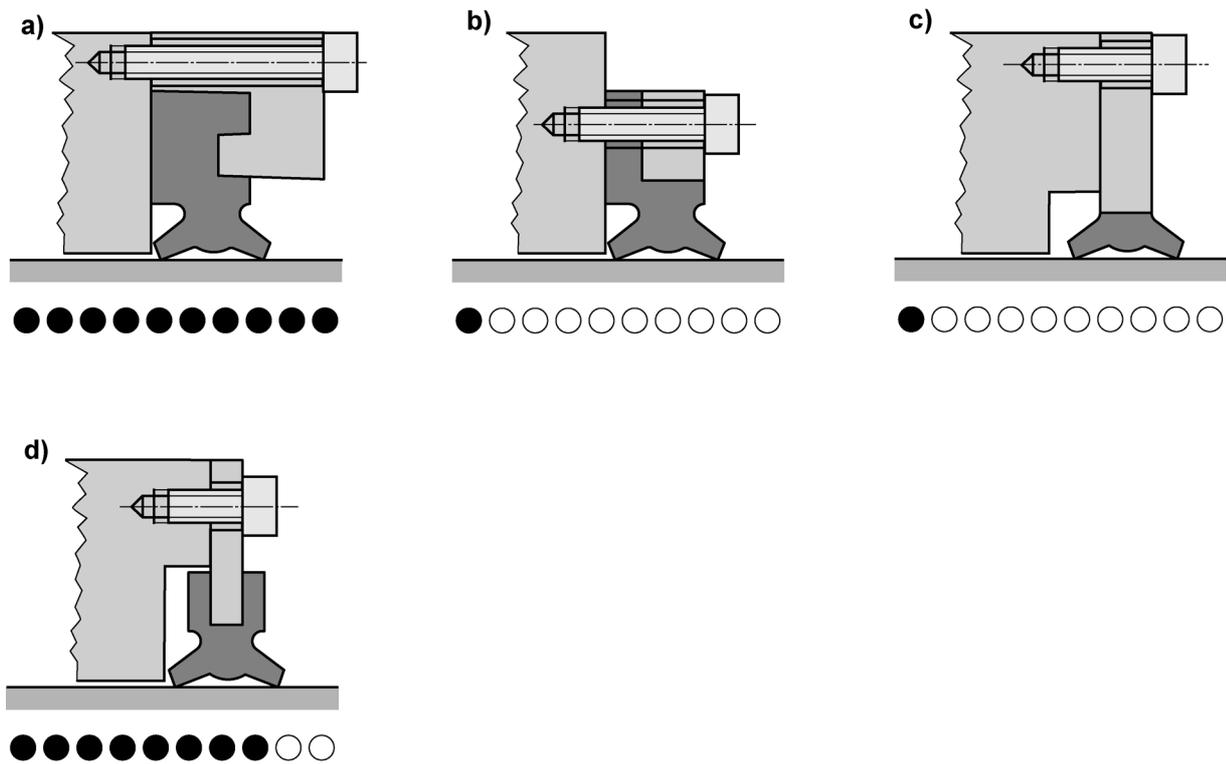


Bild 98: Befestigung des Abstreiferprofils

Unter Berücksichtigung der oben genannte Punkte wurde für die Abdichtung von Profilschienenführungen das Abstreiferprofil V18\_9\_ps entwickelt. Die Abmessungen und Winkelkombinationen der Dichtlippen wurden vom Abstreiferprofil V18\_9 übernommen.

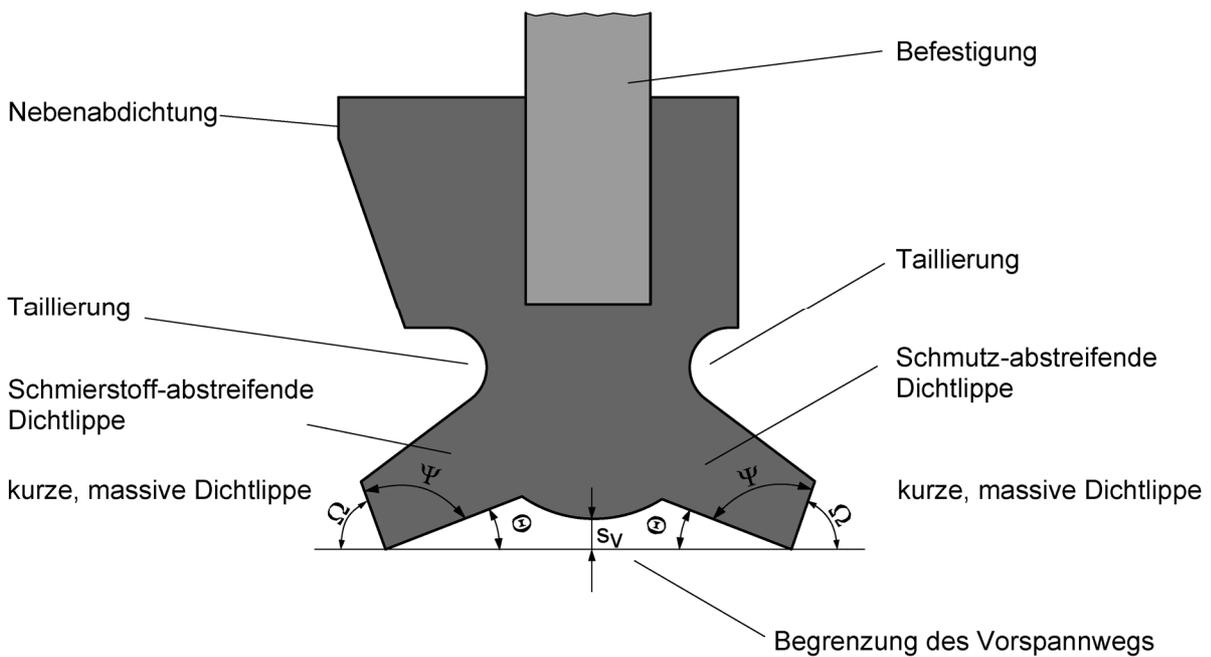


Bild 99: Abstreiferprofil V18\_9\_ps

Zur Befestigung am Führungswagen wird der Abstreifer an eine Trägerplatte angespritzt. Der Dichtkörper ist auf der Schmierstoffseite des Abstreifers über die Dichtlippe gezogen. Die Anlagefläche des Führungswagens wird über eine kleine Fläche berührt. So wird eine Nebenabdichtung erreicht, die keinen Einfluss auf den Pressungsverlauf unter der Dichtlippen hat.

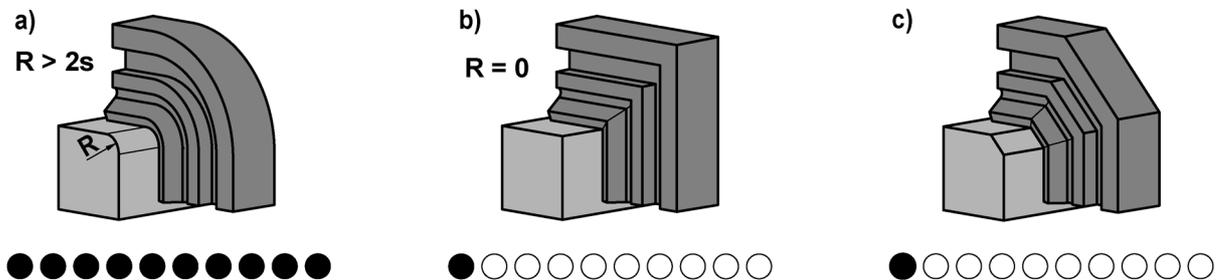


Bild 100: Gestaltung der Eckbereiche

Kritischer Punkt bei der Gestaltung von Abstreifern für Flachführungen und Abstreifern für Profilschienenführungen ist die Gestaltung der Eckbereiche. Scharfe Ecken sind unbedingt zu vermeiden, Bild 100b. Die auftretenden Spannungen überschreiten die zulässigen Werkstoffgrenzen. Das Abstreifermaterial verschleißt oft schon bei der Montage. Dort, wo Material abgetragen wird, besteht kein Kontakt mehr zur Gegenfläche. Schmierstoff kann ungehindert austreten. Fremdstoffe treten ungehindert ein. Eine Fase in diesem Bereich stellt keine Verbesserung dar, Bild 100c. Bei dieser Lösung teilt man lediglich ein scharfes Eck auf zwei scharfe Ecken auf. Während unter der geraden Dichtleiste im Bereich der schmutzabstreifenden Dichtlippe ca. 3 MPa und im Bereich der schmierstoffabstreifenden Dichtlippe ebenfalls ca. 3 MPa berechnet wurden, beträgt das Maximum an der schmutzabstreifenden Dichtlippe bei einem Radius von 0,1 mm 180 MPa, bei 0,5 mm 26 MPa und bei 1,0 mm nur noch 12 MPa. Die Verschleißgrenze von Werkstoff P5001 liegt bei 50 MPa. Radien in den Eckbereichen sorgen für eine gleichmäßige Spannungsverteilung im Abstreifer, Bild 100a. Belastungen oberhalb der Materialgrenze werden so vermieden.

- Eckbereiche sind mit einem Radius zu versehen, der mindestens so groß ist wie der doppelte Vorspannweg.

Grundsätzlich lassen sich einfache Geometrien deutlich besser abdichten als komplexe Geometrien. So ist die ebene Lauffläche einer Rollenschiene, Bild 101a, leichter abzudichten als die Lauffläche einer Kugelführung, Bild 101b. Die elastische Dichtlippe kann der Kontur der Führungsschiene bei zu geringen Radien nicht mehr folgen. Die Dichtlippe hebt an dieser Stelle ab. Die Folgen sind Leckage und Feststoffeintrag. Gleiches passiert bei eng aufeinander folgenden Radien, auch hier kann die elastische Dichtlippe die Gegenfläche nicht mehr berühren, Bild 101c.

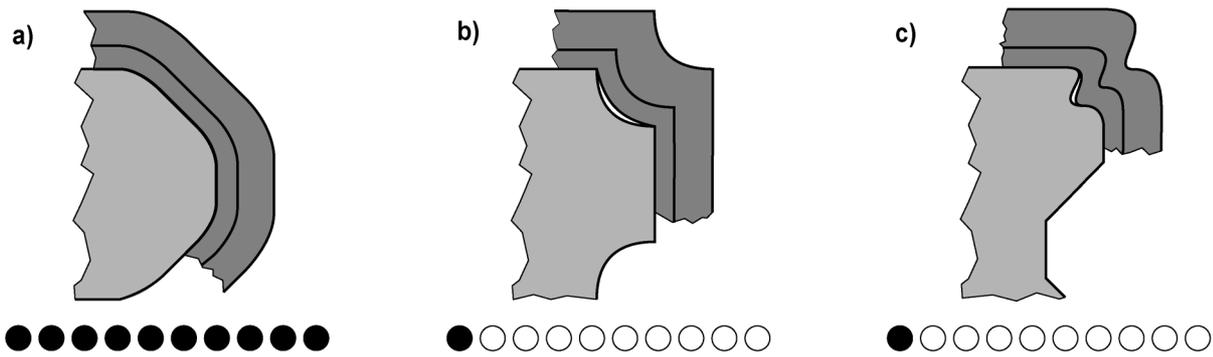


Bild 101: Gestaltung der Gegenlauffläche

Im Rahmen dieser Arbeit wurde für die Profilschienenführung 1 eine neue Abstreiferstirnplatte gemäß den oben aufgeführten Vorgaben entwickelt. Die Profilschiene 1 wurde ausgewählt, da sie im Vergleich zu den anderen betrachteten Profilschienen die einfachste Geometrie hat. Um die Profilschienenführung günstig abdichten zu können, muß die Profilschiene mit Radien versehen sein, die mindestens doppelt so groß sind wie der Vorspannweg der Abstreiferstirnplatte. Das machte eine Nachbearbeitung der Profilschiene notwendig. In Bild 102 ist das Ergebnis dieser Nachbearbeitung dargestellt. Auf der linken Seite des Bildes ist die Profilschiene 1 im ursprünglichen Zustand dargestellt. Die Schienengeometrie hat neben zwei scharfen Ecken Radien von 0,3 mm und 0,7 mm. Auf der rechten Seite des Bildes sind alle Ecken der Profilschiene mit einem Radius von 0,7 mm verrundet. Diese modifizierte Profilschiene wird im Weiteren Profilschiene 5 genannt. Der Führungswagen der Profilschienenführung 1 läßt sich ohne weiteres auch auf der neuen Profilschiene 5 einsetzen.

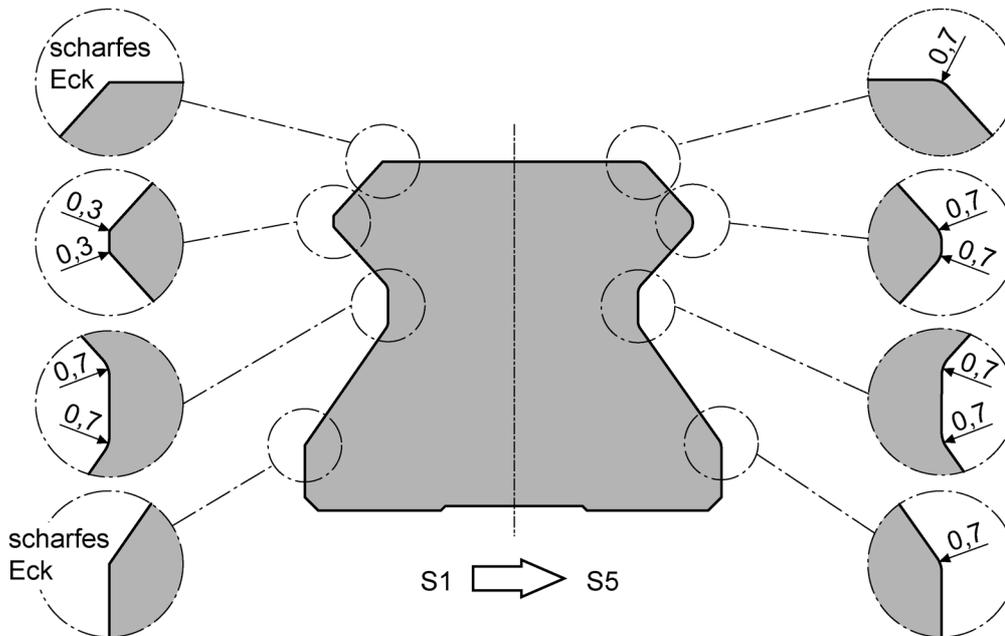


Bild 102: Entstehung der Schiene 5

Damit der Abstreifer an jeder Stelle die Gegenfläche berührt und eine genügend große Vorspannung hat, muss der Vorspannweg des Abstreifers entsprechend groß sein. Bei der Abstreiferstirnplatte wird der Vorspannweg durch ein Übermaß zur Gegenfläche festgelegt. Beim Abstreiferprofil V18\_9 liegt bei einem Vorspannweg von 0,44 mm die Abstützung auf. Der Vorspannweg wird so begrenzt. Für die Neuentwicklung der Abstreiferstirnplatte wurde der Vorspannweg auf ein Übermaß von 0,4 mm festgelegt. Dieses Übermaß stellt einen Kompromiss dar, aus dem Wunsch nach geringen Normalkräften auf der einen Seite und andererseits der Notwendigkeit, dass die Dichtlippen über den gesamten Querschnitt die Profilschiene berühren.

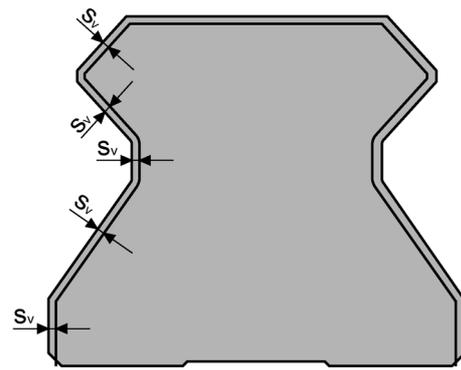


Bild 103: Übermaß Profilschiene

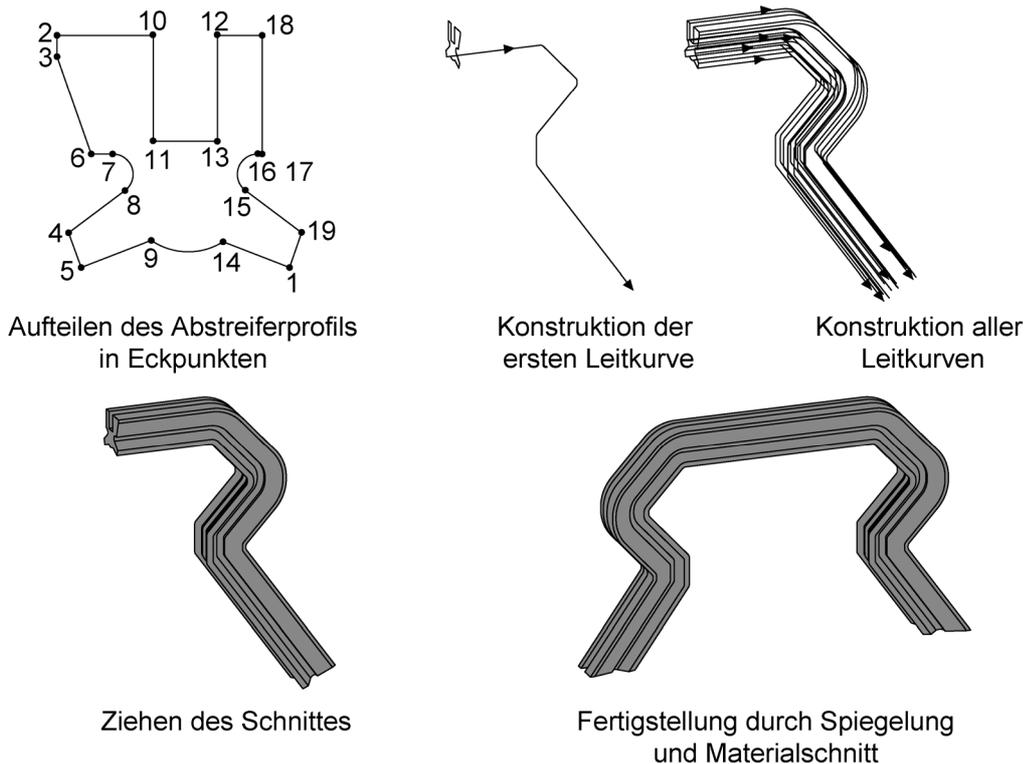


Bild 104: Konstruktion des Abstreifers durch ziehen eines variablen Schnittes

Die Abstreiferstirnplatte wurde mit den CAD-Programmen Cadra und Pro-Engineer erzeugt, /49/ - /50/. Die einzelnen Arbeitsschritte sind in Bild 104 dargestellt. Zunächst wird das Abstreiferprofil durch insgesamt 19 Eckpunkte markiert. Der Eckpunkt 1 an der schmutzabstreifenden Dichtlippe ist die tiefste Stelle des Abstreiferprofils. Mit dem Eckpunkt 1 als Start wird eine Leitkurve erstellt, die der Geometrie der Profil-

schiene folgt und um den Vorspannweg von 0,4 mm nach innen versetzt ist. Somit ist das Übermaß der Abstreiferstirnplatte festgelegt. In dieser Leitkurve werden die Eckradien von 0,7 mm übernommen. Da die Profilschiene spiegelsymmetrisch ist muss lediglich eine Hälfte der Kontur nachgefahren werden. Für jeden Eckpunkt des Abstreiferprofils wird eine separate Leitlinie konstruiert. Die einzelnen Leitlinien haben in den Bereichen der Abstreifer-Außenecken den gleichen Radius. In den Abstreifer-Innenecken nimmt der Radius von innen nach außen zu. Die Kurven der Leitlinien verlaufen in diesen Bereichen konzentrisch. Durch ziehen eines Variablen Schnittes wird aus der Hilfskonstruktion das halbe Abstreiferprofil. Fertiggestellt wird das 3D-Modell des Dichtungskörpers durch eine Spiegelung und einen Materialschnitt der überschüssiges Material der Dichtung entfernt.

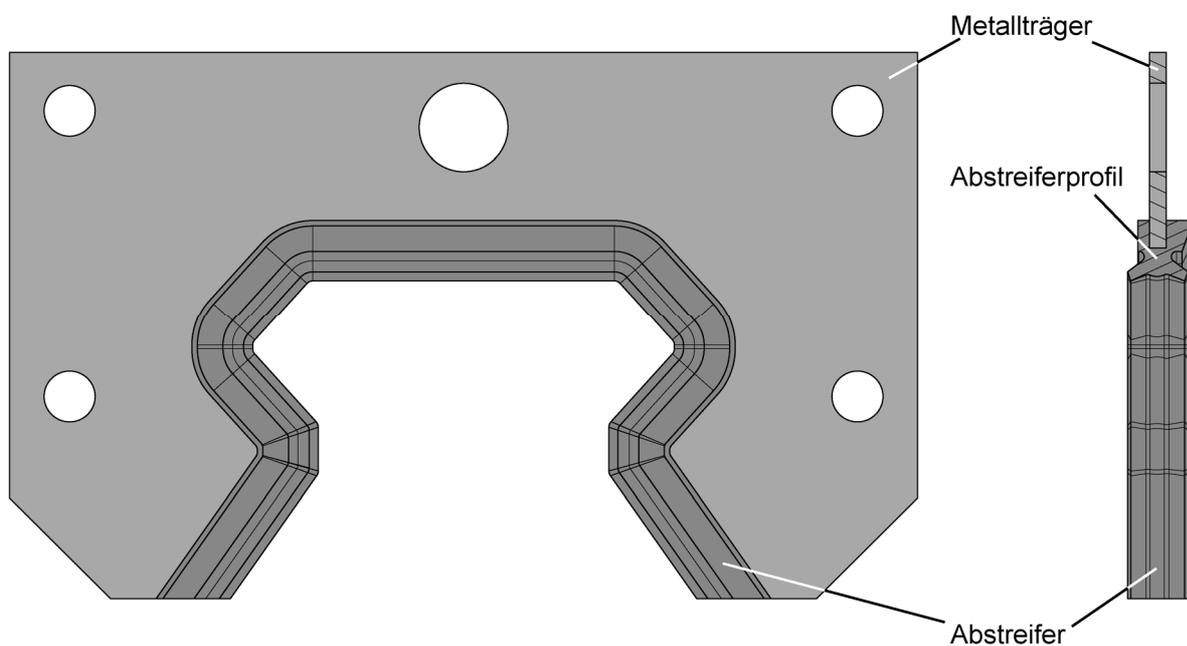


Bild 105: Abstreiferstirnplatte mit Metallträger

Für den Dichtungskörper wurden zwei Trägerplatten entworfen. Für den Betrieb am Prüfstand vollkommen ausreichend ist die erste Variante, die in Bild 105 dargestellt wird. Das Abstreiferprofil wird an ein Trägerblech angespritzt. Der Vorteil dieser Variante ist die vergleichsweise einfache Fertigung. Allerdings würde sich diese Variante nicht ohne ein weiteres Distanzstück an den Führungswagen der Profilschienenführung 1 montieren lassen. Die zweite Variante in Bild 106 ist zwar aufwendiger in der Fertigung, ist aber auch alltagstauglicher. Das Abstreiferprofil wird an eine Trägerplatte aus Kunststoff angespritzt. Die Trägerplatte ist so breit, dass die schmierstoffabstreifende Dichtlippe genügend Abstand zum Führungswagen erhält.

Eine Stirnplatte aus Metall sollte mindestens eine Wandstärke von 1,5 mm aufweisen. Bei Stahl oder Aluminium als Werkstoff mit einem Elastizitätsmodul  $E > 70.000 \text{ MPa}$  sind Probleme mit der Festigkeit, Verformungen oder ein Versagen der Stirnplatte nicht zu erwarten.

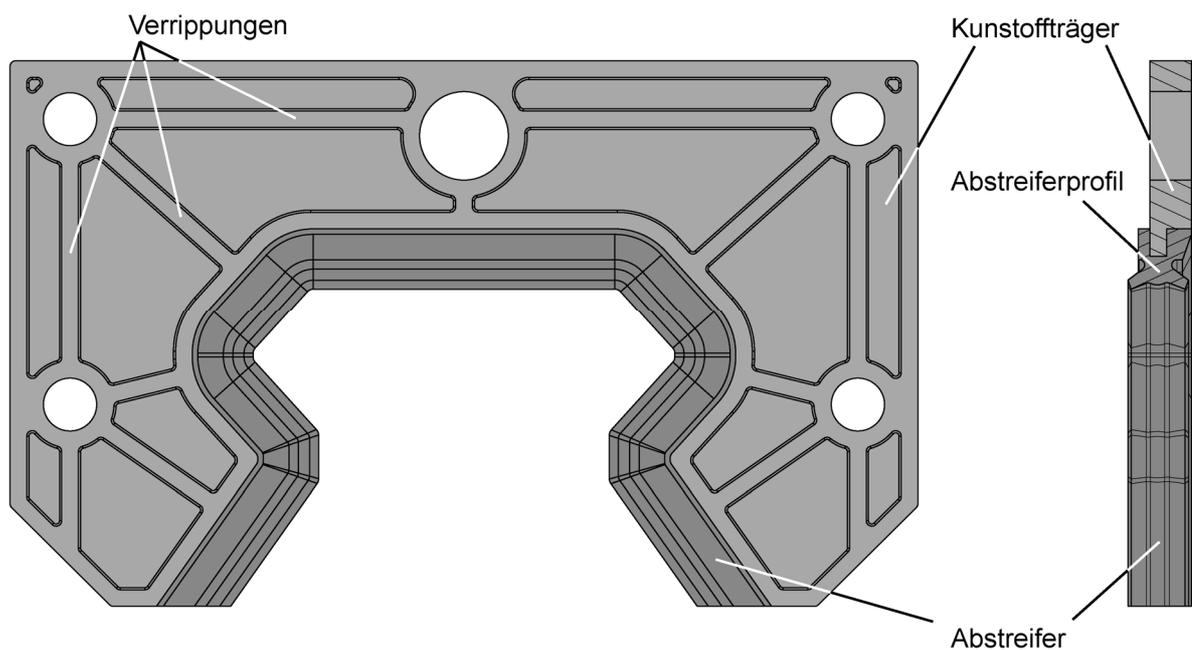


Bild 106: Abstreiferstirnplatte mit Kunststoffträger

Bei Kunststoffen ist der E-Modul deutlich kleiner. Bei gleicher Geometrie ist damit die Festigkeit des Bauteils aus Kunststoff deutlich geringer als bei einem Bauteil aus Aluminium. Die geringe Festigkeit kann aber nicht mit beliebig großer Wandstärke ausgeglichen werden. Aus diesem Grund sind Rippen an geeigneter Stelle eingefügt, um das Bauteil zu versteifen.

