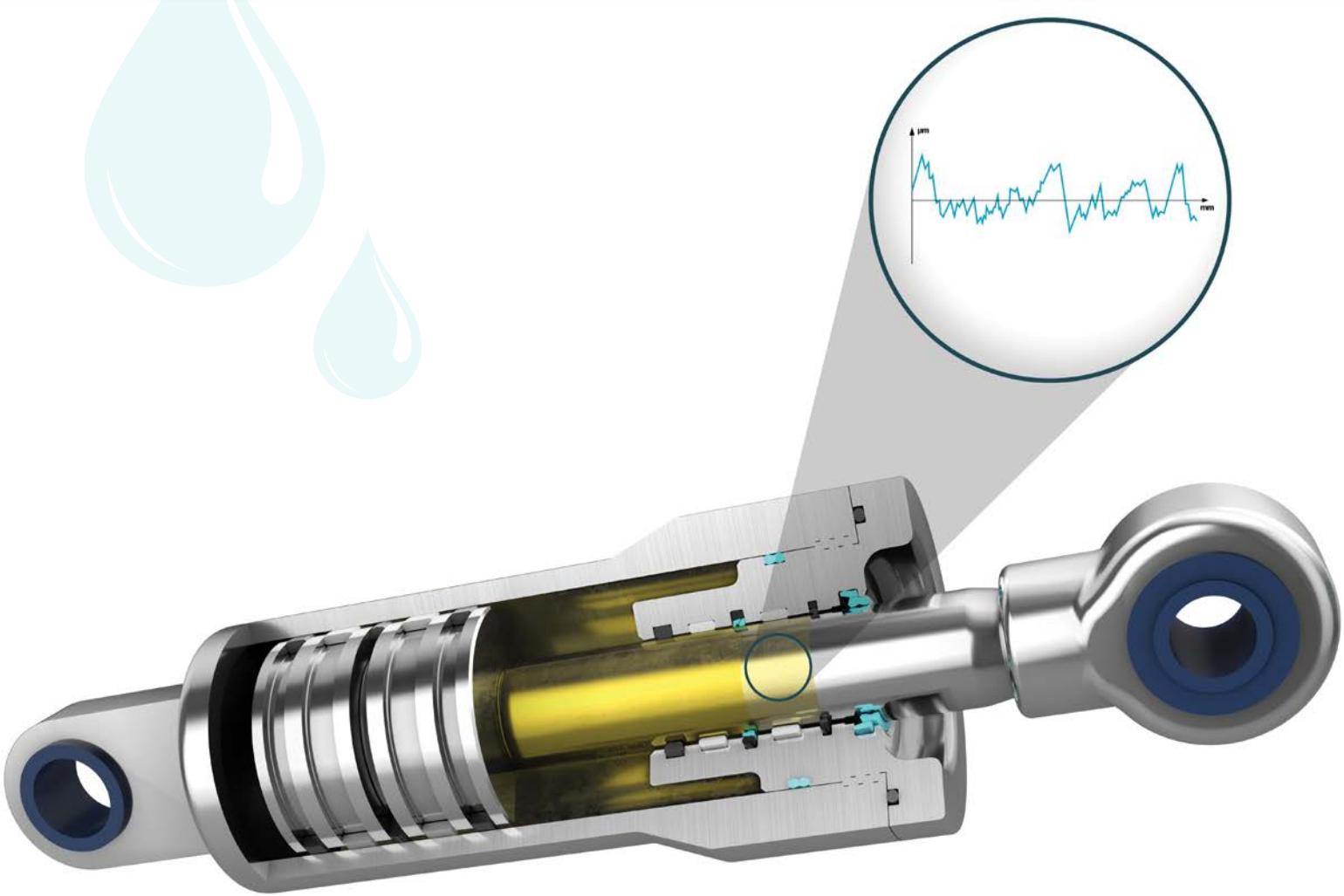


Einführung in das Thema Gegenlauflächen



Einführung

Bei der Definition von Gegenlaufflächen ist eine neue Herangehensweise erforderlich, um eine optimale Dichtwirkung in dynamischen Anwendungen zu erreichen, in denen Chrombeschichtungen durch alternative Beschichtungen ersetzt werden.

Autoren: Dr.-Ing. Mandy Wilke, Holger Jordan

Kolbenstangen in Hydrauliksystemen wurden bisher in der Regel verchromt, um die gewünschten tribologischen Oberflächeneigenschaften zu erreichen. Seit Verabschiedung der REACH-Richtlinie gilt Chrom VI (CR6) jedoch als gefährliche Substanz, die nicht mehr in Hydraulikanwendungen zum Einsatz kommen darf. Daher werden inzwischen vermehrt alternative Beschichtungen für Kolbenstangen in Hydrauliksystemen verwendet.

Um eine größtmögliche Leistung und Lebensdauer von Hydrauliksystemen zu erreichen