## 8 Ergebnisse neuer Abstreiferstirnplatten

Nach den Gestaltungsrichtlinien aus Kapitel 7 wurden insgesamt drei Abstreiferstirnplatten hergestellt. Diese Abstreiferstirnplatten werden als S5.1, S5.2, S5.3 und S5.4 bezeichnet. Die Abstreiferstirnplatten S5.1 und S5.3 bestehen aus einem Blecheinlege­teil mit angespritztem Dichtprofil aus einem Polyurethan. Beide Abstreiferstirn­platten stammen aus demselben Werkzeug. Abstreiferstirnplatte S5.4 ist eine nachgebes­serte Variante der Abstreiferstirnplatte S5.2. Diese Abstreiferstirnplatten bestehen aus einem Kunststoff-Einlege­teil mit angespritztem Dichtprofil. Die neuen Abstreiferstirn­platten wurden auf der Profilschiene 5 untersucht.

Parallel dazu werden die Ergebnisse einer weiteren neuen Abstreiferstirnplatte für die Profilschiene 3 vorgestellt. Diese Abstreiferstirnplatte wird als S3.3 bezeichnet. Das Profil dieser Abstreiferstirnplatte entspricht nicht ganz dem Profil V18\_9. Dennoch wurden auch bei dieser Abstreiferstirnplatte die Gestaltungsrichtlinien aus Kapitel 7 angewendet.

### 8.1 Konturenvergleich

Von den verschiedenen Varianten der Abstreiferstirnplatte S5.x wurden jeweils sechs Profilschnitte angefertigt. Bild 107 stellt die Positionen der einzelnen Schnitte dar. Bei der Schnittposition 1 und 2 liegt das Profil an der ebenen Fläche der Profilschiene an. Schnittposition 3, 4, 5 und 6 liegt auf einer Wälzbahn der Führung.

Bild 108 zeigt den Vergleich der Ist-Kontur mit der grau unterlegten Soll-Kontur. Bei den Abstreiferstirnplatten S5.1 und S5.2 lassen sich relativ große Abweichungen an den Dichtlippen feststellen. Diese Abweichungen führen zwangsläufig zu einer Erhöhung der Normal- und Reibkräfte der Abstreiferstirn­platte, da die Vorspannung durch ein Übermaß zur Profilschiene eingestellt wird. Die Kanten der Dichtlippen weisen große Radien sowie

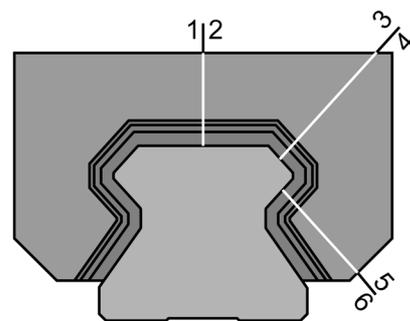


Bild 107: Schnittpositionen Schiene 5

Formaustriebe auf. Der Vergleich der Profilschnitte der Abstreiferstirnplatte S5.3 mit der Sollkontur zeigt nur für einen Schnitt eine gravierende Abweichung von der Sollkontur. Das gesamte Profil ist kleiner als die Sollkontur. Die Abweichungen der Dichtlippen ist geringer als bei Abstreiferstirnplatte S5.1. Die Kanten sind genauer gefertigt. Die Formaustriebe sind nicht so ausgeprägt.

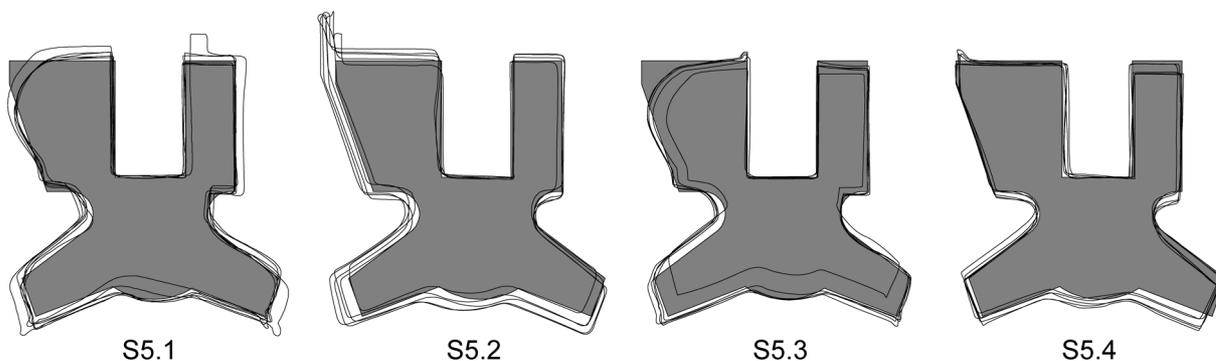


Bild 108: Konturenvergleich Abstreiferprofil V18\_9

Abstreiferstirnplatte S5.4 zeigt ebenfalls eine Verbesserung im Vergleich zur Abstreiferstirnplatte S5.2. Die schmierstoffabstreifende Dichtlippe stimmt gut mit der Sollkontur überein. Nur die schmutzabstreifende Dichtlippe weicht soweit ab, dass es zu einem Einfluss auf die Reibkräfte der Abstreiferstirnplatte kommen kann. Die Kanten der Dichtlippen haben nur sehr kleine Radien.

## 8.2 Profilanalyse

Die Eingüsse der Abstreiferstirnplatten mit den zugehörigen Profilschienen als Gegenfläche geben Auskunft über die Gestalt der Abstreifer im eingebauten Zustand und klären die Kontaktverhältnisse an den Dichtlippen. Die Bilder der einzelnen Profilschnitte haben alle die gleiche Ausrichtung. Links vom Abstreiferprofil befindet sich die Schmierstoffseite, rechts die Schmutzseite. Positionen der folgenden Schnitte sind die gleichen, wie in Bild 107 dargestellt.

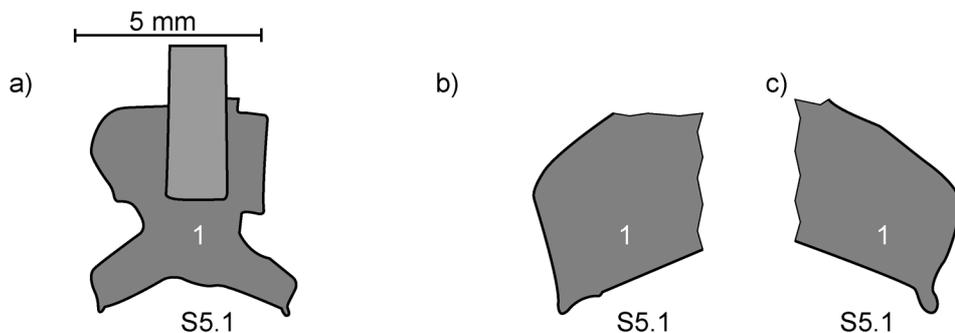


Bild 109: Abstreiferstirnplatte S5.1, Schnitt 1

Bild 109 zeigt die Abstreiferstirnplatte S5.1 im unmontierten Zustand. Die Dichtlippen sind unverformt.

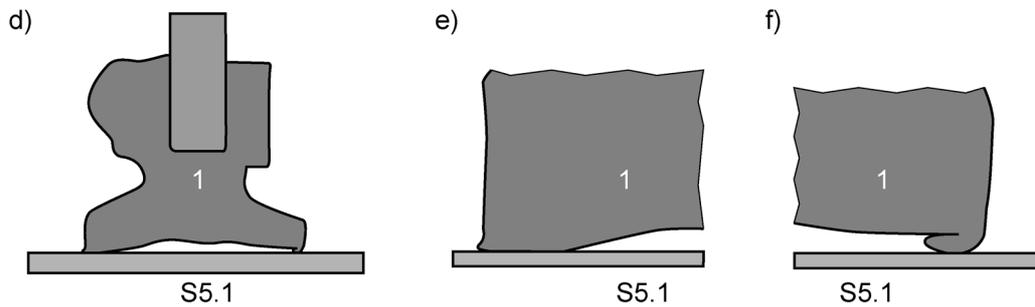


Bild 110: Abstreiferstirnplatte S5.1, Schnitt 1 mit Gegenfläche

Im direkten Vergleich dazu zeigen Bild 110 bis Bild 112 die Abstreiferstirnplatte, wie sie an der Profilschiene anliegt. Die Dichtlippen der Abstreiferstirnplatten werden deutlich verformt und vorgespannt.

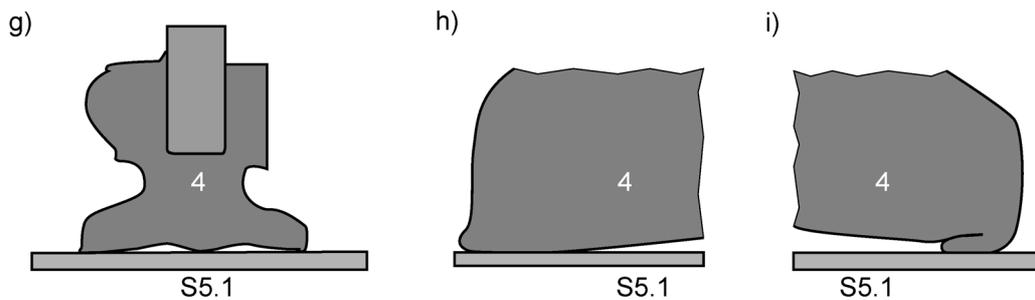


Bild 111: Abstreiferstirnplatte S5.1, Schnitt 4 mit Gegenfläche

An der Dichtkante der schmutzabstreifenden Dichtlippe befindet sich ein Formaustrieb. In den Profilschnitten mit Gegenfläche ist zu erkennen, wie sich dieser Formaustrieb umstülpt und unter die Dichtlippe schiebt. Die komplette Dichtlippe liegt auf dem Formaustrieb auf. Das führt zu Kontaktbedingungen mit ungünstigerem Pressungsverlauf und kleineren Gradienten.

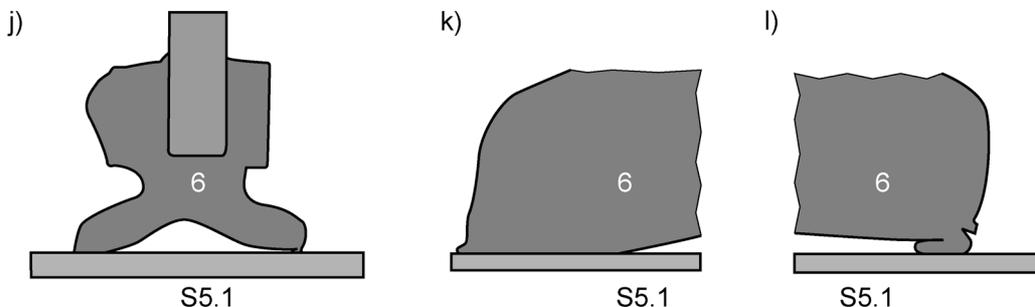


Bild 112: Abstreiferstirnplatte S5.1, Schnitt 6 mit Gegenfläche

Bild 113 zeigt die Durchlichtaufnahme der Abstreiferstirnplatte S5.1. An zwei Stellen sind deutliche Lichtspalte zu erkennen. Da der Werkstoff des Abstreifers transparent ist, schimmert Licht über die gesamte Schienengeometrie durch.

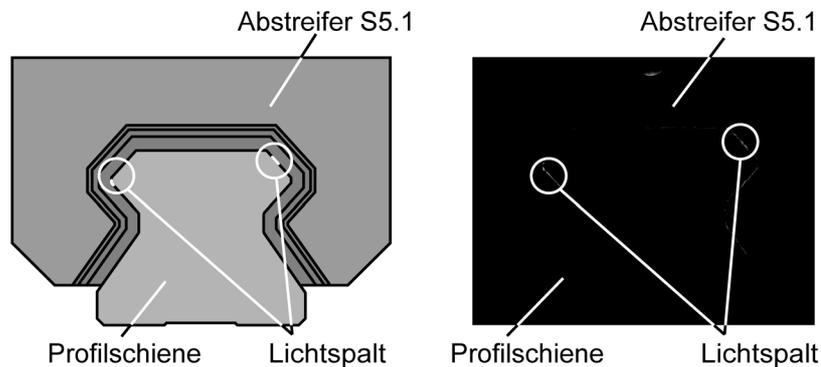


Bild 113: Durchlichtaufnahme Abstreiferstirnplatte S5.1

Bild 114 bis Bild 117 zeigen Profilschnitte der Abstreiferstirnplatte S5.3 mit und ohne Profilschiene. Der Vergleich der Bilder zeigt, dass die Abstreiferstirnplatte über allen Bereichen der Profilschiene ausreichend vorgespannt wird. Der Bauch des Abstreifers ist nicht überall komplett ausgebildet.

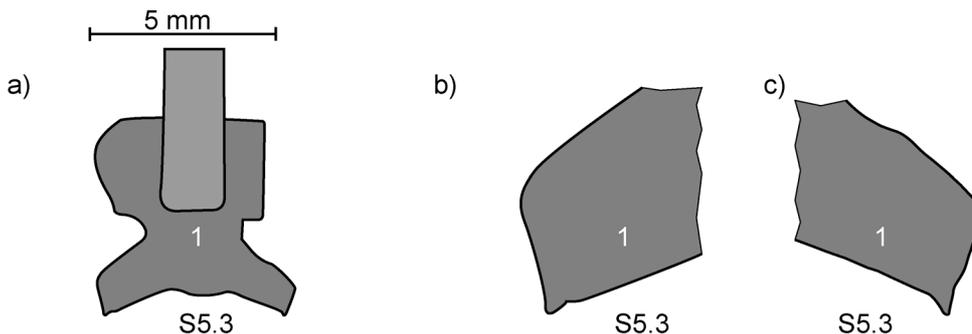


Bild 114 Abstreiferstirnplatte S5.3, Schnitt 1

An der schmutzabstreifenden Dichtlippe befindet sich im Bereich der Dichtkante wieder ein Formaustrieb. In Schnitt 1 und Schnitt 4 liegt die Dichtlippe wieder auf diesen Formaustrieb auf. Im Schnitt 4 ist der Formaustrieb umgestülpt und hat sich unter die Dichtlippe geschoben.

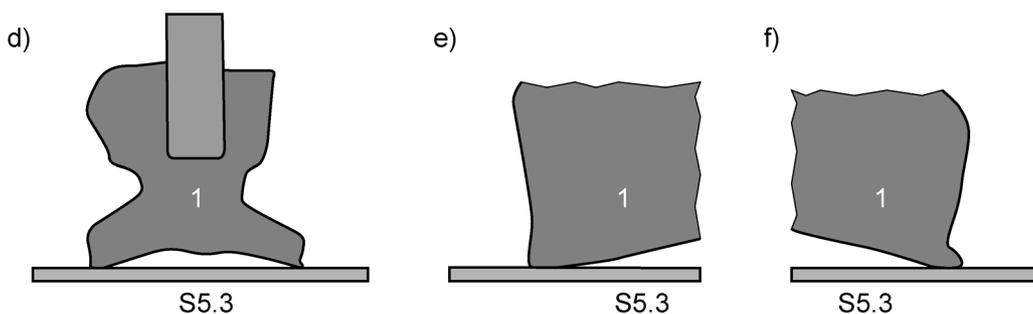


Bild 115: Abstreiferstirnplatte S5.3, Schnitt 1 mit Gegenfläche

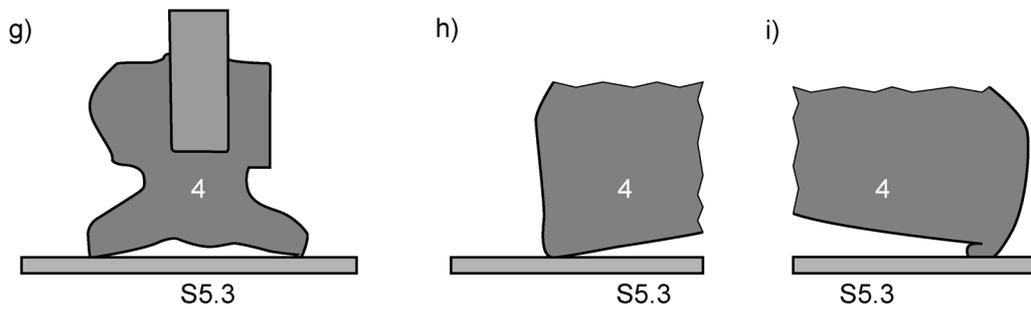


Bild 116: Abstreiferstirnplatte S5.3, Schnitt 4 mit Gegenfläche

Im Schnitt 6, Bild 117, zeigen sich diese Auffälligkeiten nicht. Die Abstreiferstirnplatte ist hier ausreichend vorgespannt und die Dichtlippen liegen sauber an der Gegenfläche an.

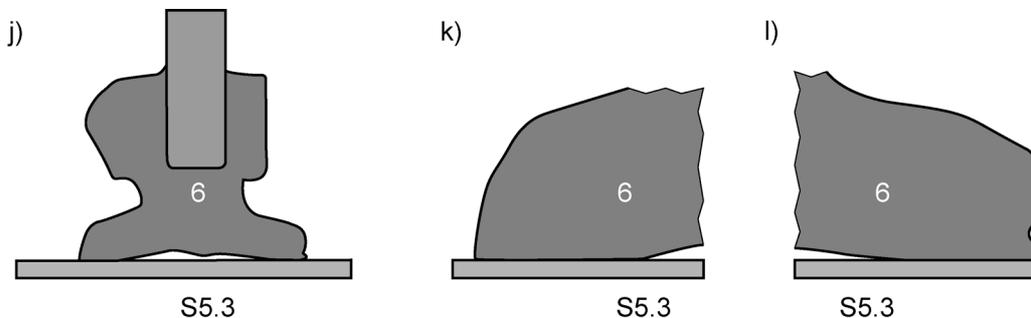


Bild 117: Abstreiferstirnplatte S5.3, Schnitt 6 mit Gegenfläche

Bild 118 zeigt die Durchlichtaufnahme der Abstreiferstirnplatte S5.3. Durch einen Filter wurde das Bild so aufbereitet, dass die hellsten Bereiche hervorgehoben werden. Dadurch lässt sich erkennen, dass durch den gesamten Dichtungskörper Licht durchschimmert. Lichtspalte sind nicht zu erkennen. Die Abstreiferstirnplatte hat über die gesamte Schienengeometrie ausreichend Kontakt zur Gegenfläche

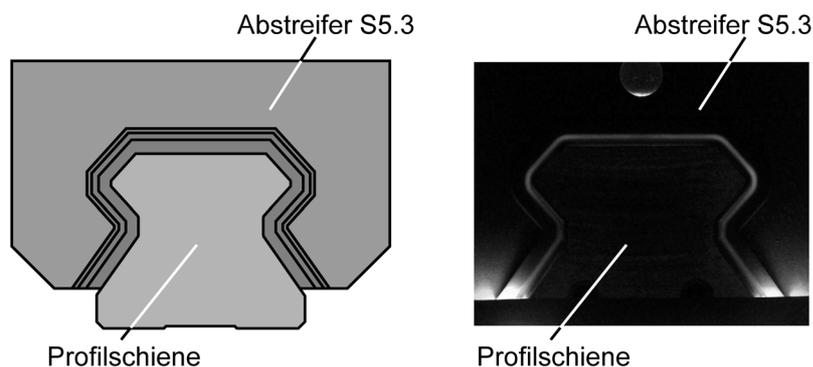


Bild 118: Durchlichtaufnahme Abstreifer S5.3

Bild 119 bis Bild 122 zeigen das Profil und die Dichtlippen der Abstreiferstirnplatte S5.4 für die verschiedenen Schnittpositionen. Die Positionen der einzelnen Schnitte sind wieder in Bild 107 dargestellt.

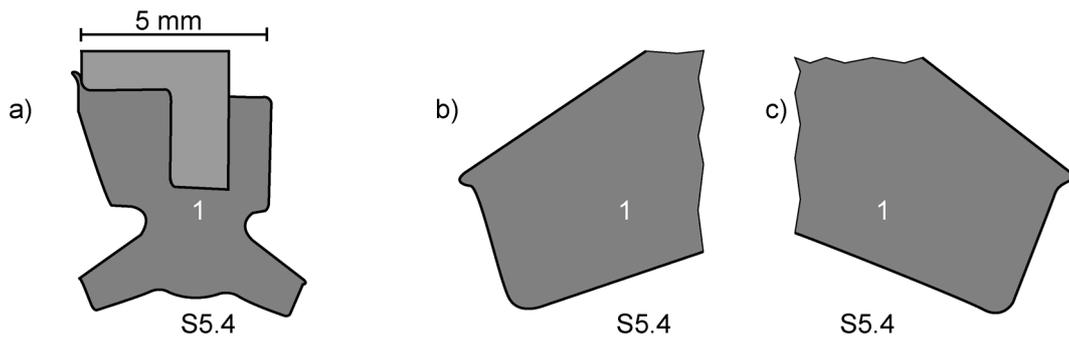


Bild 119: Abstreiferstirnplatte S5.4, Schnitt 1

Bild 119 zeigt das Profil ohne Gegenfläche. Dichtlippen und Abstützung des Abstreiferkörpers sind ausreichend genau ausgeformt. Die Kontaktzonen der Dichtlippen sind frei von Formaustrieben, Oberflächenfehlern und Graten.

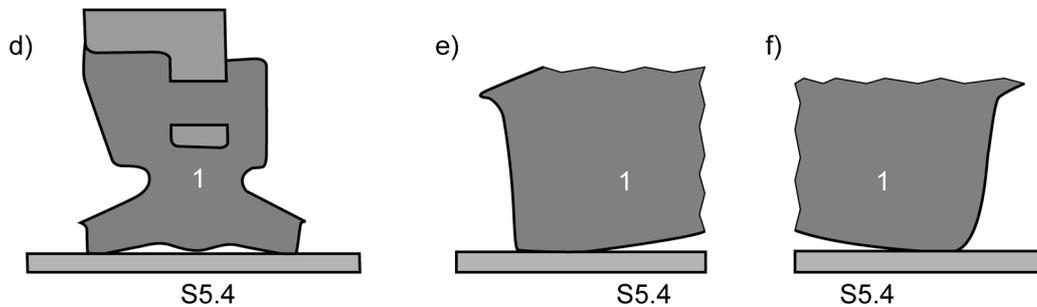


Bild 120: Abstreiferstirnplatte S5.4, Schnitt 1 mit Gegenfläche

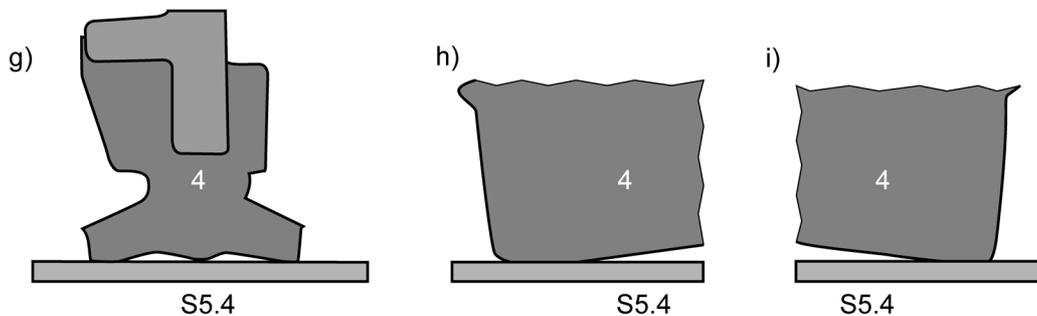


Bild 121: Abstreiferstirnplatte S5.4, Schnitt 4 mit Gegenfläche

In den Bildern mit zugehöriger Gegenfläche ist zu sehen, dass der Abstreifer überall gleichmäßig anliegt und die Dichtlippen ausreichend vorgespannt werden. Unter den Dichtlippen kann sich ein günstiger Pressungsverlauf mit hohen Gradienten aufbauen. Keilspalte entstehen nicht. Den Schnittbildern zufolge werden die Anforderungen an die Gestalt eines Abstreifers erfüllt. In Bild 120 ist zu erkennen, dass der Dichtungskörper zusätzlich über Durchspritzungen formschlüssig mit dem Träger der Abstreiferstirnplatte verbunden ist

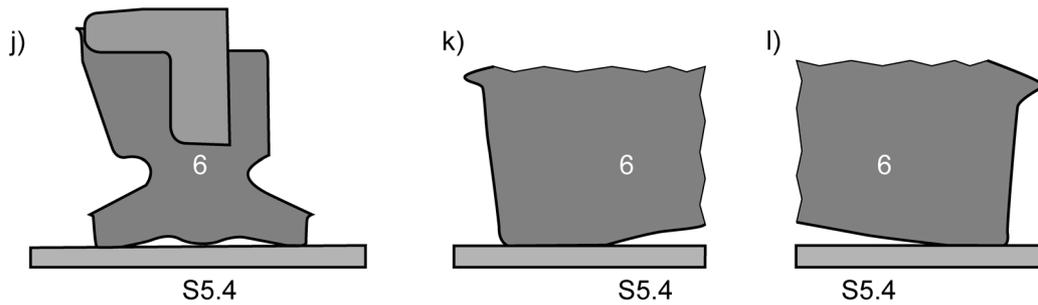


Bild 122: Abstreiferstirnplatte S5.4, Schnitt 6 mit Gegenfläche

Die Durchlichtaufnahme der Abstreiferstirnplatte S5.4 zeigt das gleiche Bild, wie die Profilschnitte mit Profilschiene. Durch einen Filter wurden die hellsten Bereiche im Bild aufgehellt. Die Abstreiferstirnplatte hat überall Kontakt zur Profilschiene. Lichtspalte entstehen nicht. Lediglich im oberen Bereich ist der Abstreifer weniger vorgespannt. Hier schimmert etwas Licht durch die Dichtlippe.

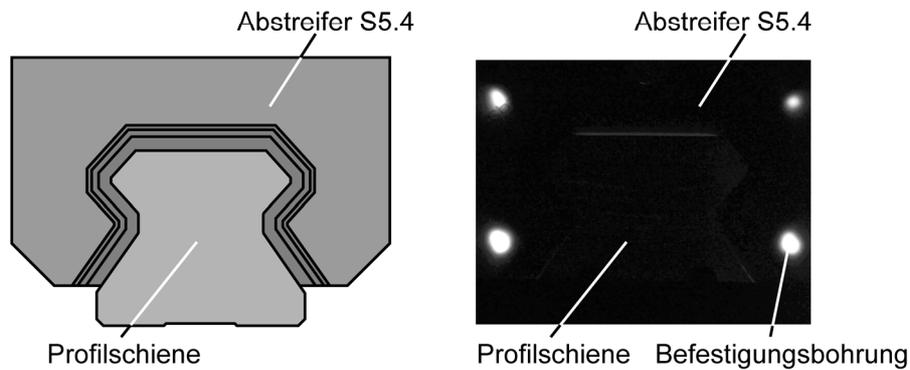


Bild 123: Durchlichtaufnahme Abstreifer S5.4

Die folgenden Bilder zeigen die Profilschnitte der Abstreiferstirnplatte S3.3. Die Schnittpositionen sind die gleichen, wie in Bild 76 dargestellt. Bild 124 zeigt das Profil ohne der zugehörigen Gegenfläche. An der schmierstoffabstreifenden Dichtlippe befindet sich ein kleiner Formaustrieb. Die schmutzabstreifende Dichtlippe ist ausreichend genau ausgebildet, der Radius an der Dichtkante ist sehr klein. Der Bauch der Dichtlippe ist vorhanden.

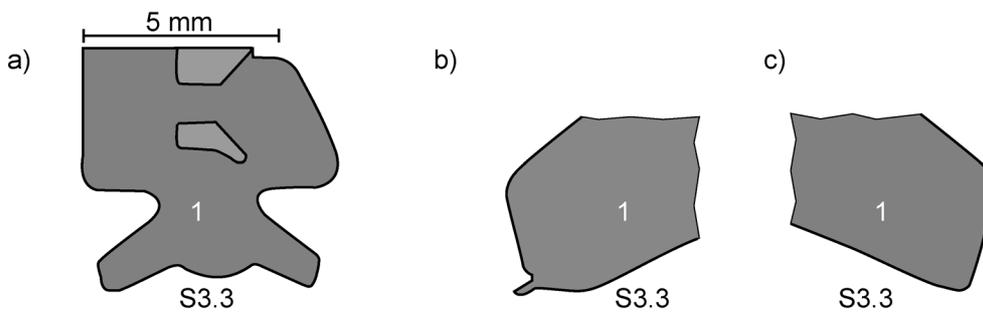


Bild 124: Abstreiferstirnplatte S3.3, Schnitt 1

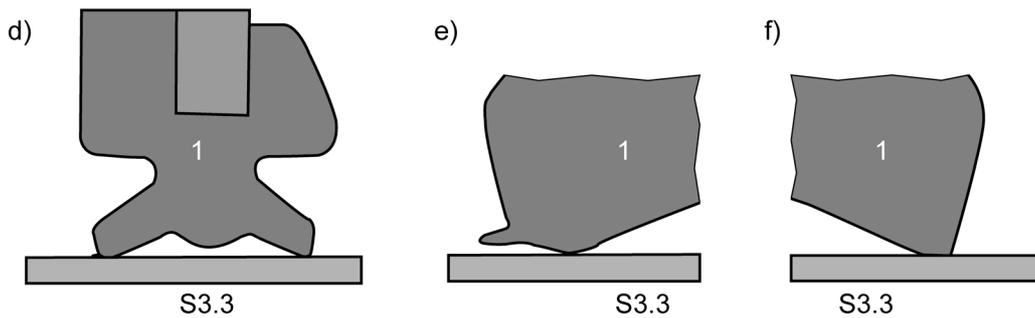


Bild 125: Abstreiferstirnplatte S3.3, Schnitt 1 mit Gegenfläche

In Bild 125 ist die gleiche Position mit anliegender Profilschiene dargestellt. Beide Dichtlippen werden nur wenig vorgespannt. Der Bauch der Dichtlippe hat deutlichen Abstand zur Profilschiene. Der Formaustrieb der schmierstoffabstreifenden Dichtlippe berührt die Profilschiene nicht und hat somit auch keinen Einfluss auf den Pressungsverlauf im Kontaktbereich.

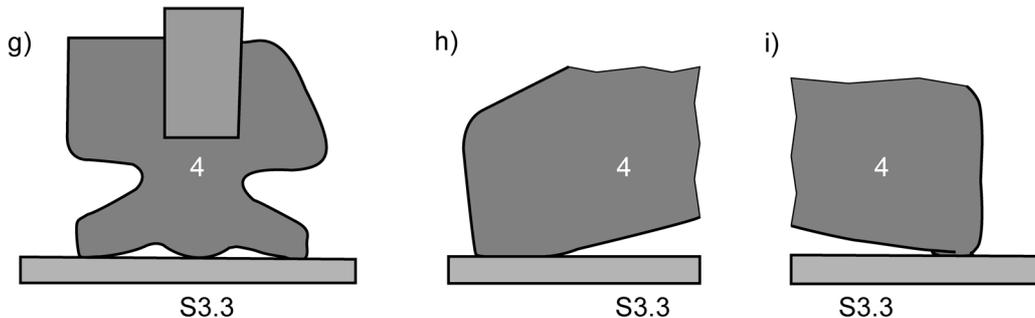


Bild 126: Abstreiferstirnplatte S3.3, Schnitt 4 mit Gegenfläche

In der Schnittposition 4, dargestellt in Bild 126, werden beide Dichtlippen ausreichend vorgespannt, der Bauch des Abstreifers hat Kontakt zur Profilschiene. Die schmierstoffabstreifende Dichtlippe zeigt keine Formfehler. An der schmutzabstreifenden Dichtlippe befindet sich ein kleiner Formaustrieb, der sich zwischen Dichtlippe und Profilschiene geschoben hat.

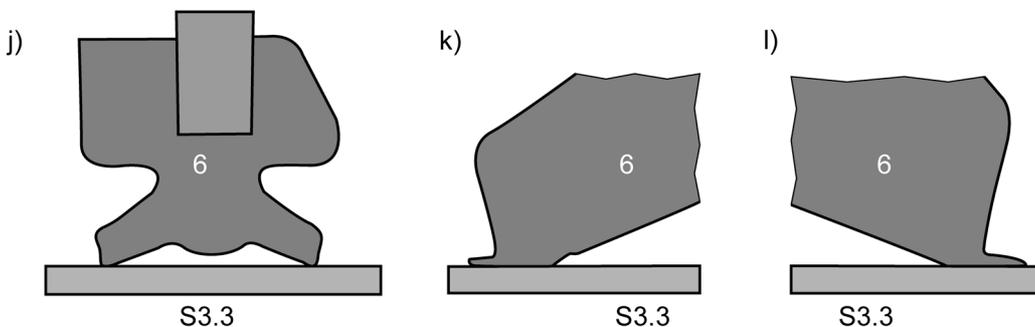


Bild 127: Abstreiferstirnplatte S3.3, Schnitt 6 mit Gegenfläche

Bild 126 zeigt die Schnittposition 6 der Abstreiferstirnplatte. Wieder sind beide Dichtlippen nur gering vorgespannt. Der Bauch der Dichtung hat deutlichen Abstand zur Profilschiene. An beiden Dichtlippen befinden sich Formaustriebe.

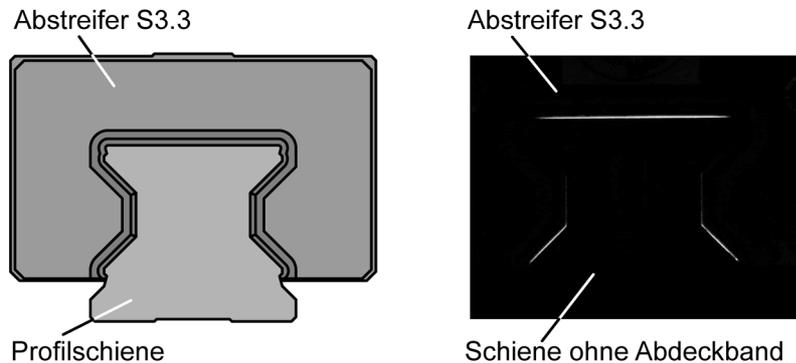


Bild 128: Durchlichtaufnahme Abstreifer S3.3

Die Durchlichtaufnahme der Abstreiferstirnplatte ist in Bild 128 dargestellt. Die Aufnahme bestätigt den Eindruck der von den Profilschnitten mit Profilschiene vermittelt wird. Durch einen Filter wurden die hellsten Bereiche im Bild aufgehellert. Die Abstreiferstirnplatte hat überall Kontakt zur Profilschiene. Lichtspalte entstehen nicht. Dennoch schimmert genau an den Stellen Licht durch die Dichtlippen, an denen das Abstreiferprofil nur sehr wenig vorgespannt wird.

### 8.3 Reibkraftmessungen

Im Rahmen der Reibkraftuntersuchungen wurden die Abstreiferstirnplatten mit und ohne Schmierstoffbeaufschlagung untersucht. Die Trockenreibung-Untersuchungen zeigen die Tauglichkeit der Abstreifer bei sehr schlechten Schmierungsbedingungen, wie sie nur in Ausnahmefällen an realen Werkzeugmaschinen-Führungen vorkommen sollten.

Bild 129 zeigt die Reibkräfte bei Trockenreibung. Von den fünf untersuchten Abstreiferstirnplatten war keine bei Trockenreibung instabil. Stick-Slip oder Reibschwingung traten nicht auf. Die Höhe der gemessenen Reibkraft wird in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung aufgetragen. Bei allen Abstreiferstirnplatten führt die Vorspannung der Dichtlippe zu deutlich größeren Reibkräften als bei den handelsüblichen Abstreifern. Sowohl bei der schmierstoffabstreifenden Bewegung ( $-1500 < v < 0$  mm/s), als auch bei der schmutzabstreifenden Bewegung ( $0 < v < 1500$  mm/s) ist die Reibkraft abhängig von der Geschwindigkeit. Auffällig ist, dass die Abstreiferstirnplatten S5.1 bis S5.4 qualitativ zwar den selben Reibkraftverlauf haben, die Größe der Reibkräfte unterscheiden sich aber deutlich. Abstreiferstirnplatte S5.4 hat deutlich geringere Reibwerte als Abstreiferstirnplatte S5.1, obwohl das Abstreiferprofil identisch ist und der Werkstoff von der Härte vergleichbar. Dieser Unterschied lässt sich mit der besseren Fertigungsqualität der Abstreiferstirnplatte

S5.4 erklären. Die bereits vorgestellten Profilschnitte bestätigen das. Auch die größtenteils geringere Vorspannung der Abstreiferstirnplatte S3.3 macht sich in der Reibkraftmessung bemerkbar.

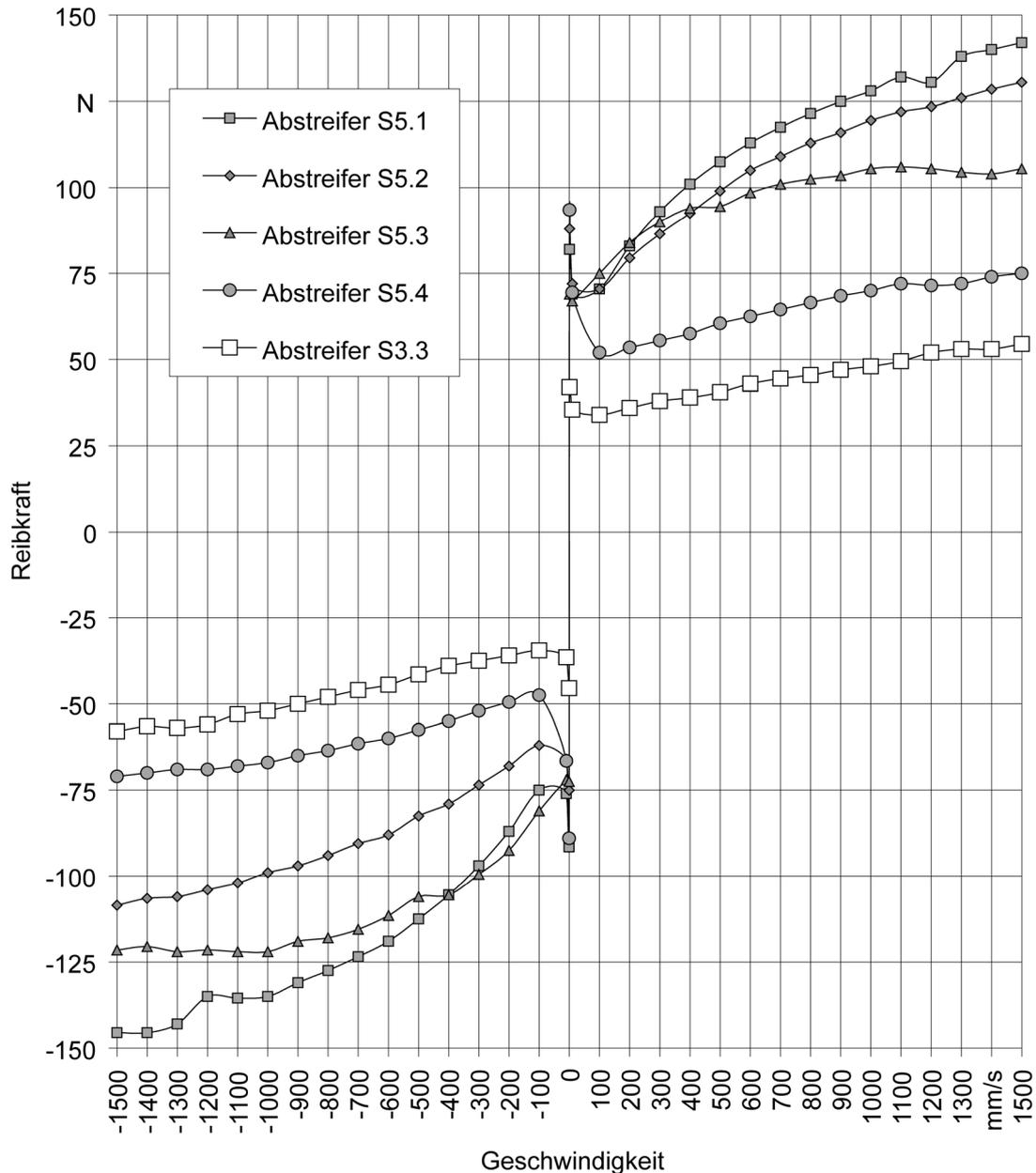


Bild 129: Reibkräfte bei Trockenreibung

Die Nassreibung-Untersuchungen entsprechen eher den Gegebenheiten in der realen Werkzeugmaschinen-Führung. Dazu wird die Dichtung mit FVA-Referenzöl (ISO VG 68) beaufschlagt. Das Ergebnisse der Untersuchung ist in Bild 130 dargestellt. Die Höhe der gemessenen Reibkraft wird in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung aufgetragen. Bei sehr kleinen Geschwindigkeiten herrscht Festkörperkontakt zwischen Dichtlippe und abzustreifender Fläche. Mit zunehmender Ge-

schwindigkeit verbessern sich die Schmierungsverhältnisse. Die Reibpartner werden durch einen Schmierfilm mehr und mehr getrennt und die Reibung erreicht ihr Minimum. Bei allen untersuchten Stirnplatten hat die Geschwindigkeit nur noch geringen bzw. keinen Einfluss mehr auf die Reibkraft sobald die Reibpartner vollständig durch den Schmierfilm getrennt sind.

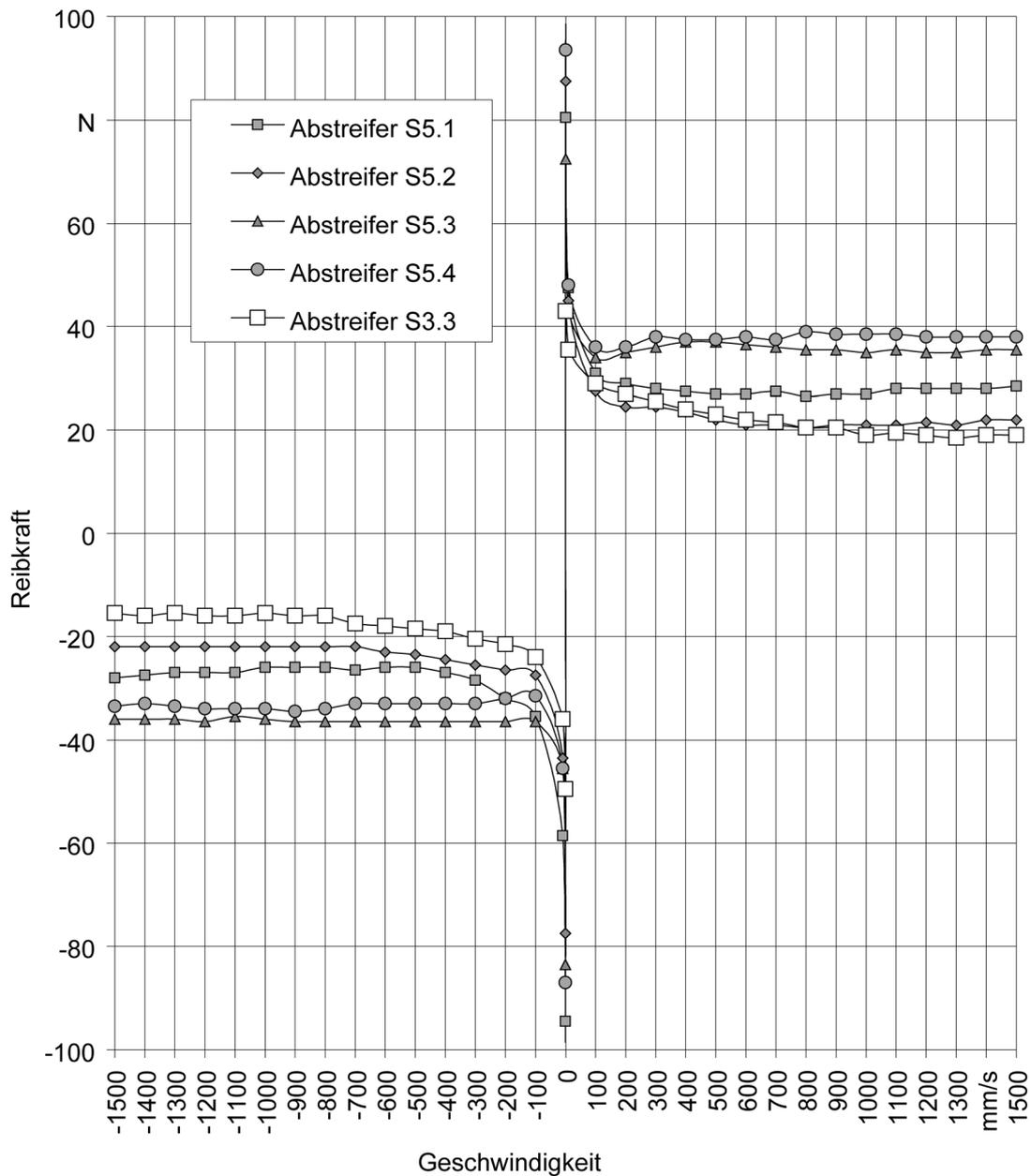


Bild 130: Reibkräfte bei Nassreibung

Auch im geschmierten Zustand lässt sich ein Zusammenhang zwischen Reibkraft und Fertigungsqualität feststellen. Je exakter das Dichtprofil der Abstreiferstirnplatte gefertigt ist, desto größer ist die Reibung. Richtig ausgeformte Dichtkanten führen zu einem Pressungsverlauf mit großen Gradienten. Dadurch wird die Dicke des ausge-

schleppten Ölfilmes reduziert. Durch die geringere Schmierfilmdicke nimmt die Reibung zu.

Die abschließende Bewertung der Leckage der Einzelnen Abstreiferstirnplatten und der Kombinationen zeigt sehr gute bis gute Ergebnisse.

Tabelle 10: Bewertung der Leckage

	S5.1	S5.2	S5.3	S5.4	S3.3
Note	+	++	++	++	++

Dabei hinterlassen die Abstreiferstirnplatten beim schmierstoffabstreifenden Hub eine nahezu trockene Oberfläche.

## 8.4 Untersuchungen zum Feststoffeintrag

Die am Prüfstand durchgeführten Untersuchungen zum Feststoffeintrag geben Auskunft über die Menge von Feststoffen die in das System hineingebracht werden. Wie dieser Feststoffeintrag stattfindend, kann mit den Profilschnitten der Abstreiferstirnplatten rekonstruiert werden.

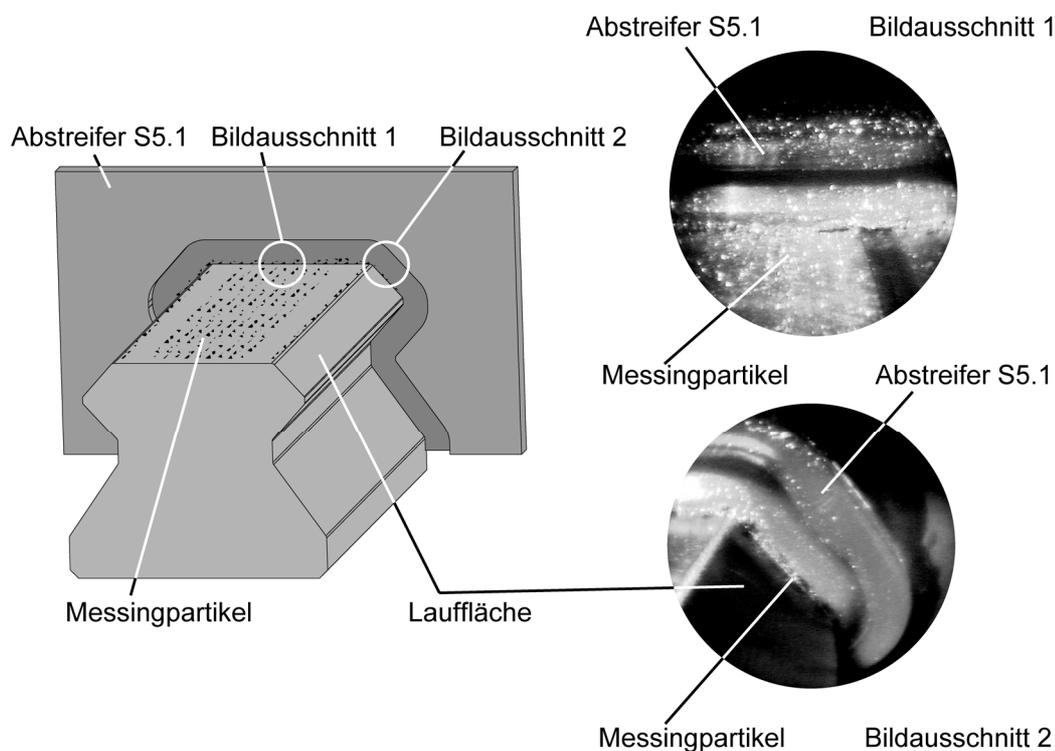


Bild 131: Abstreiferstirnplatte S5.1 bei Versuchsende

Von besonderem Interesse bei dieser Untersuchung ist der direkte Vergleich zu den Ergebnissen der Abstreiferstirnplatten S1.1 und S1.2 (Vergleiche Kapitel 6).

Bild 131 zeigt die Abstreiferstirnplatte S5.1. Während bei kleinen Geschwindigkeiten Partikel in das System eindringen, nimmt deren Zahl im kleinen und mittleren Geschwindigkeitsbereich nicht weiter zu. Zum Ende des Versuches lässt sich ein Feststoffeintrag auf der ebenen Fläche der Profilschiene ausmachen. Dieser ist deutlich geringer wie bei den handelsüblichen Abstreiferstirnplatten, aber immer noch groß. Erklären lässt sich die Menge der eingeschleppten Feststoffpartikeln mit den zugehörigen Profilschnitten in Bild 110. Hier ist an der schmutzabstreifenden Dichtlippe ein Formaustrieb zu erkennen, der sich zwischen Dichtkante und Profilschiene geschoben hat. Dieser Formaustrieb stellt für die schmutzabstreifende Dichtlippe eine Profilinstabilität dar. Bei der Bewegungsumkehr zieht sich der Formaustrieb unter die Dichtlippe oder wird wieder herausgezogen. An der Oberfläche des Abstreifers anhaftende Feststoffe gelangen so bei der schmutzabstreifenden Bewegung in den Dichtspalt. Auffällig ist aber auch, dass in den Bereich der Wälzbahnen, im Bild 131 im Bildausschnitt 2 dargestellt, weniger Partikel eingedrungen sind als in den ebenen Bereich. Auf der Wälzbahn zeigt die Abstreiferstirnplatte ein gutes Abstreifergebnis.

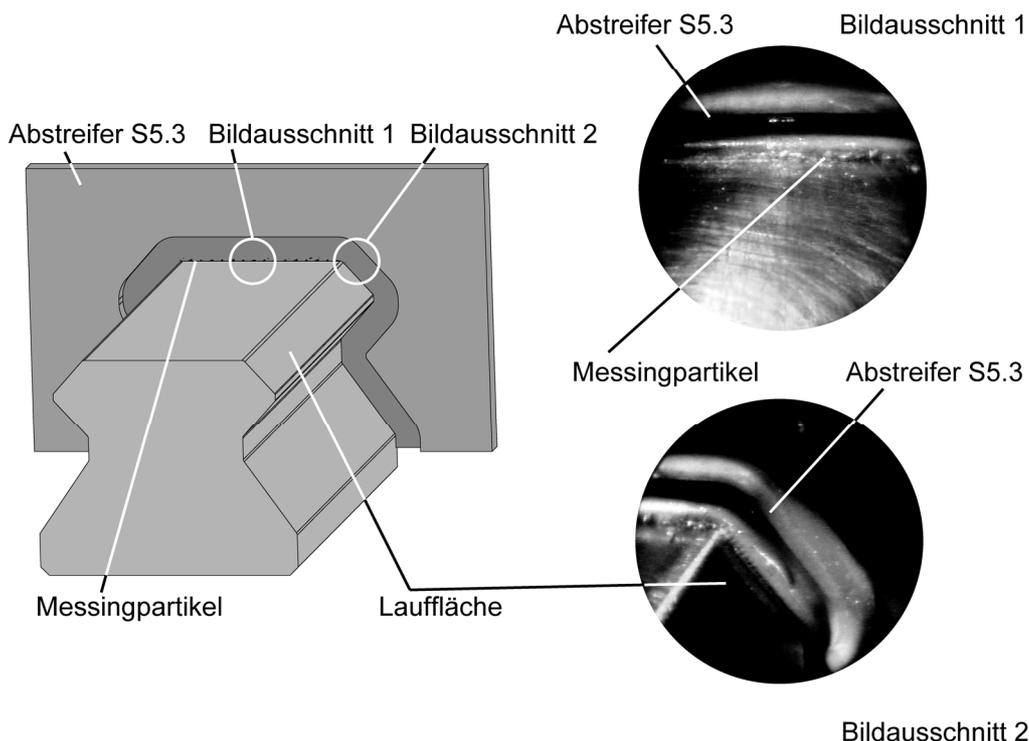


Bild 132: Abstreiferstirnplatte S5.3 bei Versuchsende

Abstreiferstirnplatte S5.3 stammt aus dem selben Werkzeug wie Abstreiferstirnplatte S5.1. Das Abstreiferprofil besteht aber aus einem anderen Werkstoff und ist genauer gefertigt. Bild 132 zeigt die Abstreiferstirnplatte bei Versuchsende. Auch nach insgesamt 800 Hüben mit einer Geschwindigkeit von 1000 mm/s zeigen sich kaum Partikel im Ölraum. Auf der ebenen Fläche sind vereinzelte Partikel an der Dichtlippe zu er-

kennen, auf der schrägen Laufbahn fast keine Das Abstreifergesamt ist insgesamt sehr gut.

Die Abstreiferstirnplatte S5.2 hat einen Träger aus Kunststoff. Dieser erwies sich im Versuch als zu instabil. Bei mittleren Geschwindigkeiten ließen sich an der schmierstoffabstreifenden Dichtlippe nur sehr wenige Messingpartikel erkennen. Der Abstreifer verschiebt sich beim jeweiligen Hub parallel zur Bewegungsrichtung. Bei den hohen Geschwindigkeiten ließ sich beobachten, dass die schmierstoffabstreifende Dichtlippe beim schmutzabstreifendem Hub abhebt. Bei der schmierstoffabstreifenden Bewegung verstemmte sie sich. Trotz dieses Umstands befinden sich bei Versuchsende nur wenige Partikel hinter dem Abstreifer Durch die hohen wirksamen Kräfte hatte sich aber der Dichtungskörper teilweise vom Kunststoffträger gelöst. Abstreiferstirnplatte S5.4 stellt eine weiterentwickelte Variante der Abstreiferstirnplatte S5.2 dar. Das Abstreiferprofil der Stirnplatte ist exakter ausgeführt. Die Anbindung des Dichtungskörpers an die Trägerleiste durch Durchspritzungen verstärkt.

Bild 133 zeigt die Abstreiferstirnplatte S5.4 bei Versuchsende. Nur wenige Feststoffpartikel sind auf die Sauberseite der Dichtung gelangt. Auf der ebenen Fläche wurden etwas mehr Partikel eingeschleppt als auf den schrägen Wälzbahnen. Wieder verschob sich der Abstreifer parallel zur Bewegungsrichtung. Die Dichtung selbst war formstabil. Das Abstreifergesamt war sehr gut.

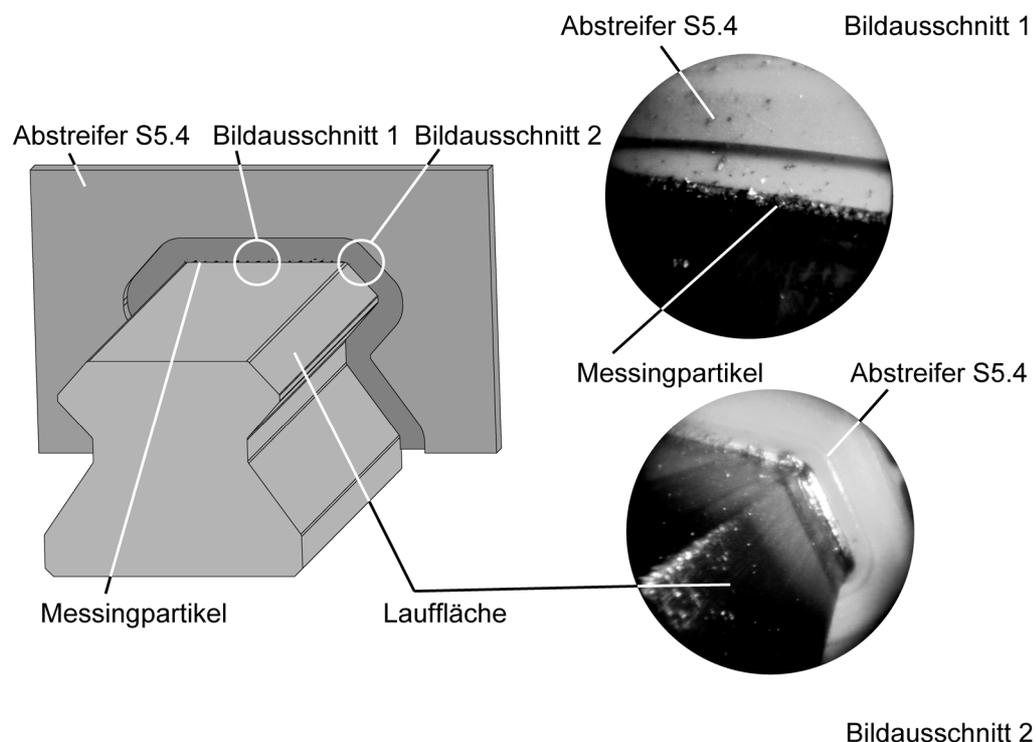


Bild 133: Abstreiferstirnplatte S5.4 bei Versuchsende

Auch die Abstreiferstirnplatte S3.3 zeigt im Vergleich zu den Abstreiferstirnplatten S3.1 und S3.2 ein gutes Abstreifergesamt bei der Abdichtung fester Fremd-

stoffe. Der Versuch belegte aber auch, dass komplexe Schienengeometrien schwieriger abzudichten sind. Im Versuch war zu erkennen, dass im Bereich in dem das Abdeckband eingeklipst werden kann, Feststoffpartikel hindurchgeschleppt werden. Bild 134 zeigt die Abstreiferstirnplatte zum Ende des Versuches. Im ebenen Bereich und auf der unteren schrägen Wälzbahn lassen sich einige, wenige Partikel erkennen. Die Profilschnitte und die Durchlichtaufnahme der Abstreiferstirnleiste haben gezeigt, dass das Dichtungsprofil hier weniger vorgespannt ist.

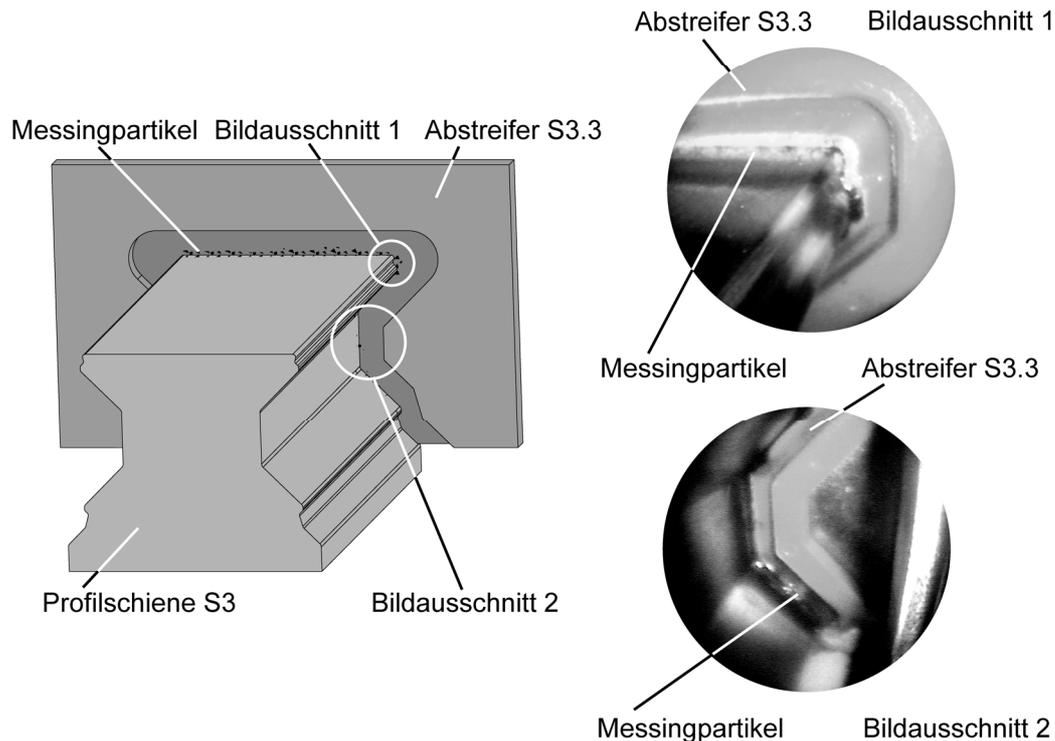


Bild 134: Abstreiferstirnplatte S3.3 bei Versuchsende

## 8.5 Einfluss der Gegenauflfläche

Betrachtet man die Ergebnisse der neuen Abstreiferstirnplatten für die Profilschiene S5 fällt auf, dass der Partikeleintrag auf den Wälzbahnen immer geringer war als auf der oberen ebenen Fläche. Da alle Flächen von derselben Abstreifergeometrie abgedichtet werden, liegt die Vermutung nahe, dass dies an der Oberflächenstruktur liegt. Die Oberflächentopografie der entsprechenden Flächen ist in Bild 135 dargestellt, /51/.

Die obere, ebene Fläche hat eine gemittelte Rautiefe von  $R_z = 5,57 \mu\text{m}$  und einen Mittenrauwert von  $R_a = 0,369 \mu\text{m}$ . Die schräge Laufläche hat die Rauheitsgrößen  $R_z = 2,34 \mu\text{m}$  und  $R_a = 0,261 \mu\text{m}$ . Diese Rauheitswerte an sich sind nicht entscheidend für den Schmutzeintrag. Entscheidend ist die Struktur. Sind, wie an der schrägen Laufläche, nur Strukturen in Längsrichtung vorhanden, schiebt der Abstreifer den Fest-

stoff in den Riefen vor sich her und nur Partikel, die deutlich kleiner sind als die Riefe, werden unter dem Abstreifer hindurchgeschleppt.

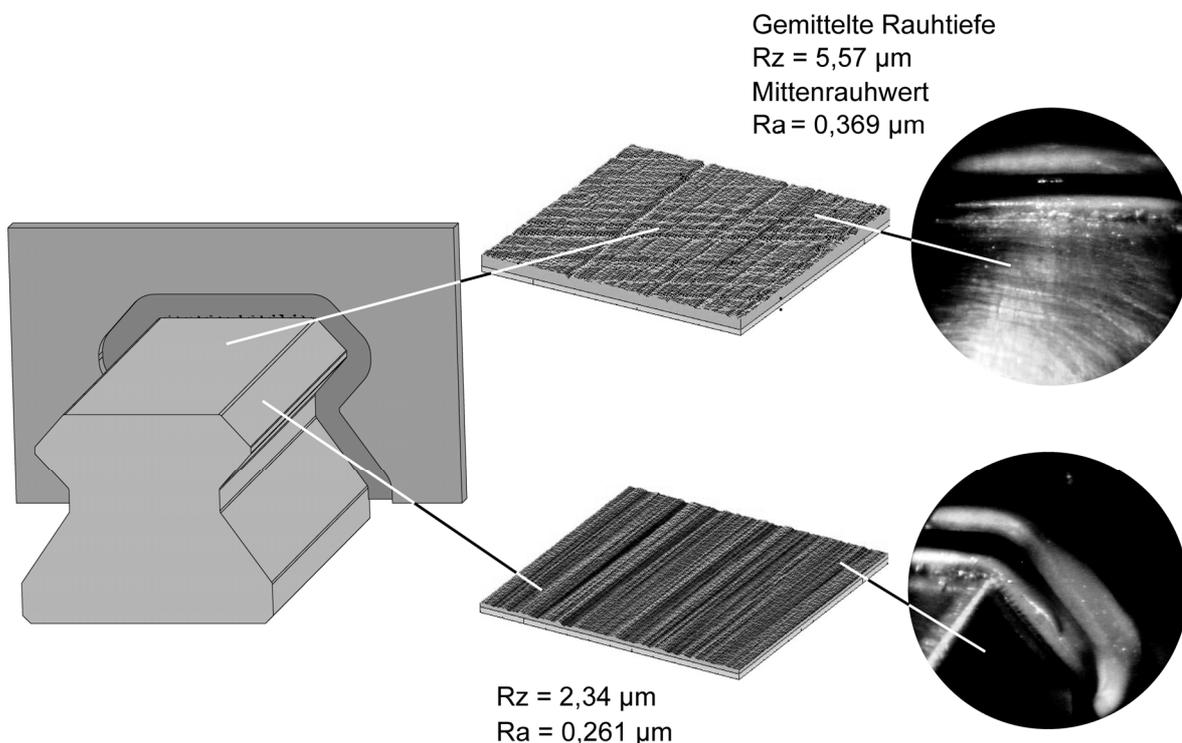


Bild 135: Einfluss der Gegenauflfläche

Sind dagegen, wie auf der oberen Fläche, auch Strukturen in Querrichtung vorhanden, kommt es zum Verkeilen von Partikeln, die Dichtkante wird angehoben, deutlich mehr und größere Partikel passieren die Dichtkante. Dieser Vorgang wird in Bild 136 verdeutlicht.

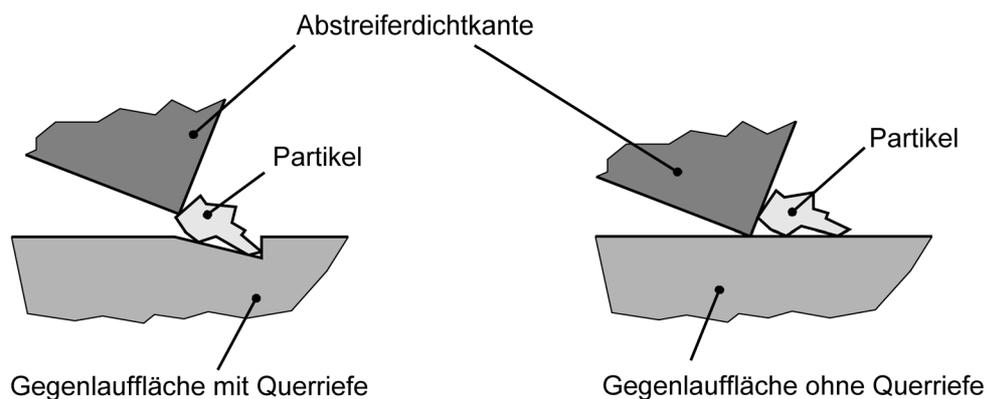


Bild 136: Erhöhung des Verschmutzungseintrags durch Querriefen

## 8.6 Fazit

Die neu entwickelten Abstreifer haben allesamt eine viel größere Wirksamkeit gegen die Leckage und den Eintrag von festen Fremdstoffen gezeigt als alle untersuchten handelsüblichen Abstreifer. Das zeigt der Vergleich der neuen Abstreiferstirnplatten für die Profilschiene 5 mit der Abstreiferkombination S1.1 und S1.2

Die handelsüblichen Abstreifer haben in den Reibkraftuntersuchungen sehr geringe Reibkräfte aufgrund sehr geringer Normalkräfte und Vorspannwege gezeigt. Bei den Verschmutzungsuntersuchungen konnte gezeigt werden, wie wenig solch filigrane Dichtlippen einen massiven Verschmutzungseintrag entgegenzusetzen haben. Ein zuverlässiger Schutz vor festen Fremdstoffen ist nicht ohne den Preis erhöhter Reibkräfte zu haben.

Es ist zu beachten, dass bei der Herstellung von Abstreiferstirnplatten höhere Anforderungen bezüglich Form- und Maßtoleranzen erforderlich sind als bei den früher untersuchten Abstreifern für Flachführungen. Das zeigt der Vergleich der Versuchsergebnisse der neuen Abstreiferstirnplatten untereinander. Je exakter die Stirnplatte gefertigt wurde, desto besser war ihr Ergebnis im Versuch in Hinblick auf Reibung, Leckage und Feststoffeintrag.

Profilschienen, die günstig abgedichtet werden sollen, müssen über einheitlich gute Oberflächeneigenschaften verfügen, da sonst über die Rautiefen feste Fremdstoffe in den Wälzbereich der Führung gelangen können.

## 9 Längsabstreifer

Längsabstreifer unterscheiden sich in ihrer Funktion und Beanspruchung grundsätzlich von den bisher betrachteten Querabstreifern. Bei Querabstreifern kann man von einem schmierstoff- und einem schmutzabstreifenden Hub sprechen. Sie sind quer zur Bewegungsrichtung angeordnet und streifen den Schmierstoff und Schmutz aktiv ab. Das heißt, sie schieben die Umgebungsmedien die sich im abzustreifenden Bereich befinden mit sich. Beim schmierstoffabstreifenden Hub zeigt der Bewegungsvektor in Richtung Schmierstoff. Dieser wird abgestreift und mitgefördert. Beim schmutzabstreifenden Hub werden vorhandene Schmutzpartikel abgestreift. Auf Querabstreifer sind Erkenntnisse von Stangendichtungen an Hydraulikzylindern übertragbar, die bei druckloser Abdichtung des Hydrauliköls vergleichbare Aufgaben haben, /24/. Die Längsabstreifer haben eine andere Ausrichtung zur Bewegung. Sie sind in Bewegungsrichtung angeordnet. Man kann deshalb nicht von einem schmierstoff- und einem schmutzabstreifenden Hub sprechen. Unabhängig von der Bewegungsrichtung gelangen ständig Schmierstoff und Schmutz an die Dichtkante. Diese Medien müssen nicht aktiv abgestreift werden, da sie nur seitlich an den Längsabstreifer gelangen und sich nicht direkt auf der Bahn des Längsabstreifers befinden. Die relative Bewegung zwischen Längsabstreifer und Gegenauflfläche ist mit der eines Radialwellendichtungs vergleichbar.

Als Querabstreifer hat sich das doppellippige Abstreiferprofil V18\_9 sehr gut bewährt. Es ist formstabil und hat gute schmierstoff- und schmutzabstreifende Eigenschaften. Daher wurde seine Eignung als Längsabstreifer untersucht. Dafür wurden Versuchsreihen mit den Abstreifern 47 und 44 durchgeführt. Beide haben das gleiche charakteristische doppellippige Profil. Sie unterscheiden sich aber im weiteren Aufbau und werden unterschiedlich montiert. Zudem sind sie aus verschiedenen Werkstoffen gefertigt. Die Längsabstreifer 13, S1.3 und S4.2 sind handelsübliche Längsabstreifer mit jeweils einer Dichtlippe. Der Längsabstreifer 13 ist als Stangenmaterial erhältlich und wird bevorzugt zur Abdichtung von Flachführungen eingesetzt. Der Dichtkörper des Längsabstreifers 13 ist auf ein Stahlträgerblech aufvulkanisiert. Der einlippige Abstreifer besteht aus synthetischem Kautschuk mit einer Härte von 81 ShA. Der Längsabstreifer S1.3 ist ein Dichtkörper aus TPU der im Führungswagen einer Profilschienenführung eingeknüpft wird und zur Gegenauflfläche einen Winkel von 42° einnimmt. Längsabstreifer S4.2 ist Teil eines Dichtsystems, das in einem Führungswagen einer Profilschienenführung eingebaut wird. Es besteht aus zwei Längs- und zwei Querabstreifern, die aus einem Teil gefertigt werden. Die Montage erfolgt über die

Querabstreifer, die an den Führungswagen angeschraubt werden und auch den Längsabstreifer halten, der nicht weiter befestigt wird.

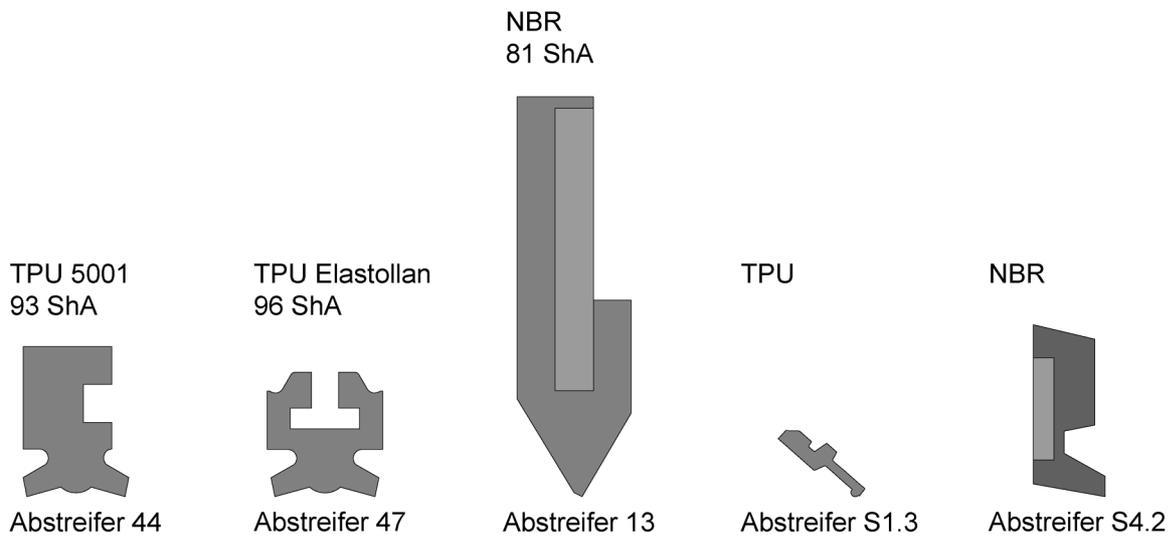


Bild 137: Untersuchte Längsabstreifer im Größenvergleich

Zur Untersuchung und Bewertung der unterschiedlichen Dichtsystem wurden folgende Versuchsprogramm durchgeführt:

- Reib- und Normalkraftmessungen
- Untersuchungen zur Schmierstoffleckage
- Untersuchungen zum Feststoffeintrag

## 9.1 Reib- und Normalkraftmessungen

Die Messung der Reib- und Normalkräfte gibt nicht nur Auskunft über deren Größe, sie zeigt auch die Abhängigkeit der Kräfte von Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit. Aus diesen Messungen können wichtige Aussagen zu Profilstabilität und Stick-Slip abgeleitet werden.

### 9.1.1 Trockenreibung- und Normalkraftmessung

Die Trockenreibung-Untersuchungen zeigen die Tauglichkeit der Längsabstreifer bei sehr schlechten Schmierungsbedingungen, wie sie nur in Ausnahmefällen an realen Werkzeugmaschinen-Führungen vorkommen sollten. Solche Bedingungen können aber beispielsweise bei der Trockenbearbeitung in Werkzeugmaschinen herrschen. Die Länge der untersuchten Längsabstreifer betrug 100 mm. Die gemessenen Kräfte sind auf diese 100 mm zu beziehen. Alle untersuchten Längsabstreifer durchliefen die

Trockenreibung- und Normalkraftmessung ohne Auffälligkeiten. Beispielhaft werden die Messungen der Abstreifer S1.3 S4.2 und 44 dargestellt.

Bild 138 zeigt die Kräfte des Längsabstreifers S1.3 für den Geschwindigkeitsbereich 1 mm/s bis 1500 mm/s im ungeschmierten Zustand. Zwei Punkte fallen auf: Die Reibkräfte und die Normalkräfte sind sehr gering und verlaufen über die Geschwindigkeit und den Vorspannweg scheinbar chaotisch. Die Streuung der Messwerte fällt aber nur aufgrund der geringen Absolutwerte auf. Blendet man diese Streuungen aus, verläuft die Normalkraft nahezu unabhängig von Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung und nimmt abhängig vom Vorspannweg zu. Die Reibkräfte des Längsabstreifers S1.3 verlaufen nahezu unabhängig von Vorspannung und Geschwindigkeit.

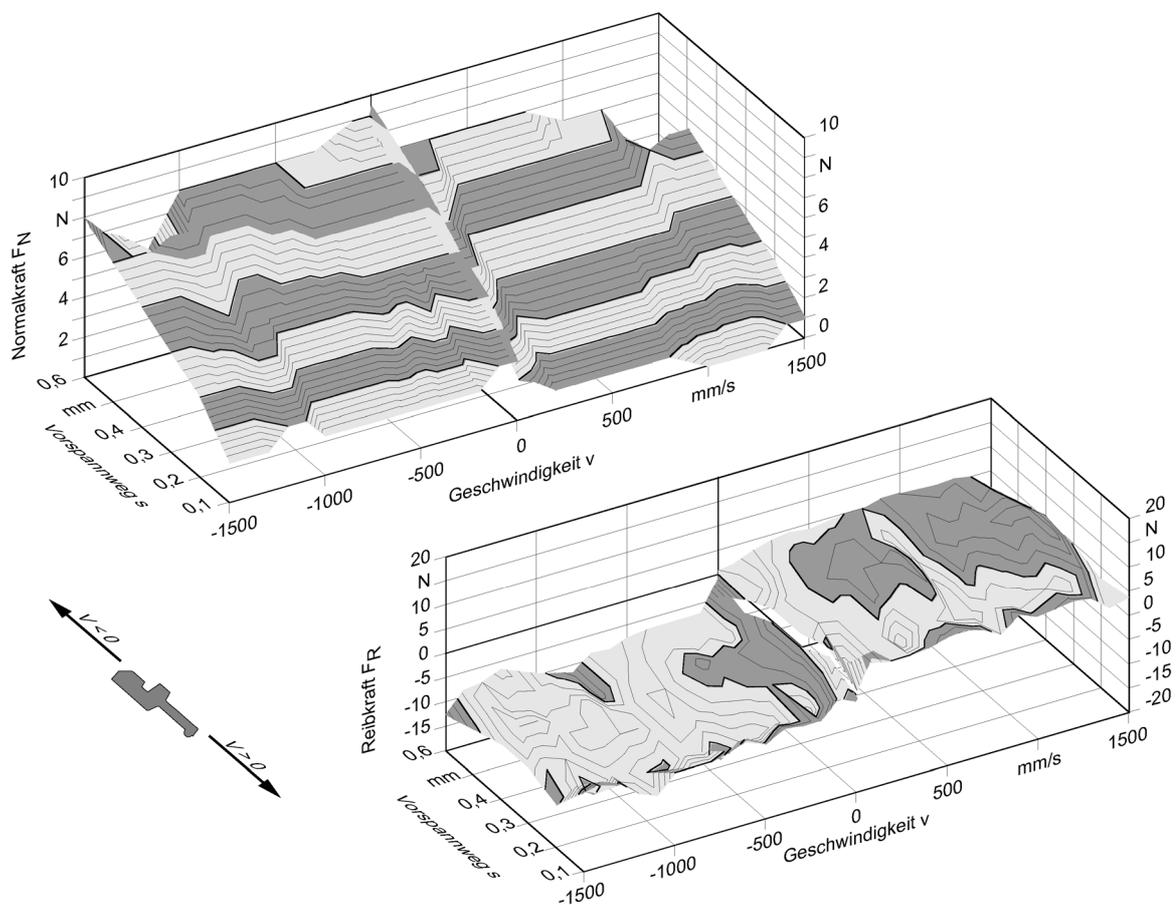


Bild 138: Normalkraft, Reibkraft trocken, Längsabstreifer S1.3, Abstreiferlänge 100 mm

Bild 139 zeigt Normal und Reibkräfte des Längsabstreifers S4.2. Die Messwertoberflächen verlaufen harmonisch und geben stabile Reibungsverhältnisse wieder. Bei kleinen Vorspannwegen wird die Dichtlippe durch Biegung verformt, die Normalkraft des Längsabstreifers ist dann unabhängig von der Geschwindigkeit und vom Vorspannweg. Die Normalkraft nimmt nur geringfügig zu. Nimmt der Vorspannweg weiter zu, liegt der gesamte Boden der Dichtlippe auf und der Längsabstreifer wird ge-

staucht. Die Normalkraft steigt dann mit zunehmenden Vorspannweg steiler an und der Längsabstreifer verstemmt sich in eine Richtung. Die Reibkraft verläuft bei kleinen Vorspannwegen unabhängig von der Geschwindigkeit. Erst bei großen Vorspannwegen, wenn der Längsabstreifer sich verstemmt und die Normalkraft entsprechend zunimmt, wird die Reibkraft bei zunehmender Geschwindigkeit größer.

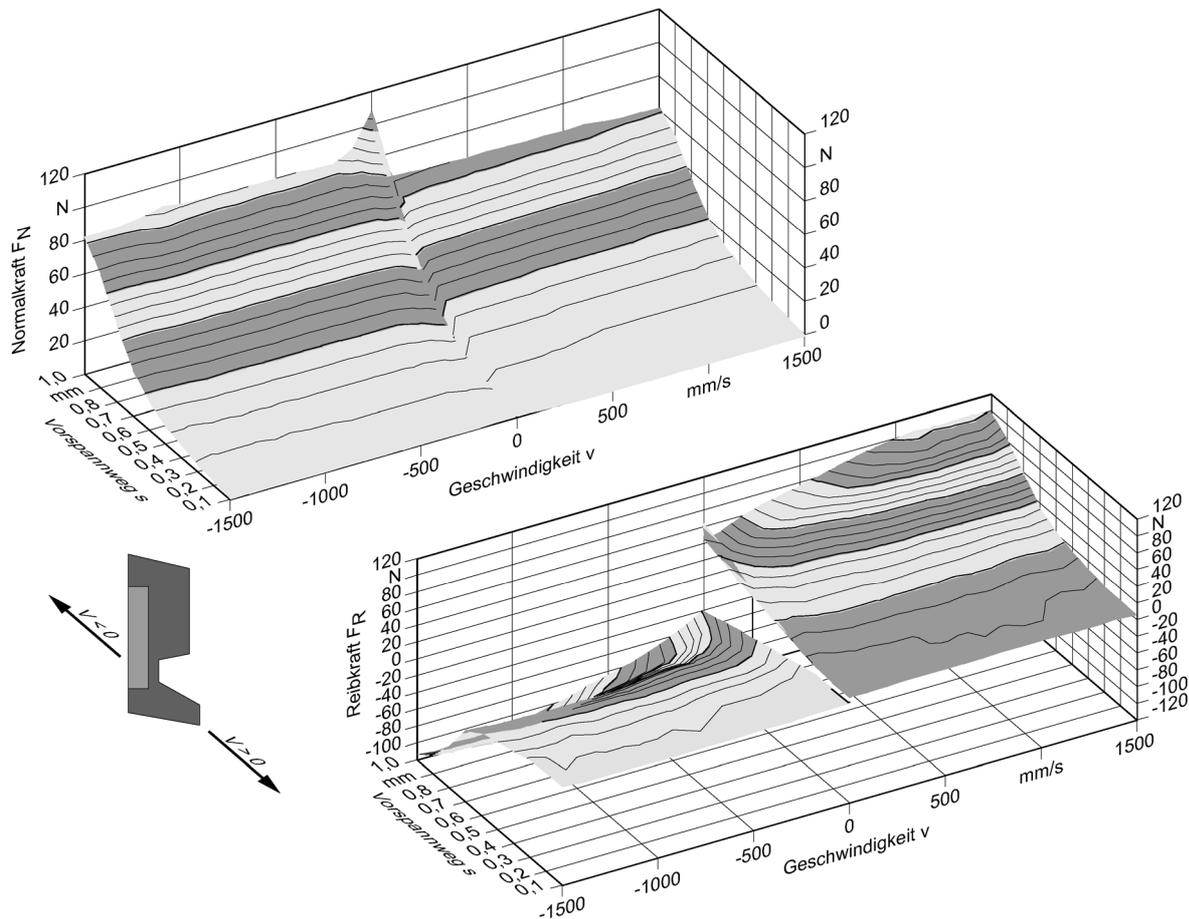


Bild 139: Normalkraft, Reibkraft trocken, Längsabstreifer S4.2  
Abstreiferlänge 100 mm

Bild 140 zeigt Normal- und Reibkräfte des Abstreifers 44. Die Normalkraft verläuft zunächst unabhängig von Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung. Erst wenn die Solleinbauposition des Abstreifers bei etwa 0,44 mm erreicht ist, liegt der Bauch der Dichtung auf, und der Abstreifer beginnt, sich in eine Richtung zu verstemmen. Der Verlauf der Normalkraft erinnert im Wesentlichen an den Normalkraftverlauf des Längsabstreifers S4.2. Die Höhe der Normalkraft ist jedoch mehr als viermal so groß. Die Reibkraft des Abstreifers 44 hängt ab vom Vorspannweg und der Geschwindigkeit. Die regelmäßigen Messwertoberflächen im Bild 140 zeichnen stabile Reibungsverhältnisse ab.

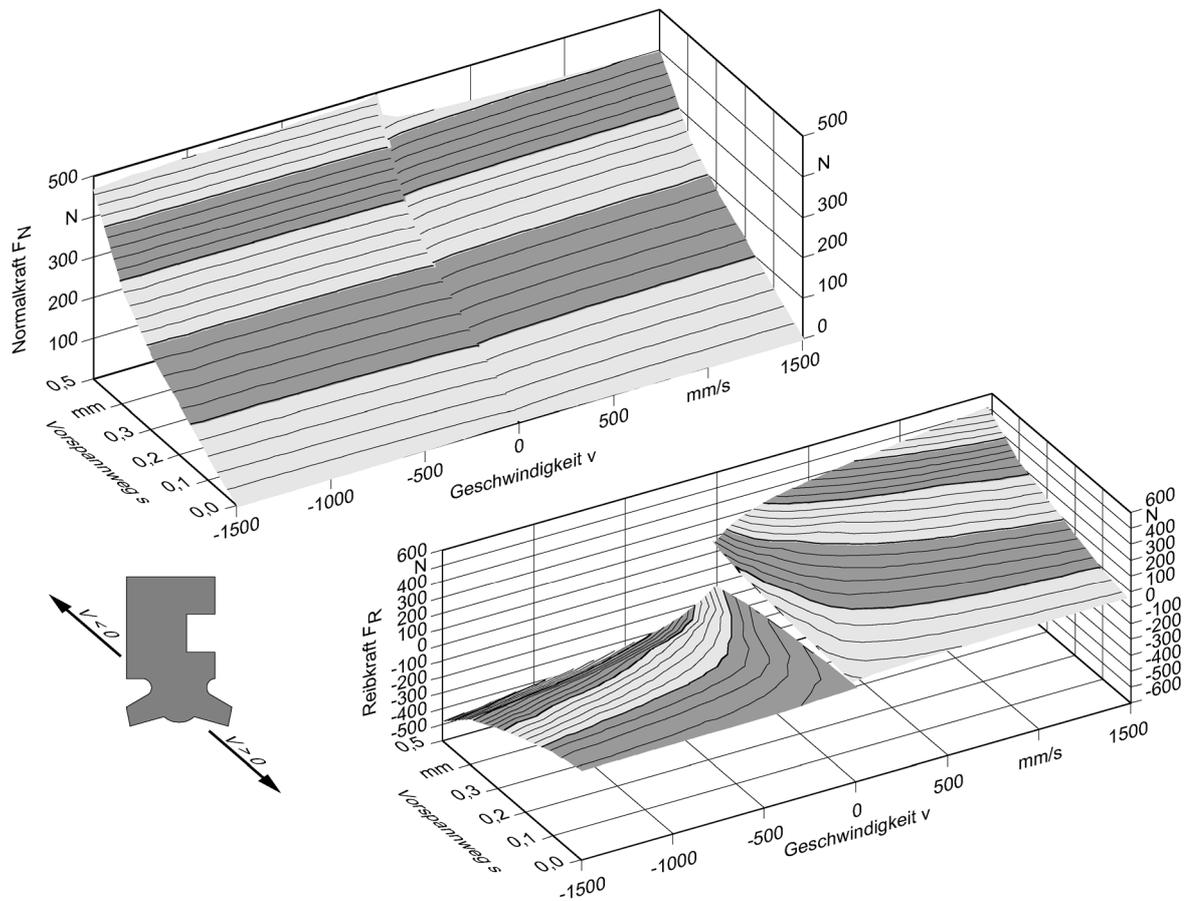


Bild 140: Normalkraft, Reibkraft trocken, Längsabstreifer 44  
Abstreiferlänge 100 mm

### 9.1.2 Nassreibung und Normalkraftmessung

Die Nassreibungs-Untersuchungen sollen die realen Gegebenheiten in Werkzeugmaschinen nachstellen. Für die Führung bestehen tribologisch günstige Bedingungen. Im Vergleich zur Trockenreibung waren die Reibkräfte erwartungsgemäß kleiner, da die abzustreifende Gegenfläche geschmiert wurde. Durch die geringere Reibung verstemmten sich die Dichtlippen weniger und die Änderung der Normalkraft durch die angreifende Reibung war dementsprechend geringer. Die Länge der untersuchten Längsabstreifer betrug 100 mm. Die gemessenen Kräfte sind auf diese 100 mm zu beziehen. Alle untersuchten Längsabstreifer durchliefen die Nassreibung- und Normalkraftmessung ohne Auffälligkeiten. Beispielhaft werden die Messungen der Abstreifer S1.3 und 44 vorgestellt.

Bild 141 zeigt die Reib- und Normalkräfte des Längsabstreifers S1.3 im geschmierten Zustand. Die Messwerte verlaufen ähnlich unruhig wie schon bei der Messung im ungeschmierten Zustand. Allerdings liegt die Streuung der Messwerte in einen Bereich

von nur etwa 1 N. Die Normalkräfte haben die gleiche Größe wie bei der Messung im ungeschmierten Zustand. Die Reibkräfte sind aber deutlich geringer. Blendet man die Streuungen der Messwerte aus, werden die Reibkräfte mit steigender Geschwindigkeit zunächst größer und verlaufen dann unabhängig von Geschwindigkeit und Vorspannweg.

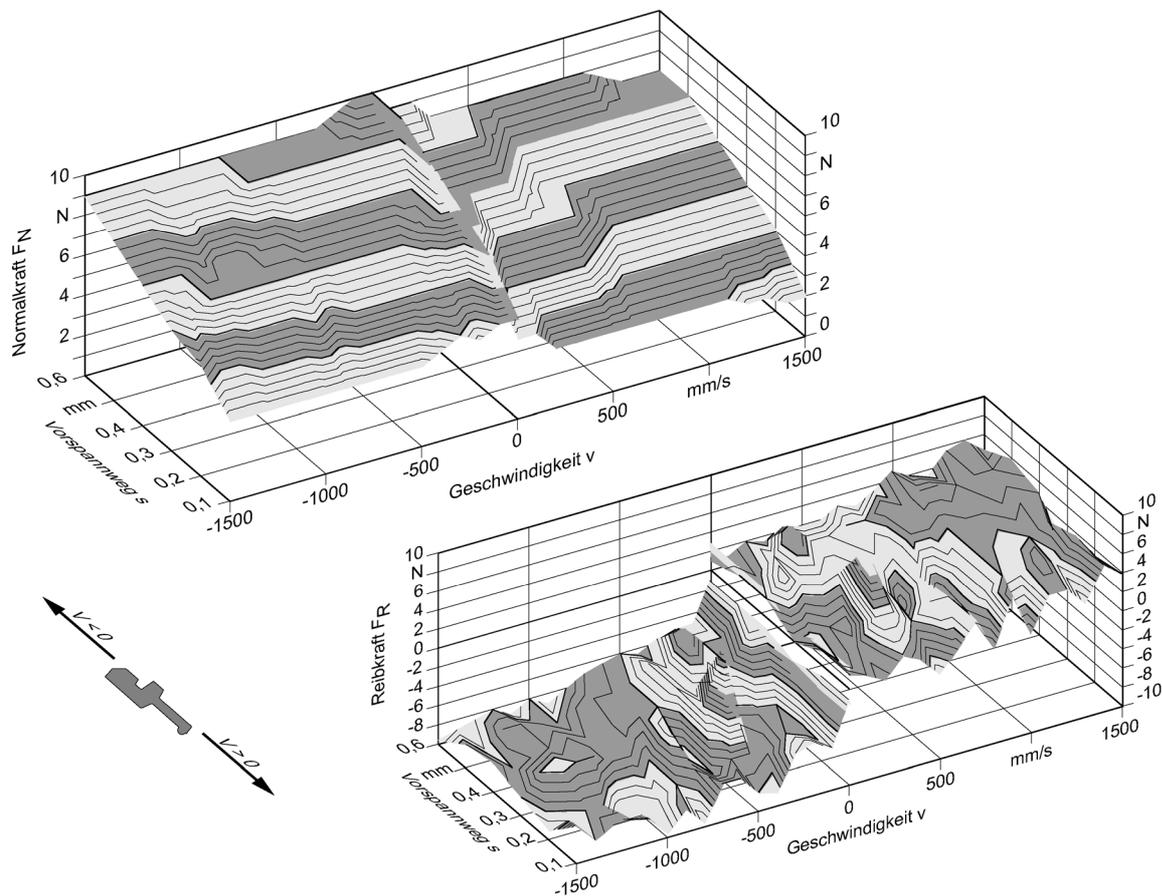


Bild 141: Normalkraft, Reibkraft geschmiert, Längsabstreifer S1.3  
Abstreiferlänge 100 mm

Bild 142 zeigt Normal- und Reibkräfte des Abstreifers 44 im geschmierten Zustand. Der Normalkraftverlauf steht deutlich im Zusammenhang zum Vorspannweg und verläuft nahezu unabhängig von der Geschwindigkeit. Ausgehend von der Geschwindigkeit 0 mm/s nimmt die Reibung zunächst ab, erreicht ein Minimum und steigt anschließend wieder leicht an. Bei sehr kleinen Geschwindigkeiten herrscht Festkörperkontakt zwischen Dichtlippe und abzustreifender Fläche. Der Schmierfilm reicht nicht aus, um die Reibpartner vollständig voneinander zu trennen. Mit zunehmender Geschwindigkeit werden Dichtlippe und Gegenfläche durch den Schmierfilm vollständig voneinander getrennt. Die Reibung erreicht dann ihr Minimum.

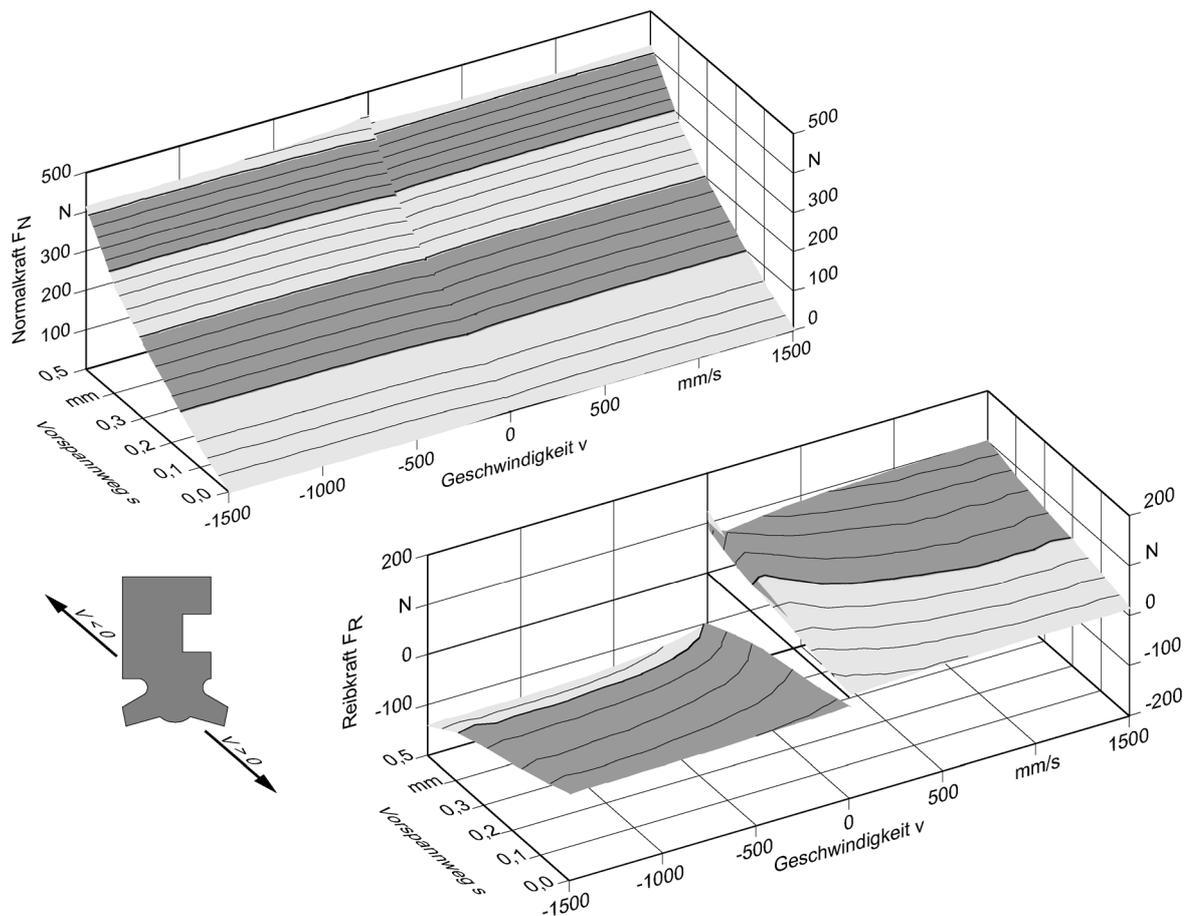


Bild 142: Normalkraft, Reibkraft geschmiert, Abstreifer 44  
Abstreiferlänge 100 mm

## 9.2 Vergleich Längsabstreifer und Radialwellendichtring

Vergleicht man die Eigenschaften von Längsabstreifer und Radialwellendichtring ist auch ein Vergleich der Linienpressungen von Interesse. Der gleichmäßige Verlauf der Normalkraft im geschmierten Zustand macht einen Vergleich möglich. Moderne Radialwellendichtringe weisen im Neuzustand eine Linienpressung von 0,1 bis 0,15 N/mm auf. Dieser Wert hat sich sehr bewährt. Setzt man bei den untersuchten Längsabstreifern die Normalkraft ins Verhältnis zur untersuchten Abstreiferlänge, so ergeben sich für die untersuchten Längsabstreifer die in Tabelle 11 aufgeführten Werte.

In Bild 143 werden Linienpressung und Reibwerte der Abstreifer 44 und S1.3 für die Geschwindigkeit  $v = 1000$  mm/s gegenübergestellt. Der Wert für die Linienpressung wurde aus den gemessenen Normalkräften der Abstreifer und der jeweiligen Länge von 100 mm ermittelt. In beiden Diagrammen ist auch zum Vergleich der Bereich der Linienpressung für Radialwellendichtringe dargestellt.

Sofort fällt auf, dass alle ermittelten Werte für die Linienpressung des Längsabstreifers S1.3 deutlich unter dem Bereich des Radialwellendichtungs bleiben. Beim Abstreifer 44 dagegen liegen fast alle ermittelten Werte sehr weit über diesem Bereich.

Die Reibung der Abstreifer wird in Wärme umgesetzt. Die Wärme wird über die überfahrende Fläche abgeführt. Werden die Abstreifer als Querabstreifer eingesetzt, ist das unkritisch, da die Fläche die überfahren wird sehr groß ist. Sie setzt sich grob zusammen aus Abstreiferlänge mal Hubweg. Anders beim Einsatz als Längsabstreifer. Hier setzt sich die überfahrende Fläche zusammen aus der Breite der Kontaktzonen und dem Hubweg.

Tabelle 11: Linienpressungen

Abstreifer	Linienpressung [N/mm]
Abstreifer 44	0,1...4
Abstreifer 47	0,1...4
Abstreifer 13	0,1...1,7
Abstreifer S1.3	0,02...0,1
Abstreifer S4.2	0,1...0,5

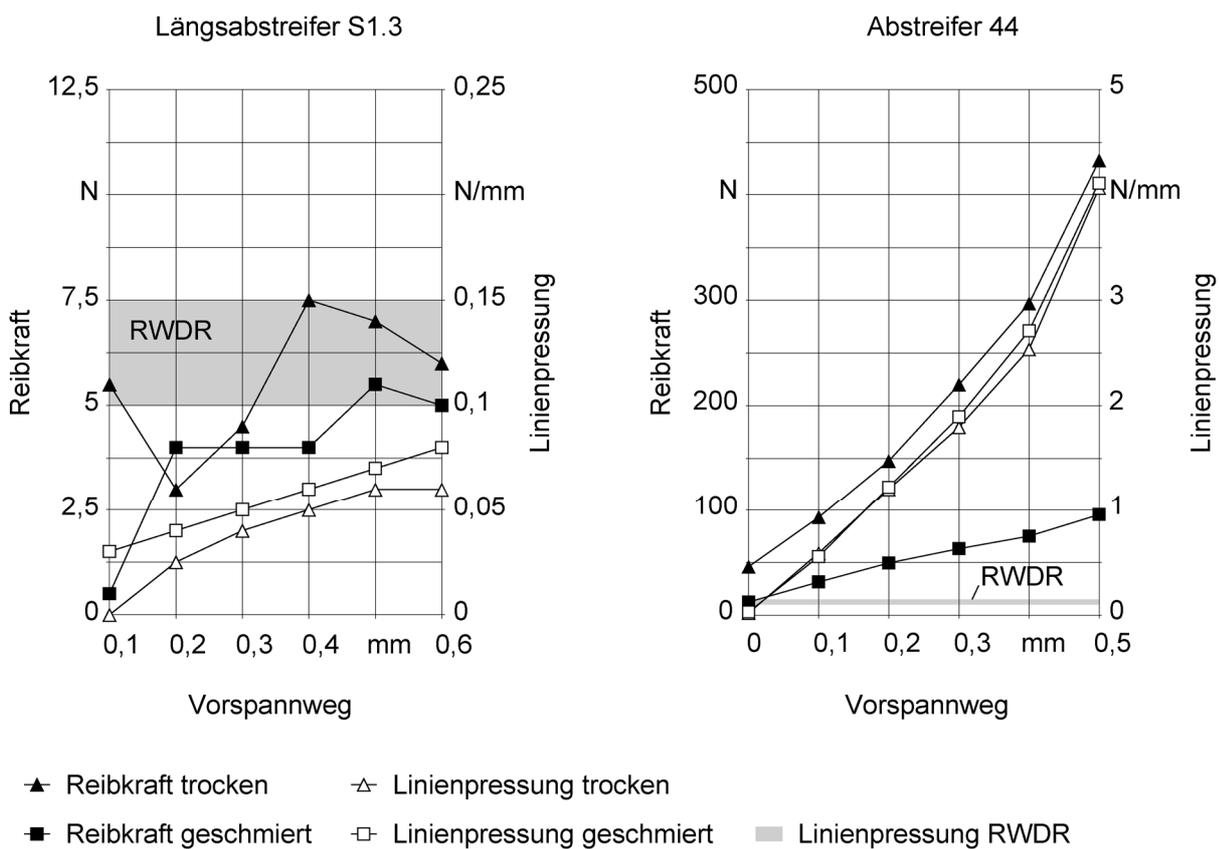


Bild 143: Linienpressung und Reibkräfte bei einer Geschwindigkeit von 1000 mm/s

Nach den Werten aus dem obigen Diagrammen würde sich z.B. für den Abstreifer 44 in der Solleinbauposition von ca. 0,4 mm bei Mangelschmierung und der Geschwindigkeit von 1000 mm/s eine Reibkraft von 300 N ergeben. Aus diesen Werten ergibt sich eine Wärmeleistung von 300 W die auf dem Prüfstand über eine Fläche von

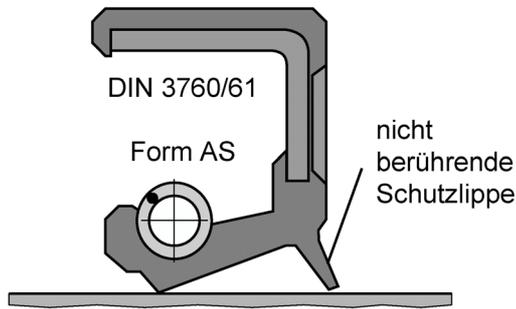


Bild 144: RWDR mit Schutzlippe

490 mm<sup>2</sup> abgeführt werden muss. Für den geschmierten Zustand ergeben sich noch 75 W. Aufgrund der hohen Reibleistung und der kleinen Fläche für die Wärmeabfuhr müssen Längsabstreifer ausreichend geschmiert werden. Das ist bei doppelteiligen Abstreifern problematisch. Durch die schmierstoffseitige Dichtlippe gelangt kein Schmierstoff mehr an die schmutzseitige Dichtlippe. Auch bei Radialwellendichtringen gibt es Sonderformen mit zusätzlichen schmutzabweisenden Dichtlippen, Bild 144. Diese sind allerdings so ausgelegt, dass die Schutzlippe die Welle

nicht oder kaum berührt. Die zusätzliche Reibung und der dadurch entstehende Wärmestau würden ansonsten zu einem frühzeitigen Ausfall der Dichtung führen.

### 9.3 Schmierstoffleckage

Eine Bestimmung der Leckage, wie sie bei den Untersuchungen der Querabstreifer und Abstreiferstirnplatten stattgefunden hat, ist bei Längsabstreifern nicht möglich. Daher wurden die Kontaktzonen der Abstreifer während des Betriebes durch eine Glasplatte betrachtet. Der Versuchsaufbau dazu ist in Kapitel 3 vorgestellt. Aufgrund der Flüssigkeitsbewegungen innerhalb der Kontaktzone von Abstreifer und Glasplatte lassen sich Rückschlüsse auf einen möglichen Schmierstoffaustrag machen. Durch die Beobachtungen des Abstreifers im Betrieb sind zudem Aussagen über die Profilstabilität der Dichtungen möglich. Die fünf untersuchten Abstreifer zeigten bei diesen Untersuchungen sehr unterschiedliche Ergebnisse. Die Untersuchungen zum Schmierstoffaustrag wurden bei unterschiedlichen Neigungswinkeln quer zur Bewegungsrichtung des Prüfstandes durchgeführt. Der Schmierstoff drückte bei 20° Neigung mit einem Teil oder bei 90° Neigung mit seiner gesamten Gewichtskraft gegen den Längsabstreifer.

Doppelteilige Abstreifer sind für einen Einsatz als Querabstreifer ungeeignet. Die beiden untersuchten Abstreifer 44 und 47 fielen im Versuch schon bei geringen Vorspannweiten aus. Ab dem mittleren Geschwindigkeitsbereich trat schlagartig ein sehr großer Verschleiß auf. Bild 145 zeigt den Abstreifer 44, durch die Glasplatte des Prüfstandes, von unten betrachtet. Im oberen Bildbereich ist die äußere Dichtlippe und in der Bildmitte der Bauch des Abstreifers zu sehen. Unten im Bild ist die schmierstoffabstreifende Dichtlippe und der eingefärbte Schmierstoff dargestellt. Die Kontaktzonen der Dichtkanten ist in den Bildern durch die Kreuzschraffur gekennzeichnet. Der Abstreifer 44 hatte bei einem Vorspannweg von 0,1 mm eine Berührbreite von ca. 0,2 mm je Kontaktzone.

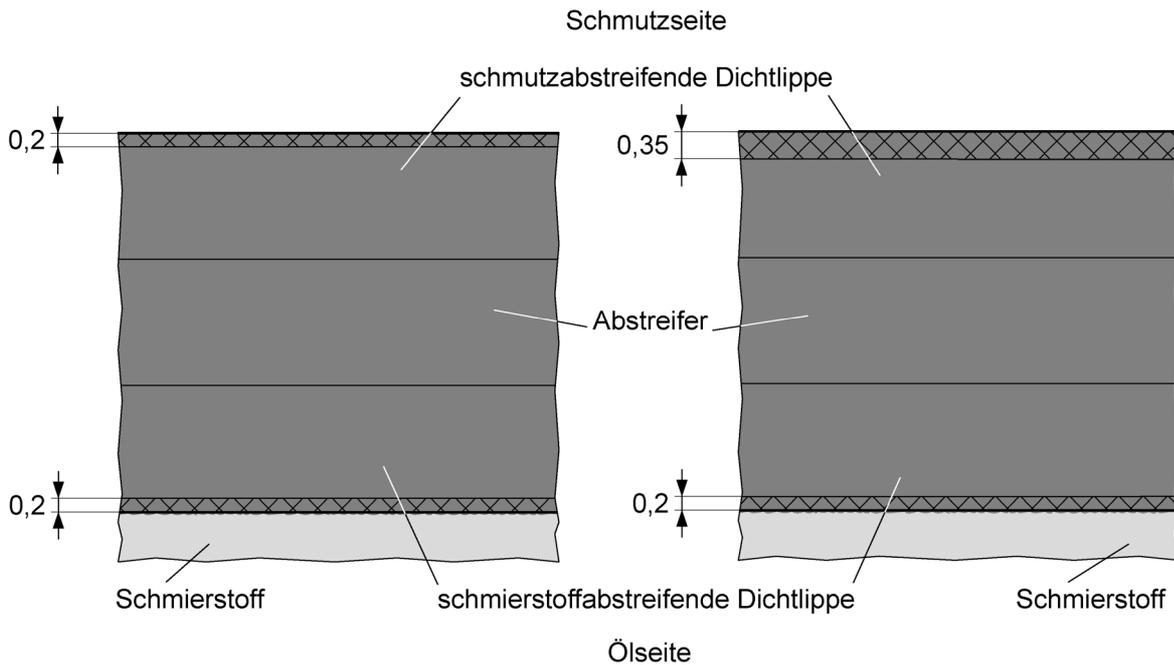


Bild 145: Abstreifer 44,  $s_v = 0,1$  mm, Versuchsbeginn (links), Versuchsende (rechts)

Über den gesamten Geschwindigkeitsbereich waren keine Flüssigkeitsbewegungen unter der schmierstoffabstreifenden Dichtlippe festzustellen. Der Längsabstreifer zeigte keine sichtbare Leckage. Die fehlende Leckage führte zu einem Schmierstoffmangel an der schmutzseitigen Dichtlippe. Dadurch kam es zum Verschleiß, im Versuch zu erkennen durch ein Ausfransen der Dichtlippe und eine breiter werdende Kontaktzone. Die Berührbreite betrug zum Ende der Versuchsreihe ca. 0,35 mm.

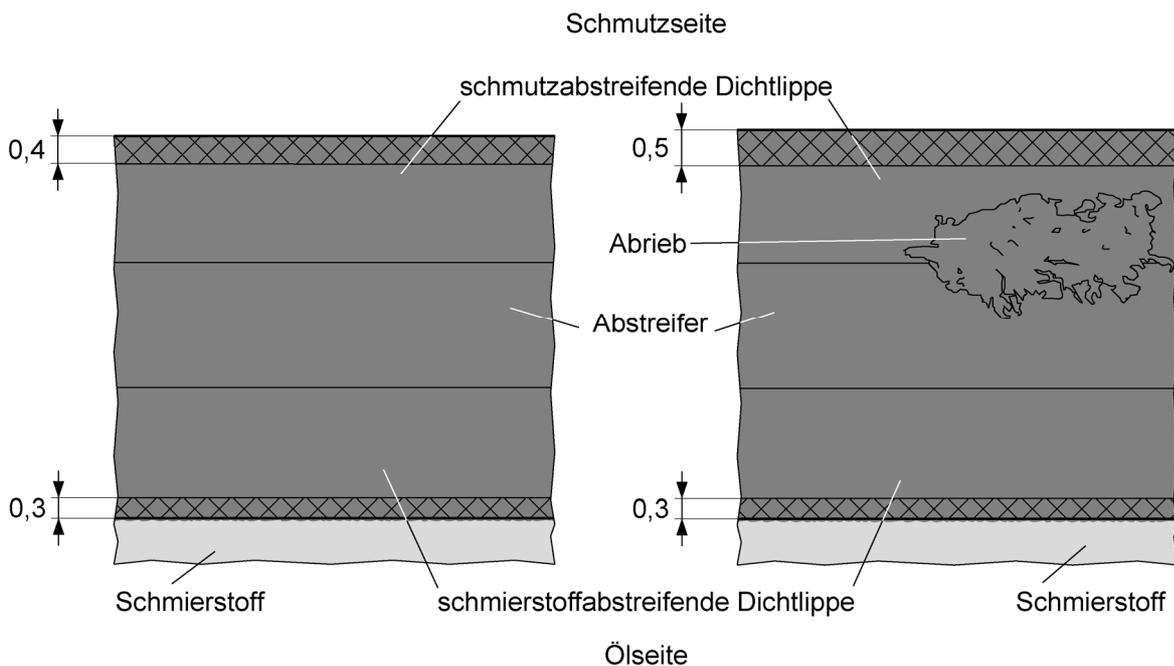


Bild 146: Abstreifer 44,  $s_v = 0,2$  mm, Versuchsbeginn (links), Versuchsende (rechts)

Bild 146 zeigt den bereits geschädigten Abstreifer 44 bei einem Vorspannweg von 0,2 mm. Die Breite der Kontaktzone der schmierstoffabstreifenden Dichtkante nahm zu auf 0,3 mm. Die schmutzseitige Dichtlippe hatte nun eine Berührbreite von 0,4 mm. Wieder konnte über den gesamten untersuchten Geschwindigkeitsbereich kein Schmierstoffaustrag durch die schmierstoffseitige Dichtlippe festgestellt werden. Die schmutzseitige Dichtlippe wurde weiter verschlissen. Deren Abrieb sammelte sich im Raum zwischen den beiden Dichtlippen an. Die Kontaktzone der schmutzseitigen Dichtlippe verbreitert sich auf 0,5 mm. Bemerkenswert am Verschleiß der beiden Dichtlippen ist, dass er in einen Vorspannwegbereich stattfindet der deutlich kleiner ist als bei einem Einsatz als Querabstreifer.

Die handelsüblichen Abstreifer durchliefen die Untersuchungen zum Schmierstoffaustrag ohne Verschleiß. Abstreifer S1.3 wurden bei einer Neigung des Tisches von 20° und 90° untersucht. Dabei wurden die Abstreifer um maximal 0,3 mm vorgespannt. Bild 147 zeigt den Abstreifer S1.3 bei einem Neigungswinkel von 20° und einem Vorspannweg von 0,1 mm. Die Kontaktzone des Abstreifers ist mit einer Kreuzschraffur gekennzeichnet. Die Berührbreite der Dichtlippe beträgt ca. 50 µm. Der eingefärbte Schmierstoff befindet sich auf den Bildern im unteren Bildbereich. Ein Schmierstoffaustrag würde im Bild von unten nach oben verlaufen.

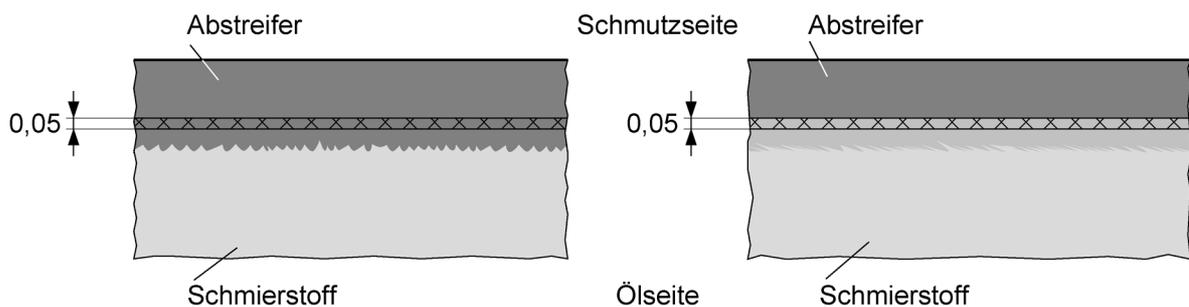


Bild 147: Abstreifer S1.3,  $s_v = 0,1$  mm,  $v = 1$  mm/s (links),  $v = 1000$  mm/s (rechts)

Schon beim Befüllen der Ölkammer mit Schmierstoff konnte beobachtet werden, wie Schmierstoff in den Bereich der Kontaktzone geflossen ist. Mit zunehmender Geschwindigkeit, ab 50 mm/s und höher, waren Flüssigkeitsbewegungen in der Kontaktzone und deren Oberflächenstrukturen zu erkennen. Die Filmdicke dieser Flüssigkeitsbewegung war sehr gering. Ein Schmierstoffaustrag unter dem Längsabstreifer hindurch kann aber nicht ausgeschlossen werden. Auch bei den Vorspannwegen von 0,2 mm und 0,3 mm betrug die Berührbreite des Abstreifers ca. 50 µm. Die Kontaktzone wurde also mit zunehmendem Vorspannweg nicht breiter. Im Versuch konnten die gleichen Vorgänge wie bei dem geringeren Vorspannweg beobachtet werden. Profilinstabilitäten ließen sich nicht erkennen.

Die beobachteten Flüssigkeitsbewegungen in der Kontaktzone waren bei einem Neigungswinkel von  $20^\circ$  sehr gering und Leckage konnte nicht direkt beobachtet werden. Aus diesem Grund wurde der Neigungswinkel des Prüfstandes auf  $90^\circ$  erhöht und die Versuchsreihe wiederholt. Bild 148 zeigt den Abstreifer für diesen Neigungswinkel. Die Kontaktzone wurde stärker vergrößert dargestellt, um Flüssigkeitsbewegungen besser erkennen zu können. Die Breite der Kontaktzone lag bei ca.

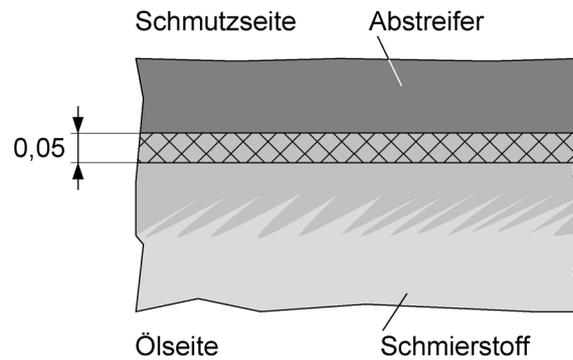


Bild 148: Abstreifer S1.3,  $s_v = 0,3$  mm,  $v = 1000$  mm/s

50  $\mu\text{m}$ . Bei kleinen Geschwindigkeiten erschien die Kontaktzone als glatte Fläche. In diesem Bereich befand sich ein dünner Ölfilm, auf dem der Abstreifer glitt. Ab einer Geschwindigkeit von 50 mm/s erscheint die Kontaktzone heller. Die Oberflächenstrukturen des Abstreifers und Flüssigkeitsbewegungen waren erkennbar. Aufgrund der Flüssigkeitsbewegungen kann ein Schmierstoffaustrag durch den Längsabstreifer nicht ausgeschlossen werden. Wie schon bei einem Neigungswinkel von  $20^\circ$  hatte der Vorspannweg keinen Einfluss auf die Breite der Kontaktzone und die Größe der Flüssigkeitsbewegung. Auch der Neigungswinkel selbst hatte keine Wirkung auf das Versuchsergebnis.

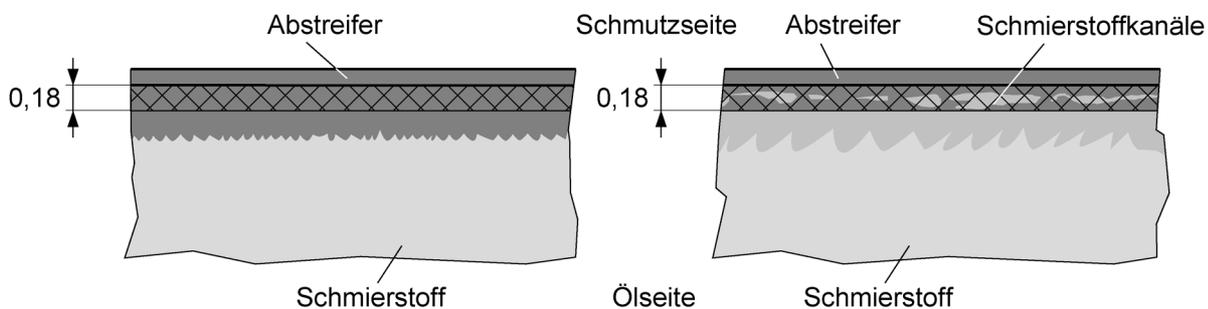


Bild 149: Abstreifer 4.2,  $s_v = 0,1$  mm,  $v = 1$  mm/s (links),  $v = 50$  mm/s (rechts)

Auch bei Abstreifer 13 ließ sich sowohl für den Neigungswinkel  $20^\circ$  als auch bei  $90^\circ$  kein Schmierstoffaustrag unter der Dichtlippe feststellen. Der Abstreifer wurde bis zu 0,6 mm vorgespannt. Bei großen Vorspannwegen und niedrigen Geschwindigkeiten trat aufgrund der hohen Normalkräfte Stick-Slip auf.

Abstreifer S4.2 wurde in einem Vorspannwegbereich von 0,1 mm bis 0,5 mm untersucht. Die Neigung des Tisches betrug  $90^\circ$ . Im Ölraum zwischen Montageblock und Gegenauflfläche befindet sich der eingefärbte Schmierstoff. In Bild 149 ist dieser im unteren Bereich zu sehen. Die Kontaktzone des Abstreifers ist mit einer Kreuzschraffur gekennzeichnet. Beim geringsten untersuchten Vorspannweg von 0,1 mm ist die Kontaktzone des Abstreifers ca. 0,18 mm breit. Beim Befüllen des Ölraums konnte man beobachten, wie Schmierstoff in den Bereich der Kontaktzone eingedrungen ist.

Dieser Schmierstoff bildete bereits bei kleinen Geschwindigkeiten einen geschlossenen Film zwischen Abstreifer und Glasplatte. Die Höhe des Films war allerdings so gering, dass sich keine Farbpigmente darin befanden.

Mit zunehmender Geschwindigkeit sind die Oberflächenstrukturen des Abstreifers im Bereich der Kontaktzone zu erkennen, der Ölfilm war nicht mehr geschlossen und Flüssigkeitsbewegungen konnten festgestellt werden. Diese Flüssigkeitsbewegungen traten bei höheren Geschwindigkeiten verstärkt auf und führen zur Leckage, Bild 150. Die Schmierstoffkanäle in der Kontaktzone überwinden diese teilweise komplett. Dies hatte einen Schmierstoffaustrag durch den Längsabstreifer zur Folge.

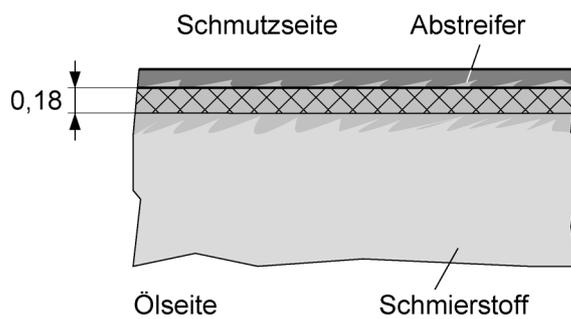


Bild 150: Abstreifer 4.2,  $s_v = 0,1$  mm,  $v = 1000$  mm/s

## 9.4 Feststoffeintrag

Zur Untersuchung des Feststoffeintrages wurde der gleiche Versuchsaufbau verwendet, wie bei den Untersuchungen zur Schmierstoffleckage. Die Versuche wurden bei zwei verschiedenen Neigungswinkeln des Prüfstandes durchgeführt. Dadurch wirken die eingesetzten Messingpartikel bei  $20^\circ$  mit einem Teil ihrer Gewichtskraft und bei  $90^\circ$  mit ihrem gesamten Gewicht auf den Abstreifer.

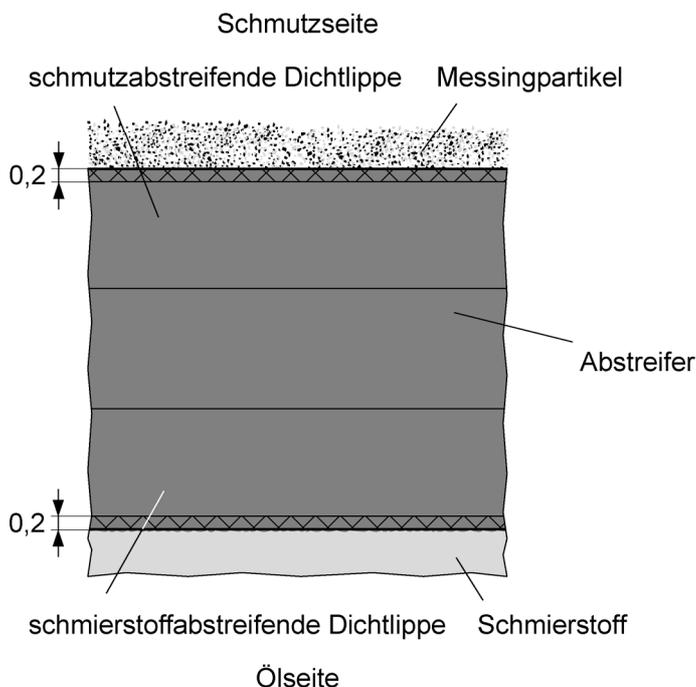


Bild 151: Abstreifer 44,  $s_v = 0,1$  mm, Versuchsbeginn

Bild 151 und Bild 152 zeigen den Abstreifer 44 bei einem Vorspannweg von  $0,1$  mm. Dabei ergab sich eine Berührbreite von ca.  $0,2$  mm je Dichtkante. Im unteren Bildbereich ist die schmierstoffabstreifende Dichtkante zu sehen. Der obere Bildteil zeigt die schmutzabstreifende

Dichtkante und die Messingpartikel, die durch die PDZ an die Dichtkante gebracht wurden. Ein Partikeleintrag würde in den Bildern von oben nach unten zu sehen sein. Schon nach wenigen Hüb, bei kleinen Geschwindigkeiten waren unter dem Abstreifer, nahe der schmierstoffabstreifenden Dichtkante, Messingpartikel zu erkennen. Diese gelangten durch die Nebenabdichtung an der Stirnseite in den Bereich zwischen den Dichtkanten. Die Kontaktzone der schmutzabstreifenden Dichtkante war frei von Partikeln. Durch die schmutzseitige Dichtlippe war kein Partikeleintrag festzustellen. Bei Versuchsende war die Anzahl der Partikel unter dem Abstreifer noch größer, wie in Bild 152 dargestellt. Auch diese gelangten durch die Nebenabdichtung in diesen Bereich. Die Kontaktzone der schmutzabstreifenden Dichtkante hatte sich dunkel verfärbt, die Kontaktzonen der beiden Dichtkanten wurden breiter. In Bild 152 ist ein Bereich der Kontaktzone der schmutzabstreifenden Dichtkante vergrößert dargestellt. Das Elastomer hatte sich dunkel verfärbt. In die Kontaktzone hatte sich Messing eingelagert. Verfärbtes Material wurde in der Kontaktzone abgerieben und aus diesem Bereich weggefördert. Die schwarze Färbung der Kontaktzone ist mit thermischen Zersetzungsvorgängen des Elastomers zu erklären. Aufgrund der hohen Reibung an der trocken laufenden äußeren Dichtkante kam es zu starker Erwärmung. Die Wärme wurde aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit des Glastisches nicht schnell genug abtransportiert. Es kam zu einem Wärmestau, der aufgrund der hohen Hubzahl zu Temperaturen oberhalb der Zersetzungstemperatur des verwendeten Elastomers führte.

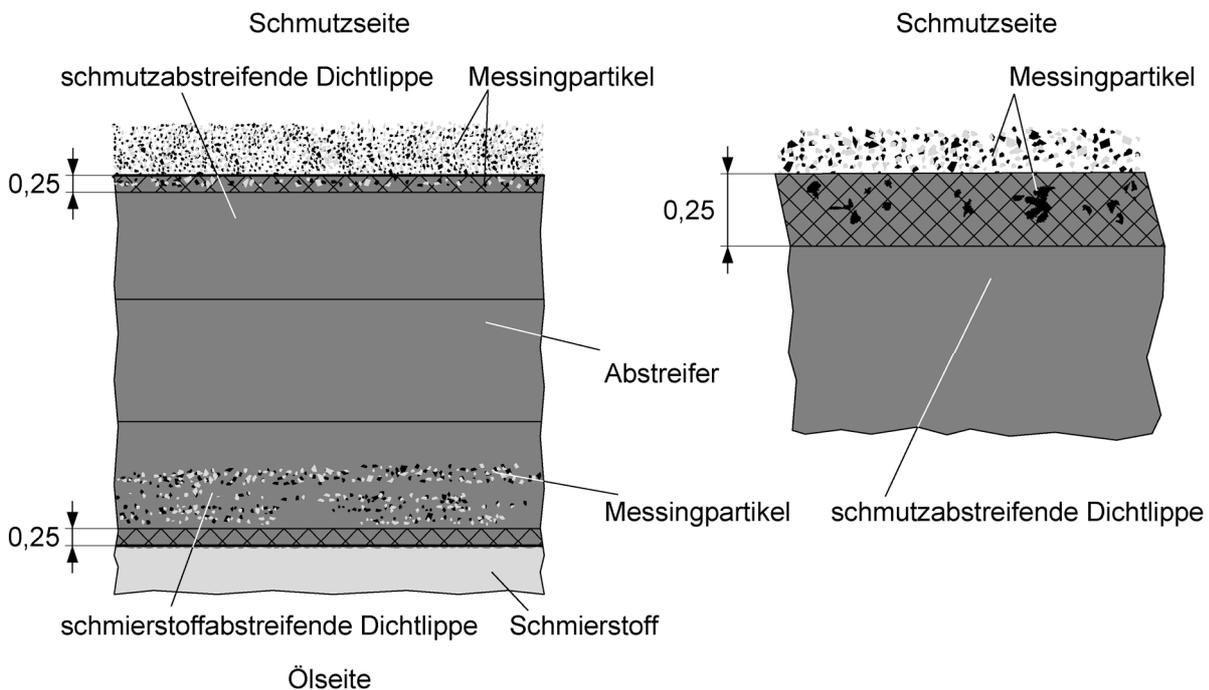


Bild 152: Abstreifer 44,  $s_v = 0,1$  mm, Versuchsende

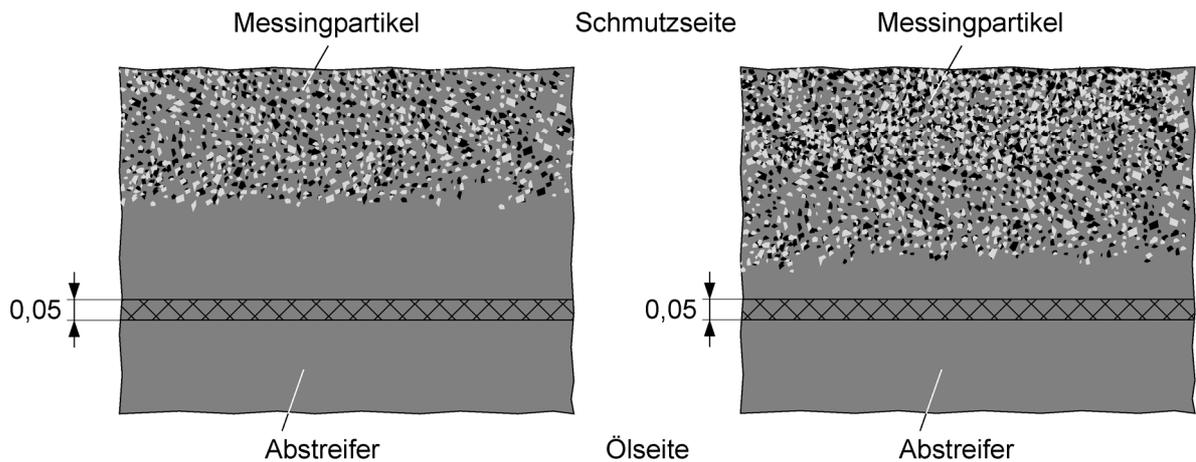


Bild 153: Abstreifer S1.3,  $s_v = 0,2$  mm, Versuchsbeginn (links), Versuchsende (rechts)

Bild 153 zeigt das Versuchsergebnis für den Längsabstreifer S1.3 bei einer Neigung des Prüfstandes von  $20^\circ$ . Es konnten die Vorspannwege von 0,1 mm bis 0,3 mm untersucht werden. Die Messingpartikel sind im oberen Bildbereich zu sehen und im unteren Bildteil ist die Seite des Abstreifers dargestellt, die dem Ölräum zugewandt ist. Die an der Gegenlauffläche anliegende Kontaktzone des Abstreifers ist durch eine Kreuzschraffur markiert.

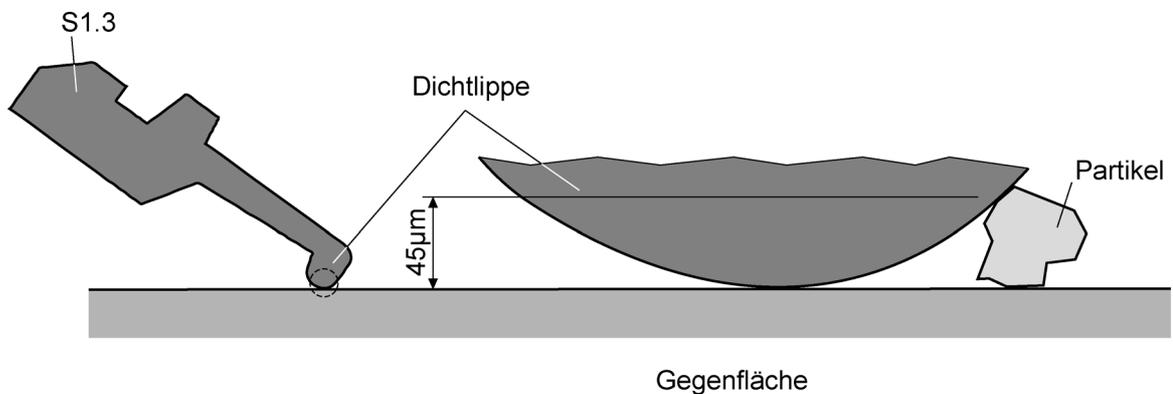


Bild 154: Abstreifer S1.3, Keilspalt

Im Versuch ließ sich beobachten, dass die eingesetzten Messingpartikel nur allmählich die eigentliche Kontaktzone des Abstreifers erreichen. Dieser Effekt lässt sich mit der Entstehung eines sehr flachen Keilspalts erklären, wie in Bild 154 dargestellt. Durch die kreisrunde Form der Dichtlippe, die beim Aufsetzen im Bereich der Kontaktzone abgeplattet wird, entsteht ein flacher keilförmiger Spalt. Die Partikel können aufgrund ihrer Größe und gegenseitiger Behinderungen zuerst nicht weiter in den Spalt vordringen. Erst nach einer gewissen Anzahl von Hüben gelangen Partikel näher an die Kontaktzone. Dieser Vorgang ließ sich bei allen untersuchten Vorspannwegen beobachten. Ein Partikeleintrag hat nicht stattgefunden.

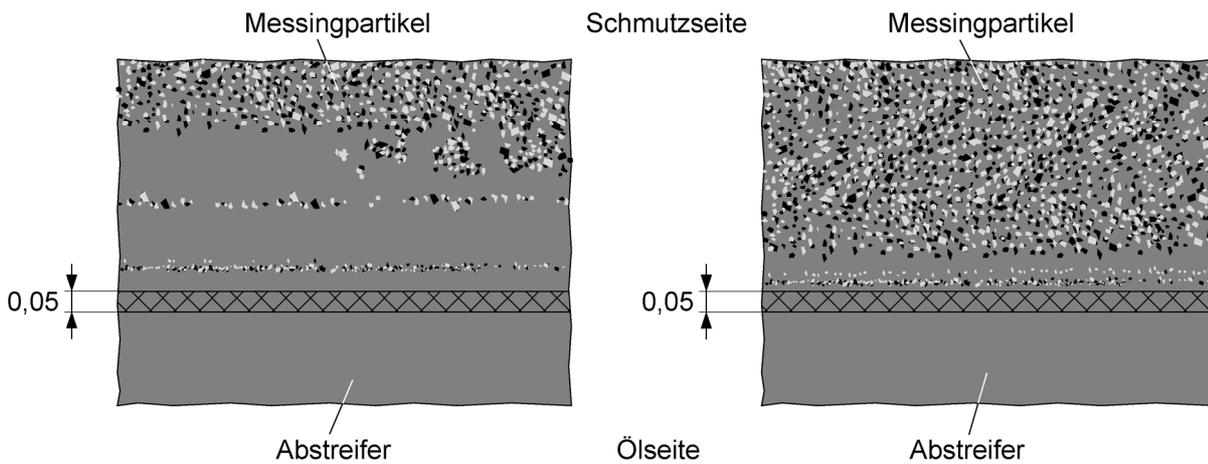


Bild 155: Abstreifer S1.3,  $s_v = 0,2$  mm, Versuchsbeginn (links), Versuchsende (rechts)

In einer weiteren Versuchsreihe wurde der Verschmutzungseintrag des Abstreifer S1.3 bei einer Tischneigung von  $90^\circ$ , mit Vorspannwegen von 0,1 mm bis 0,3 mm untersucht, Bild 155. Auch hier konnte lediglich eine Annäherung der Partikel an die Kontaktzone, mit zunehmender Hubzahl festgestellt werden. Unabhängig von Geschwindigkeit und Vorspannweg konnte kein Partikeleintrag beobachtet werden.

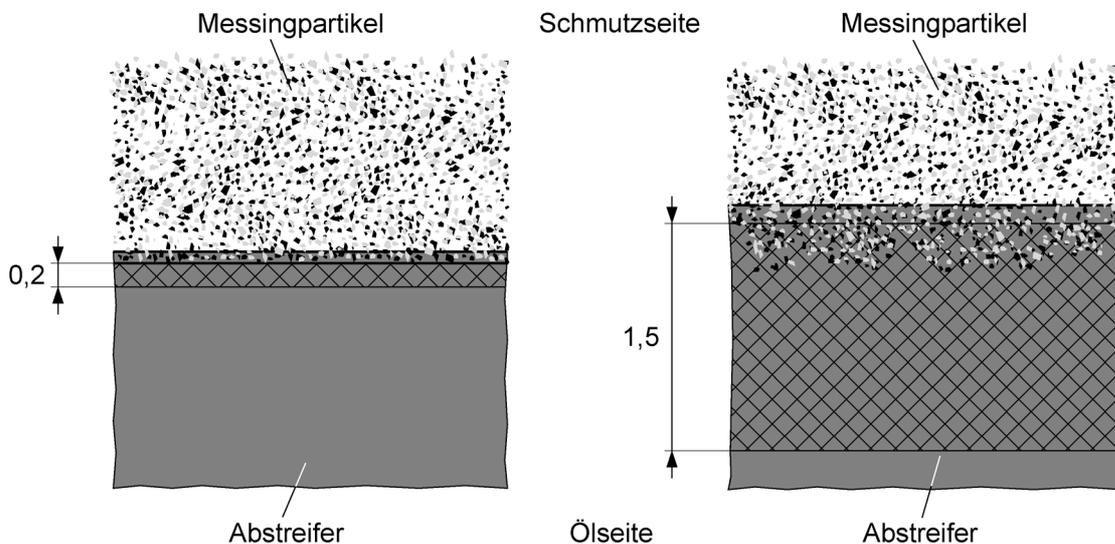


Bild 156: Abstreifer S4.2,  $s = 0,1$  mm (links) und  $s = 0,5$  mm (rechts), Versuchsende

Abstreifer S4.2 zeigte bis zu einem Vorspannweg von 0,4 mm gute Ergebnisse. In den Bereich der Kontaktzone sind keine Partikel eingetreten. Bild 156 zeigt den Abstreifer S4.2 für die Vorspannwege 0,1 mm und 0,5 mm, jeweils bei Versuchsende. Im Vergleich zu den vorigen Vorspannwegen ist die Breite der Kontaktzone sprunghaft auf ca. 1,5 mm angestiegen, dargestellt links im Bild. Wegen der geometrischen Form des Abstreifers verbreitert sich die Kontaktzone von 0,2 mm auf 1,5 mm. Der äußere Bereich wurde entlastet und es hat sich ein flacher Keilspalt gebildet, in den Messingpar-

tikel eindringen konnten. So gelangten einige Partikel zwischen Dichtkante und Glasplatte. Diese befanden sich alle nahe der Schmutzseite. Ein Partikeleintrag in den mittleren Bereich der Kontaktzone und weiter bis in den Ölraum konnte nicht festgestellt werden, /52/.

## 9.5 Fazit und Gestaltungsregeln bei Längsabstreifern

Die beiden als Querabstreifer so gut funktionierenden doppellippigen Abstreifer können nicht als Längsabstreifer eingesetzt werden. Die schmierstoffabstreifende Dichtkante hat eine so geringe Leckage, dass an die äußere Dichtkante kein Schmierstoff gelangt und diese trocken läuft. Dies führt zu Verschleiß dieser Dichtkante. Der Abstreifer wird beschädigt, und es kann zu Partikeleintrag in das System kommen. Generell gilt:

- Doppellippige Abstreifer sind als Längsabstreifer ungeeignet

Abstreifer S1.3 und Abstreifer S4.2 hatten wesentlich geringere Reib- und Normalkräfte als die anderen drei untersuchten Abstreifer. Aufgrund der unterschiedlichen Kontaktzonenbreite hat Abstreifer S1.3 eine deutlich höhere Anpressung als Abstreifer S4.2. Es konnte bei beiden Profilen kein Partikeleintrag festgestellt werden. Bei Abstreifer S1.3 konnte eine leichte Leckage durch den Längsabstreifer aufgrund von Flüssigkeitsbewegungen in der schmalen Kontaktzone nicht ausgeschlossen werden. Abstreifer S4.2 wies einen deutlichen Schmierstoffaustrag durch den Längsabstreifer auf. Wenn auf kleinem Bauraum mit geringen Reibkräften gegen Verschmutzung abgedichtet werden soll und eine geringe Schmierstoffleckage akzeptiert wird, sind beide Dichtprofile gut einsetzbar. Ist zusätzlich eine wirkungsvolle Ölabdichtung gewünscht, ist Abstreifer S1.3 bedingt empfehlenswert, Abstreifer S4.2 ist dagegen ungeeignet. Generell gilt:

- Eine Lippe mit schmaler Kontaktbreite und damit hohe Anpressung bei geringer Normal- und Reibkraft ist günstig
- Längsabstreifer funktionieren ähnlich wie langsam laufende Radialwellendicht-  
ringe. Deren Richtwerte für Berührbreiten und Linienpressungen können über-  
nommen werden
- Um zu vermeiden, dass sich Fremdstoffe unter der Dichtlippe anlagern, muss sich die maximale Pressung nah an der Beaufschlagungsseite befinden

Bei den durchgeführten Versuchsreihen hat sich gezeigt, dass bei Längsabstreifern mit hoher Normalkraft auf eine ausreichende Schmierung der Dichtkanten zu achten ist, da sonst die Dichtkante stark verschleißt. Ein Partikeleintrag konnte mit den verschiedensten Geometrien und Normalkräften verhindert werden. Die geometrische Gestaltung eines Längsabstreifers ist somit im Vergleich zur Geometrie eines Querabstreifers wesentlich unkritischer und kann hinsichtlich der Reibkräfte optimiert werden. Ein wesentlicher Punkt, der bei der Gestaltung eines Längsabstreifers beachtet werden

muss, ist eine einfache Anbindungsmöglichkeit an den Querabstreifer. Diese Stoßstelle hat auch bei den Versuchen eine Schwachstelle des Systems dargestellt.

- Längsabstreifer sind nicht so schwer auszulegen wie Querabstreifer. Die wichtigste Bedingung für die Funktion ist: Der Abstreifer muss die Gegenfläche auf einer schmalen Spur berühren

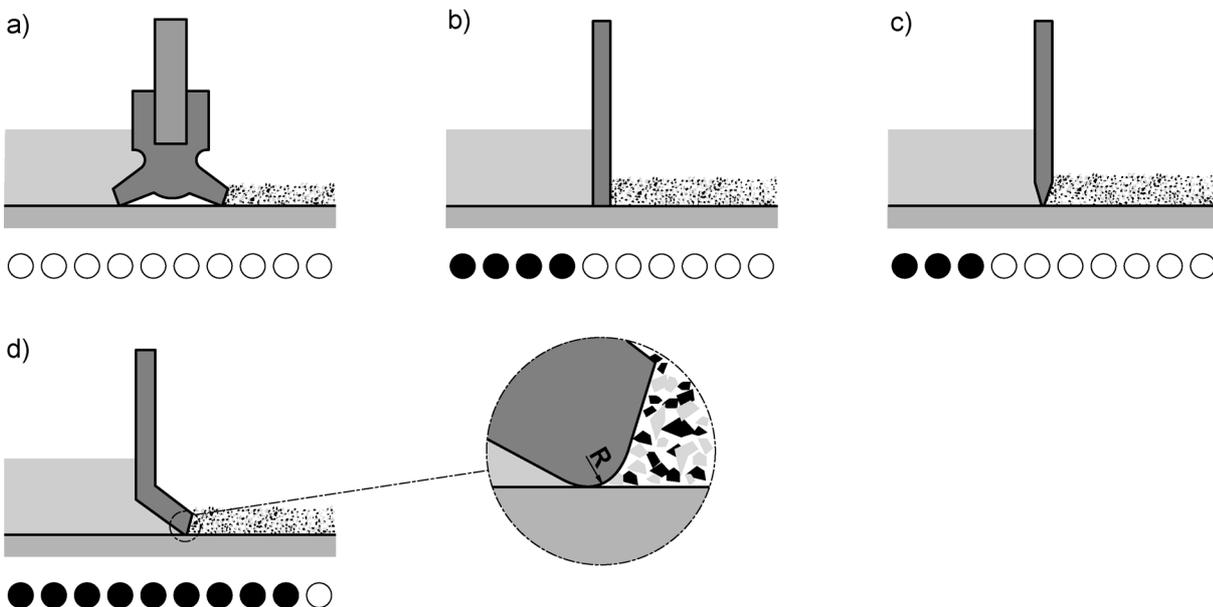


Bild 157: Längsabstreiferprofile

Bild 157 zeigt verschiedene Profilformen für den Längsabstreifer mit der dazugehörigen Bewertung. Wie schon beschrieben sind Doppellippige Profile als Längsabstreifer völlig ungeeignet, Bild 157a. Bild 157b zeigt einen einfachen rechteckigen Querschnitt als Dichtprofil. Wird das Profil mit geringer Kraft an die Gegenläufigkeit gedrückt, berührt es diese über seine gesamte Länge. Dabei ist die Variante im Bild 157c schlechter eingestuft, da aufgrund der kleineren Fläche bei gleicher Vorspannkraft die größere Pressung wirksam ist. Beide Profilformen machen Schwierigkeiten bei der Anbindung an den Querabstreifer. Wenn der Längs- und der Querabstreifer den gleichen Vorspannweg haben, werden die Längsabstreifer zu stark belastet. Die Variante im Bild 157d ist so ausgeführt, dass das Profil auf Biegung und nicht so sehr durch Normalkräfte beansprucht wird. Der Kontaktbereich ist mit einem Radius versehen. So hat die „Dichtkante“ immer die gleichen Kontaktbedingungen zur Gegenfläche, gleichgültig wie schräg die Dichtlippe steht.

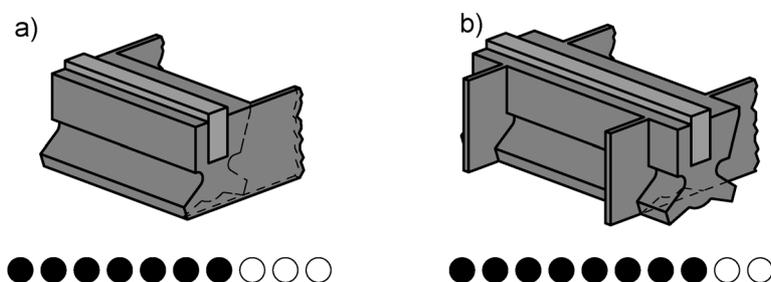


Bild 158: Anbindung von Längs- an Querabstreifern

Die Variante im Bild 157d ist so ausgeführt, dass das Profil auf Biegung und nicht so sehr durch Normalkräfte beansprucht wird. Der Kontaktbereich ist mit einem Radius versehen. So hat die „Dichtkante“ immer die gleichen Kontaktbedingungen zur Gegenfläche, gleichgültig wie schräg die Dichtlippe steht.

Bild 158 zeigt zwei verschiedene Varianten der Anbindung von Längs- und Querabstreifern als Prinzipdarstellung. Durch direktes Anspritzen des Längs- an den Querabstreifer werden offene Stoßstellen vermieden. Bei beiden Varianten verschließt der Längsabstreifer den Raum zwischen den schmutz- und schmierstoffabstreifenden Dichtlippen des Querabstreifers. Der Unterschied der Varianten liegt in der Position des Längs- zum Querabstreifer. In Bild 158a ist der Längsabstreifer einfach am Querabstreifer angesetzt. In Bild 158b sind die beiden Elemente so zusammenzufügen, dass sie sich durchdringen. Beide Lösungen funktionieren gleich gut. Die Variante in Bild 158b lässt sich jedoch beim Spritzgießen einfacher herstellen, /45/.

## 10 Hinweise für die praktische Anwendung

Das in /24/ beschriebene Abstreiferprofil V18\_9 ist das erste Produkt einer systematischen Betrachtung des Dichtungsumfelds an Linearführungen. Während der Entwicklung dieses Abstreiferprofils wurden folgende grundlegende Gestaltungsregeln aufgestellt:

- Zur Abdichtung von flüssigen und festen Fremdstoffen ist ein Pressungsverlauf mit schmutzseitig steilem Pressungsanstieg notwendig
- Zur Abdichtung von Schmierstoffen ist ein Pressungsverlauf mit schmierstoffseitig steilem Pressungsanstieg notwendig
- Zusätzlich darf schmutzseitig im vorgespannten Zustand kein Keilspalt entstehen
- Stabile Dichtlippen an korrekt befestigten Abstreifern sind notwendig, um den Eintrag von Feststoffen durch Verformung der Dichtlippe zu verhindern
- Profilfehler an Abstreifern wie Grate, Formaustrieb und Oberflächenfehler sind an den funktionsbestimmenden Oberflächen der Dichtlippen zu vermeiden
- Kurze, dicke und massiv ausgeführte Dichtlippen sind zu bevorzugen, da lange, schlanke und spitz zulaufende Dichtlippen biegeweich sind und nur eine eingeschränkte Profilstabilität haben

Das neue Abstreiferprofil V18 kann aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt werden. Bei einer sinnvollen Werkstoffauswahl kommt es bei den Reib- und Normalkräften nur zu geringen Variationen der absoluten Kräfte. Einflussreicher ist die Sorgfalt, mit der die Abstreifer gefertigt wurden. Je besser die Dichtkanten der Abstreiferprofile ausgeformt sind, desto besser sind die Ergebnisse bezüglich Leckage und Verschmutzungseintrag. Auffällig ist aber die Neigung des Profils zur Adhäsion. Deshalb sind Werkstoffe günstig, die diesem Verhalten entgegenwirken. Geeignete Werkstoffe sind:

- Elastollan
- P5001
- P5010
- P5061

Hilfsmaßnahmen sind Vorrichtungen und Aufbauten, die den Abstreifer in seinen Funktionen, Abdichten des Schmierstoffes bzw. Abstreifen von Fremdstoffen, unterstützen sollen. Die Untersuchungen haben zu folgenden Erkenntnissen geführt:

- Die Mehrfachanordnung von Abstreifern ist nicht sinnvoll

Ein zweiter Abstreifer vor einer funktionierenden Dichtung ist unnötig, wenn nicht gar schädlich.

- Sperrlufteinheiten vor dem Abstreifer sind schädlich

Eine Reduzierung von Partikeln, die an den Abstreifer gelangen können, findet nicht statt. Eingeschlossene Partikel zwischen Abstreifer und Sperrlufteinheit wirken sich negativ auf die Funktion des Abstreifers aus.

- Flüssigkeitsspülungen vor dem Abstreifer sind nicht sinnvoll

Wird eine solche Spülung z.B. mit Kühlschmierstoff durchgeführt, gilt es zu bedenken, dass sehr viel Kühlschmierstoff mit hoher Geschwindigkeit in den Bereich der Führung gelangt. Genau das soll aber eigentlich vermieden werden.

Die Betrachtung dieser drei Varianten führt zu dem Schluss:

- Das beste Ergebnis wird mit einem richtig gestalteten doppellippigen Abstreifer erreicht. Eine Lippe ist zur Rückhaltung des Schmierstoffes nach innen und die andere zur Schmutzabweisung nach außen gerichtet, Bild 6.

Handelsübliche Abstreiferstirnplatten haben für gewöhnlich ein Dichtprofil mit filigranen Dichtlippen. Diese Dichtlippen werden nur gering vorgespannt. Die für die Dichtwirkungen bekannten schädlichen Merkmale wie beispielsweise Keilspalte, Formaustriebe oder mangelnde Positionierung finden sich alle wieder.

Die filigranen Dichtlippen zusammen mit geringen Vorspannwegen führen zu kleinen Reib- und Normalkräften. Bei den Verschmutzungsuntersuchungen konnte gezeigt werden, wie wenig solch filigrane Dichtlippen einem massiven Verschmutzungseintrag entgegenzusetzen haben. Grundlagen der Entwicklung von Abstreiferstirnplatten sind daher die oben bereits beschriebenen Gestaltungsregeln für das Abstreiferprofil. Aus den Untersuchungen verschiedener Abstreiferstirnplatten lassen sich ergänzend die folgenden Gestaltungsregeln aufstellen:

- Die Abstreiferstirnplatten müssen genau positioniert werden. Die Dichtlippen müssen einen ausreichend großen Vorspannweg aufweisen
- Im Vergleich zu Abstreifern für Flachführungen sind bei Abstreiferstirnplatten für Profilschienenführungen höhere Anforderungen bezüglich Form- und Maßgenauigkeit erforderlich. Je exakter die Stirnplatte gefertigt wird, desto besser ist das Ergebnis in Hinblick auf Reibung, Schmierstoffleckage und Feststoffeintrag
- Damit der Austausch von Flüssigkeit minimal ist, müssen die Pressungsgradienten der Dichtlippen in Abstreifrichtung möglichst groß sein
- Große Pressungsgradienten und die notwendigen Vorspannwege bedingen ein unvermeidbares Maß an Reibung. Eine gute Dichtwirkung ist ohne den Preis erhöhter Reibung nicht zu erreichen
- Bohrungen durch die Profilschiene sind zu vermeiden, auch wenn sie mit einem Stopfen verschlossen werden. Ideal sind Profilschienen, die von unten verschraubt werden

- Die abzudichtende Profilschiene muss überall glatte Oberflächen haben, da sonst durch Rauheit über die Rautiefen feste Fremdstoffe in den Wälzbereich der Führung transportiert werden.

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Abstreiferleisten und -stirnplatten sind Längsabstreifer in Bewegungsrichtung angeordnet. Unabhängig von der Bewegungsrichtung gelangen ständig Schmierstoff und Schmutz an die Dichtkante. Diese Medien müssen nicht aktiv abgestreift werden, da sie nur seitlich an den Längsabstreifer gelangen und sich nicht direkt auf der Bahn des Längsabstreifers befinden. Die relative Bewegung zwischen Längsabstreifer und Gegenlauffläche und damit die Funktionsbedingungen sind mit denen eines Radialwellendichtrings vergleichbar.

Bei den Untersuchungen von Längsabstreifern hat sich gezeigt, dass auf eine ausreichende Schmierung der Dichtkanten zu achten ist, sonst kommt es zu starkem Verschleiß. Die als Querabstreifer bewährten, massiven, doppelrippigen Abstreifer sind als Längsabstreifer alle vorzeitig durch hohe Reibung verschlissen. Ein Partikeleintrag konnte mit den verschiedensten Abstreiferquerschnitten und Normalkräften verhindert werden. Die geometrische Gestaltung eines Längsabstreifers ist somit im Vergleich zur Geometrie eines Querabstreifers viel unkritischer. Sie ist hinsichtlich der Reibkräfte zu optimieren. Ein wesentlicher Punkt, der bei der Gestaltung eines Längsabstreifers beachtet werden muss, ist eine geeignete Anbindung an den Querabstreifer. Diese Stoßstelle hat auch bei den Versuchen eine Schwachstelle des Systems dargestellt. Die Ergebnisse der praktischen Untersuchung der Längsabstreifer flossen in die Entwicklung von Längsabstreifern und dem Übergang vom Quer- zum Längsabstreifer ein. Wichtige Entwicklungskriterien hierfür waren eine einfache Herstellbarkeit solcher Längs- und Querabstreiferkombinationen und eine Dichtkante, die durchgängig die abzustreifende Gegenfläche leicht berührt. Generell gilt:

- Doppellippige Abstreifer sind als Längsabstreifer ungeeignet
- Eine Lippe mit schmaler Kontaktbreite und damit hohe Anpressung bei geringer Normal- und Reibkraft ist günstig
- Längsabstreifer funktionieren ähnlich wie langsam laufende Radialwellendichtringe. Deren seit vielen Jahren bewährte Richtwerte für Berührbreiten und Linienpressungen können übernommen werden
- Um zu vermeiden, dass sich Fremdstoffe unter der Dichtlippe anlagern, muss sich die maximale Pressung nah an der Beaufschlagungsseite befinden
- Längsabstreifer sind einfacher auszulegen wie Querabstreifer. Die wichtigste Bedingung für die Funktion ist: Der Abstreifer muss die Gegenfläche durchgängig auf einer schmalen Spur berühren

# 11 Zusammenfassung

Abstreifer für Werkzeugmaschinen-Führungen haben die Aufgabe Fremdstoffe daran zu hindern, in den Führungsbereich einzudringen sowie den Schmierstoff der Führung im System zu halten. Fast ohne Ausnahme wird die Lebensdauer einer Linearführung durch Kontamination oder Mangelschmierung begrenzt.

In dieser Arbeit wird eine Profilform vorgestellt, welche diese Aufgaben bei Quer- bzw. Stirnabstreifern sehr gut erfüllt. Das wesentliche Merkmal dieser Profilform sind zwei kurze massive Dichtlippen mit großen Pressungsgradienten, die dem jeweiligen abzudichtenden Medium zugewandt sind. Eine gute Abstreifwirkung ist nur mit hohen Pressungsgradienten und einer ausreichenden Vorspannkraft zu erreichen. Wichtiger als die Werkstoffwahl ist die Fertigungsgenauigkeit des Profils.

Hilfsmaßnahmen wie Sperrluft, Flüssigkeitsspülungen und Mehrfachanordnungen machen nur wenig Sinn. Gute Dichtergebnisse sind nur mit einem einzelnen funktionierenden Abstreiferprofil zu erreichen.

Die innerhalb dieser Arbeit entwickelten Abstreiferstirnplatten haben allesamt eine wesentlich größere Wirksamkeit gegen Schmierstoffleckage und dem Eintrag von festen Fremdstoffen gezeigt als alle untersuchten handelsüblichen Abstreifer. Grundlage der Entwicklung war wieder das oben genannte Abstreiferprofil. Handelsübliche Abstreiferstirnplatten haben nur geringe Vorspannwege und damit kleine Reib- und Normalkräfte. Die für die Dichtwirkungen bekannten schädlichen Merkmale finden sich alle wieder, wie beispielsweise Keilspalte, Formaustriebe oder mangelnde Positionierung. Bei den Verschmutzungsuntersuchungen konnte gezeigt werden, wie wenig solch filigrane Dichtlippen einem massiven Verschmutzungseintrag entgegenzusetzen haben. Ein zuverlässiger Schutz vor festen Fremdstoffen ist nicht ohne den Preis erhöhter Reibkräfte zu haben.

Für die geometrische Gestaltung eines Längsabstreifers gelten andere Regeln als für einen Querabstreifer. Schmierstoffleckage und Partikeleintrag konnten mit den verschiedensten Geometrien und Normalkräften verhindert werden. Die geometrische Gestaltung eines Längsabstreifers ist somit im Vergleich zur Geometrie eines Querabstreifers wesentlich unkritischer und kann hinsichtlich der Reibkräfte optimiert werden. Die als Querabstreifer bestens funktionierenden Profile lassen sich nicht als Längsabstreifer einsetzen. Die Gestaltungsregeln für Radialwellendichtringe können hier übernommen werden. Wichtige Entwicklungskriterien hierfür waren die Herstellbarkeit und eine Dichtkante, die durchgängig die abzustreifende Gegenfläche berührt.

## 12 Abstract

Wipers are seals for linear guidance in machine tools and other technical installations. One task of the wiper is to avoid contamination through particles or fluids, the other task is to keep the lubricant in the tribological system of the linear guidance.

If the wiper does not work correctly, the results are inconstant slides, jamming of the guidance and a loss of accuracy. The worst case is the destruction of the linear guidance. The durability of a machine tool is limited by contamination or a lack of lubricant almost with no exception. The Profile V18\_9 described in /24/ is the first product of a methodical study of sealing guidances. With this new wiper profile the wiper can be made of different materials. Friction and normal forces do not vary very much if the material choice is expedient.

The multiple assembly of wipers leads to the conclusion that it is not necessary to put a second wiper in front of the operating wiper. This second wiper can actually have a bad influence on the first one. Other supporting components like air barrier seals or liquid scavengings are not convenient.

Commercial wiper end plates for monorail guidance show different kinds of failures. These wiper end plates normally have a sealing profile with thin sealing lips. These sealing lips only have a small initial tension. All symptoms for non working wipers like wedge shape gaps, mould spews or poor fixing are present.

But there is also an influence of the contact surface which is to wipe off. Trough holes for fixing the guidance are responsible for high contamination of foreign solids, even if they are closed by a plug. The direction of the guidance's grooves can also lead to contamination.

All of the new developed wipers show better results concerning lubricant leakage and contamination. Commercial wipers only have small initial tensions so they only have small friction and normal forces. Tests on contamination showed that these wipers are not able to keep the guidance free of foreign solids. A reliable protection against contamination cannot be accomplished without the price of increasing friction.

The requirements for the production of wiper end plates for monorail guidance are higher than for plain guidance wipers concerning tolerances for shape and dimension. The more accurately the wiper was made the better were the results in view of friction, leakage and contamination.

The examination of various longitudinal wiper showed, that sufficient lubrication of the sealing lips is needed. If this lubrication cannot be provided, the sealing lips will wear out. The new developed wipers did not work as longitudinal wipers because they were destroyed by an unacceptable high friction.

The contamination of solids could be prevented with various geometries and normal forces. That means creating a longitudinal wiper is easier than creating a cross wiper. The Geometry can be optimised in view of the friction.

The results of the examination of longitudinal wipers led to the development of new wiper geometries and binding to the cross wiper. Criteria for the development were the capability of producing this combination of longitudinal and cross wipers and a sealing edge that touches the guidance's surface continuously.

## 13 Literatur

- /1/ Weck, M.: Werkzeugmaschinen, Fertigungssysteme, Bd. 2: Konstruktion und Berechnung. 4. Auflage, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991.
- /2/ N.N.: Mehr Performance für die Werkzeugmaschine, NC-Fertigung 3/2000.
- /3/ N.N.: Wer hat der hat. Industrie Service 3/2000.
- /4/ Schäfer, M.: Kugelschienenführungen – die bewegten Elemente. Das Industrie Magazin 9/2002.
- /5/ Welle, R.G.: Praxis bestätigt Theorie. AGT 4/2002.
- /6/ N.N.: Mit der Kugelkette auf linearem Weg. Produktion Nr. 13, 30.3.2000.
- /7/ N.N.: Das Leben verlängert. Produktion Nr. 13, 30.3.2000.
- /8/ Wartungsfrei in Theorie und Praxis. Technik Revue, 3/2000.
- /9/ Schelenz, R.: Führungseigenschaften von Profilschienenführungen in Abhängigkeit verschiedener Konstruktionsparameter. Dissertation RWTH Aachen 1994.
- /10/ Christov, S.: Einbaugenauigkeit und Querschnittsberechnung von Profilschienenführungen. Dissertation TU Dresden, 1995.
- /11/ Ispaylar, M. H.: Betriebseigenschaften von Profilschienen-Wälzführungen. Dissertation, RWTH Aachen, 1996.
- /12/ Koenigsberger, F.: Berechnungen, Konstruktionsgrundlagen und Bauelemente spanender Werkzeugmaschinen, Springer Verlag, 1961.
- /13/ Brendel, H.; Winkler, H.: Wissenspeicher Tribotechnik Schmierstoffe-Gleitpaarungen-Schmiereinrichtungen, Springer Verlag, 1978.
- /14/ Bürger, H.; Aurin, S.: Abstreifer als Schutz der Führungsbahnen von Drehmaschinen, Zentralinstitut für Technologie und Organisation des Maschinenbaues Karl-Marx-Stadt, 1959.

- /15/ Fahrenscho, P.: Konstruktions- und Anwendungsrichtlinie für Gleitführungen auf Epoxidharzbasis, Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues Karl-Marx-Stadt, F/E-Bericht 1980.
- /16/ Kortendieck, W.: Ölverteilung in Werkzeugmaschinen-Gleitführungen. Aufbau des Schmierfilms in hydrodynamischen Gleitführungen und Einfluß der Schlittenbewegung auf den Schmierzustand, Maschinenmarkt Jahrgang 75 (1969) Heft 96.
- /17/ Stromberger, C.; Drews, K.: Untersuchungen an Führungen und Antrieben von Werkzeugmaschinenschlitten und -tischen, 2. Bericht, VDW-Forschungsbericht Nr. 0403, Heft 2;11/66.
- /18/ N.N.: Erfahrungen bei Serieneinsatz plastbeschichteter Führungsbahnen aus der Sicht des Maschinenherstellers, Schmierungstechnik Band 12, 1981.
- /19/ Siebdraht, G.; Koks, P.: Abstreifeinrichtung, Patentschrift 147832, Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues Karl-Marx-Stadt, 1981.
- /20/ Schutzrecht CH638709A5. 1983. Abstreifeinrichtung für einen beweglichen Teil einer Werkzeugmaschine. Gebr. Hennig GmbH.
- /21/ Schutzrecht EP0267248B1. 1987. Abstreifeinrichtung für Teleskop-Stahlabdeckungen. Gebr. Hennig GmbH.
- /22/ Schutzrecht DE 3545168C2. 1990. Abstreifvorrichtung an teleskopartig ineinanderschiebbaren Kästen von Schutzabdeckungen für Führungsbahnen von Werkzeugmaschinen. Wilhelm Carl GmbH & Co.
- /23/ Schutzrecht DE1803448C3. 1978. Abstreifvorrichtung an teleskopförmig übereinander schiebbaren Abdeckkästen. Gebr. Hennig GmbH.
- /24/ Lambert, M.: Abdichtung von Werkzeugmaschinen-Flachführungen. Dissertation, Universität Stuttgart, 2000.
- /25/ N.N.: Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben Untersuchung der Feststoffeinwanderung in Hydrauliksysteme . Institut für hydraulische und pneumatische Antriebe, RWTH Aachen, 1985.
- /26/ Schmitt, W.: Kunststoffe und Elastomere in der Dichtungstechnik. Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz; Kohlhammer, 1987.
- /27/ Müller, H. K.: Abdichtung bewegter Maschinenteile. Medienverlag U. Müller, Waiblingen, 1990.
- /28/ Müller, H. K.; Nau, B. S.: Fluid sealing technology: Principles and applications. Marcel Dekker Inc., New York 1998.

- /29/ Müller, H. K.; Nau, B. S.: [www.fachwissen-dichtungstechnik.de](http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de).
- /30/ Eberspächer, H: Dichtungen für die Fluidtechnik. Reschverlag, München, 1987.
- /31/ Tietze, W.: Dichtungspraxis, Handbuch. Vulkan-Verlag, Essen 1998.
- /32/ Blok, H Inverse problems in hydrodynamic lubrication and design, directives for lubricated flexible surfaces. Extended version of lecture at the symposium on lubrication and wear. Houston, Texas USA, 1963.
- /33/ Firmenschrift: Abstreif-Systeme, Firma Hennig, 1996.
- /34/ Firmenschrift: Führungsbahnabstreifer, Firma VAJ, 1996.
- /35/ Firmenschrift: Linearführungen. Druckschrift Fa. INA 1998.
- /36/ Firmenschrift: Rollenschienenführungen. Druckschrift Fa. Rexroth 2002.
- /37/ Firmenschrift: Linearführungssysteme. Druckschrift Fa. THK 2000.
- /38/ Janßen, M., Haas, W.; Lambert, M.: Untersuchungen zum Schmutzeintrag an Abstreifern für Führungen. Trialog der Dichtungstechnik, ISGATEC 2002.
- /39/ Janßen, M.; Haas, W.; Lambert, M.: Tests on contamination of wipers for linear guidance. 17<sup>th</sup> International Conference on Fluid Sealing.
- /40/ Janßen, M., Haas, W.: Untersuchung und Entwicklung von Abstreiferstirnplatten für Profilschienenführungen. Jahrbuch der Dichtungstechnik, ISGATEC 2004.
- /41/ Jemai, M.: Konstruktion einer Partikeldosier- und Zuführeinrichtung. Diplomarbeit am Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart, 2003 (nicht veröffentlicht).
- /42/ Janßen, M.: Konstruktion und Inbetriebnahme einer Einrichtung zur Beobachtung und Zählung von Feststoffpartikeln. Studienarbeit am Institut für Maschinenelemente Universität Stuttgart 1998 (nicht veröffentlicht).
- /43/ Schilling, M., Ege: Referenzöle für Wälz- und Gleitlager, Zahnrad- und Kupplungsversuche. FVA-Forschungsheft Nr. 180. Frankfurt / Main 1985.
- /44/ Schindler, J.: Hilfsmaßnahmen bei der Abdichtung von Werkzeugmaschinenführungen. Studienarbeit am Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart, 2000 (nicht veröffentlicht).
- /45/ Gütlein, A., Janssen, M.: Abdichtung von Werkzeugmaschinen-Führungen Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben FWF2402.

- /46/ Firmenschrift: MSC/PATRAN 6.2, Installation and Operation Manual, The MacNeal-Schwendler Corporation, 1996.
- /47/ Firmenschrift: MARC Analysis Research Corporation: MENTAT 3.1. MENTAT Command Reference. Benutzerhandbuch, Palo Alto: MARC Analysis Research Corporation, 1997.
- /48/ Firmenschrift: MARC Analysis Research Corporation: MARC K7. MARC Reference library Volume A-D: User Information, Element Library, Program Input, User Subroutines/Special Routines. Benutzerhandbücher, Palo Alto, 1997.
- /49/ Firmenschrift: Parametric Technology Cooperation: Pro Engineer 2000i. Hilfethemen für Grundlagen, 1999.
- /50/ Firmenschrift: Parametric Technology Cooperation: Pro Engineer 2000i. Hilfethemen für Modellierung von Bauteilen, 1999.
- /51/ Sorg, H.: Praxis der Rauheitsmessung und Oberflächenbeurteilung. Carl Hanser Verlag München Wien, 1995.
- /52/ Schmuker, S.: Untersuchungen von Längsabstreifern in Werkzeugmaschinenführungen. Studienarbeit am Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart, 2003 (nicht veröffentlicht).

# Lebenslauf

Name: Martin Peter Josef Janßen  
Geburtsdatum: 6. Juni 1972  
Geburtsort: Böblingen  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: ledig  
Eltern: Josef Janßen; Helga Janßen, geb. Biegalla

## Schulbildung:

1979-1983 Grundschule, Leonberg  
1983-1989 Realschule, Leonberg  
1989-1992 Technisches Gymnasium, Leonberg  
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

## Wehrpflicht:

Oktober 1992 – Fernmelderegiment 81 / Flugsicherungssektor D  
September 1993

## Hochschule:

Oktober 1993 – Studium Maschinenbau an der Universität Stuttgart  
April 1999 Abschluss: Diplom Ingenieur

## Nebentätigkeiten:

April 1996 – Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart  
April 1999

## Berufspraxis:

April 1999 – Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Maschinenelemente (IMA) der Universität Stuttgart  
Juni 2004  
Seit Juli 2004 Projektleiter bei der Fa. MAHLE Filtersysteme GmbH

Liste der bisher erschienenen Berichte aus dem IMA:

Nr.	Verfasser	Titel
1	H.K. Müller	Beitrag zur Berechnung und Konstruktion von Hochdruckdichtungen an schnellaufenden Wellen
2	W. Passera	Konzentrisch laufende Gewinde-Wellen-Dichtung im laminaren Bereich
3	K. Karow	Konzentrische Doppelgewindewellendichtung im laminaren Bereich
3	F.E. Breit	Die Kreiszyinderschalendichtung: Eine Axialspaltdichtung mit druckabhängiger Spaltweite
	W. Sommer	Dichtungen an Mehrphasensystemen: Berührungsfreie Wellendichtungen mit hochviskosen Sperrflüssigkeiten
4	K. Heitel	Beitrag zur Berechnung und Konstruktion konzentrisch und exzentrisch betriebener Gewindewellendichtungen im laminaren Bereich
5	K.-H. Hirschmann	Beitrag zur Berechnung der Geometrie von Evolventenverzahnungen
6	H. Däuble	Durchfluß und Druckverlauf im radial durchströmten Dichtspalt bei pulsierendem Druck
7	J. Rybak	Einheitliche Berechnung von Schneidrädern für Außen- und Innenverzahnungen. Beitrag zu Eingriffstörungen beim Hohlrad-Verzahn mittels Schneidräder
8	D. Franz	Rechnergestütztes Entwerfen von Varianten auf der Grundlage gesammelter Erfahrungswerte
9	E. Lauster	Untersuchungen und Berechnungen zum Wärmehaushalt mechanischer Schaltgetriebe
10		Festschrift zum 70. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. K. Talke
11	G. Ott	Untersuchungen zum dynamischen Leakage- und Reibverhalten von Radialwellendichtungen
12	E. Fuchs	Untersuchung des elastohydrodynamischen Verhaltens von berührungsfreien Hochdruckdichtungen
13	G. Sedlak	Rechnerunterstütztes Aufnehmen und Auswerten spannungsoptischer Bilder
14	W. Wolf	Programmsystem zur Analyse und Optimierung von Fahrzeuggetrieben
15	H. v. Eiff	Einfluß der Verzahnungsgeometrie auf die Zahnfußbeanspruchung innen- und außenverzahnter Geradstirnräder
16	N. Messner	Untersuchung von Hydraulikstangendichtungen aus Polytetrafluoräthylen
17	V. Schade	Entwicklung eines Verfahrens zur Einflanken-Wälzprüfung und einer rechnergestützten Auswertemethode für Stirnräder
18	A. Gührer	Beitrag zur Optimierung von Antriebssträngen bei Fahrzeugen
19	R. Nill	Das Schwingungsverhalten loser Bauteile in Fahrzeuggetrieben
20	M. Kammüller	Zum Abdichtverhalten von Radial-Wellendichtungen
21	H. Truong	Strukturorientiertes Modellieren, Optimieren und Identifizieren von Mehrkörpersystemen
22	H. Liu	Rechnergestützte Bilderfassung, -verarbeitung und -auswertung in der Spannungsoptik
23	W. Haas	Berührungsfreie Wellendichtungen für flüssigkeitsbespritzte Dichtstellen
24	M. Plank	Das Betriebsverhalten von Wälzlagern im Drehzahlbereich bis 100.000/min bei Kleinstmengenschmierung
25	A. Wolf	Untersuchungen zum Abdichtverhalten von druckbelastbaren Elastomer- und PTFE-Wellendichtungen
26	P. Waidner	Vorgänge im Dichtspalt wasserabdichtender Gleitringdichtungen
27	Hirschmann u.a.	Veröffentlichungen aus Anlaß des 75. Geburtstags von Prof. Dr.-Ing. Kurt Talke
28	B. Bertsche	Zur Berechnung der Systemzuverlässigkeit von Maschinenbau-Produkten
29	G. Lechner;	Forschungsarbeiten zur Zuverlässigkeit im Maschinenbau
	K.-H.Hirschmann;	
	B. Bertsche	
30	H.-J. Prokop	Zum Abdicht- und Reibungsverhalten von Hydraulikstangendichtungen aus Polytetrafluoräthylen
31	K. Kleinbach	Qualitätsbeurteilung von Kegelradsätzen durch integrierte Prüfung von Tragbild, Einflankenwälzabweichung und Spielverlauf
32	E. Zürn	Beitrag zur Erhöhung der Meßgenauigkeit und -geschwindigkeit eines Mehrkoordinatentastlers
33	F. Jauch	Optimierung des Antriebsstranges von Kraftfahrzeugen durch Fahrsimulation
34	J. Grabscheid	Entwicklung einer Kegelrad-Laufprüfmaschine mit thermografischer Tragbilderfassung
35	A. Hölderlin	Verknüpfung von rechnerunterstützter Konstruktion und Koordinatenmeßtechnik
36	J. Kurfess	Abdichten von Flüssigkeiten mit Magnetflüssigkeitsdichtungen
37	G. Borenius	Zur rechnerischen Schädigungsakkumulation in der Erprobung von Kraftfahrzeugteilen bei stochastischer Belastung mit variabler Mittellast
38	E. Fritz	Abdichtung von Maschinenspindeln
39	E. Fritz; W. Haas;	Berührungsfreie Spindelabdichtungen im Werkzeugmaschinenbau. Konstruktionskatalog

Nr.	Verfasser	Titel
	H.K. Müller	
40	B. Jenisch	Abdichten mit Radial-Wellendichtringen aus Elastomer und Polytetrafluorethylen
41	G. Weidner	Klappern und Rasseln von Fahrzeuggetrieben
42	A. Herzog	Erweiterung des Datenmodells eines 2D CAD-Systems zur Programmierung von Mehrkoordinatenmeßgeräten
43	T. Roser	Wissensbasiertes Konstruieren am Beispiel von Getrieben
44	P. Wäschle	Entlastete Wellendichtringe
45	Z. Wu	Vergleich und Entwicklung von Methoden zur Zuverlässigkeitsanalyse von Systemen
46	W. Richter	Nichtwiederholbarer Schlag von Wälzlageeinheiten für Festplattenlaufwerke
47	R. Durst	Rechnerunterstützte Nutprofilentwicklung und clusteranalytische Methoden zur Optimierung von Gewindewerkzeugen
48	G.S. Müller	Das Abdichtverhalten von Gleitringdichtungen aus Siliziumkarbid
49	W.-E. Krieg	Untersuchungen an Gehäuseabdichtungen von hochbelasteten Getrieben
50	J. Grill	Zur Krümmungstheorie von Hüllflächen und ihrer Anwendung bei Werkzeugen und Verzahnungen
51	M. Jäckle	Entlüftung von Getrieben
52	M. Köchling	Beitrag zur Auslegung von geradverzahnten Stirnrädern mit beliebiger Flankenform
53	M. Hildebrandt	Schadensfrüherkennung an Wälzkontakten mit Körperschall-Referenzsignalen
54	H. Kaiser	Konstruieren im Verbund von Expertensystem, CAD-System, Datenbank und Wiederholteil-suchsystem
55	N. Stanger	Berührungsfrei abdichten bei kleinem Bauraum
56	R. Lenk	Zuverlässigkeitsanalyse von komplexen Systemen am Beispiel PKW-Automatikgetriebe
57	H. Naunheimer	Beitrag zur Entwicklung von Stufenlosgetrieben mittels Fahrsimulation
58	G. Neumann	Thermografische Tragbilderfassung an rotierenden Zahnrädern
59	G. Wüstenhagen	Beitrag zur Optimierung des Entlasteten Wellendichtrings
60	P. Brodbeck	Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Bauteilzuverlässigkeit und zur Systemberechnung nach dem Booleschen Modell
61	Ch. Hoffmann	Untersuchungen an PTFE-Wellendichtungen
62	V. Hettich	Identifikation und Modellierung des Materialverhaltens dynamisch beanspruchter Flächen-dichtungen
63	K. Riedl	Pulsationsoptimierte Außenzahnpumpen mit ungleichförmig übersetzenden Radpaaren
64	D. Schwuchow	Sonderverzahnungen für Zahnpumpen mit minimaler Volumenstrompulsation
65	T. Spörl	Modulares Fahrsimulationsprogramm für beliebig aufgebaute Fahrzeugtriebstränge und Anwendung auf Hybridantriebe
66	K. Zhao	Entwicklung eines räumlichen Toleranzmodells zur Optimierung der Produktqualität
67	K. Heusel	Qualitätssteigerung von Planetengetrieben durch Selektive Montage
68	T. Wagner	Entwicklung eines Qualitätsinformationssystems für die Konstruktion
69	H. Zelßmann	Optimierung des Betriebsverhaltens von Getriebeentlüftungen
70	E. Bock	Schwimmende Wellendichtringe
71	S. Ring	Anwendung der Verzahnungstheorie auf die Modellierung und Simulation des Werkzeug-schleifens
72	M. Klöpfer	Dynamisch beanspruchte Dichtverbindungen von Getriebegehäusen
73	C.-H. Lang	Losteilgeräusche von Fahrzeuggetrieben
74	W. Haas	Berührungsfreies Abdichten im Maschinenbau unter besonderer Berücksichtigung der Fanglabyrinth
75	P. Schiberna	Geschwindigkeitsvorgabe für Fahrsimulationen mittels Verkehrssimulation
76	W. Elser	Beitrag zur Optimierung von Wälzgetrieben
77	P. Marx	Durchgängige, bauteilübergreifende Auslegung von Maschinenelementen mit unscharfen Vorgaben
78	J. Kopsch	Unterstützung der Konstruktionstätigkeiten mit einem Aktiven Semantischen Netz
79	J. Rach	Beitrag zur Minimierung von Klapper- und Rasselgeräuschen von Fahrzeuggetrieben
80	U. Häussler	Generalisierte Berechnung räumlicher Verzahnungen und ihre Anwendung auf Wälzfräserherstellung und Wälzfräsen
81	M. Hüsges	Steigerung der Tolerierungsfähigkeit unter fertigungstechnischen Gesichtspunkten
82	X. Nastos	Ein räumliches Toleranzbewertungssystem für die Konstruktion
83	A. Seifried	Eine neue Methode zur Berechnung von Rollenlagern über lagerinterne Kontaktbeanspruchungen
84	Ch. Dörr	Ermittlung von Getriebebelastkollektiven mittels Winkelbeschleunigungen
85	A. Veil	Integration der Berechnung von Systemzuverlässigkeiten in den CAD-Konstruktionsprozeß
86	U. Frenzel	Rückenstrukturierte Hydraulikstangendichtungen aus Polyurethan
87	U. Braun	Optimierung von Außenzahnpumpen mit pulsationsarmer Sonderverzahnung

Nr.	Verfasser	Titel
88	M. Lambert	Abdichtung von Werkzeugmaschinen-Flachführungen
89	R. Kubalczyk	Gehäusegestaltung von Fahrzeuggetrieben im Abdichtbereich
90	M. Oberle	Spielbeeinflussende Toleranzparameter bei Planetengetrieben
91	S. N. Dogan	Zur Minimierung der Losteilgeräusche von Fahrzeuggetrieben
92	M. Bast	Beitrag zur werkstückorientierten Konstruktion von Zerspanwerkzeugen
93	M. Ebenhoch	Eignung von additiv generierten Prototypen zur frühzeitigen Spannungsanalyse im Produktentwicklungsprozeß
94	A. Fritz	Berechnung und Monte-Carlo Simulation der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit technischer Systeme
95	O. Schrems	Die Fertigung als Versuchsfeld für die qualitätsgerechte Produktoptimierung
96	M. Jäckle	Untersuchungen zur elastischen Verformung von Fahrzeuggetrieben
97	H. Haiser	PTFE-Compounds im dynamischen Dichtkontakt bei druckbelastbaren Radial-Wellendichtungen
98	M. Rettenmaier	Entwicklung eines Modellierungs-Hilfssystems für Rapid Prototyping gerechte Bauteile
99	M. Przybilla	Methodisches Konstruieren von Leichtbauelementen für hochdynamische Werkzeugmaschinen
100	M. Olbrich	Werkstoffmodelle zur Finiten-Elemente-Analyse von PTFE-Wellendichtungen
101	M. Kunz	Ermittlung des Einflusses fahrzeug-, fahrer- und verkehrsspezifischer Parameter auf die Getriebelastkollektive mittels Fahrsimulation
102	H. Ruppert	CAD-integrierte Zuverlässigkeitsanalyse und -optimierung
103	S. Kilian	Entwicklung hochdynamisch beanspruchter Flächendichtverbindungen
104	A. Flaig	Untersuchung von umweltschonenden Antriebskonzepten für Kraftfahrzeuge mittels Simulation
105	B. Luo	Überprüfung und Weiterentwicklung der Zuverlässigkeitsmodelle im Maschinenbau mittels Mono-Bauteil-Systemen
106	L. Schüppenhauer	Erhöhung der Verfügbarkeit von Daten für die Gestaltung und Berechnung der Zuverlässigkeit von Systemen
107	J. Ryborz	Klapper - und Rasselgeräuschverhalten von Pkw- und Nkw- Getrieben
108	M. Würthner	Rotierende Wellen gegen Kühlschmierstoff und Partikel berührungsfrei abdichten
109	C. Gitt	Analyse und Synthese leistungsverzweigter Stufenlosgetriebe
110	A. Krolo	Planung von Zuverlässigkeitstests mit weitreichender Berücksichtigung von Vorkenntnissen
111	G. Schöllhammer	Entwicklung und Untersuchung inverser Wellendichtsysteme
112	K. Fronius	Gehäusegestaltung im Abdichtbereich unter pulsierendem Innendruck
113	A. Weidler	Ermittlung von Raffungsfaktoren für die Getriebeerprobung
114	B. Stiegler	Berührungsfreie Dichtsysteme für Anwendungen im Fahrzeug- und Maschinenbau
115	T. Kunstfeld	Einfluss der Wellenoberfläche auf das Dichtverhalten von Radial-Wellendichtungen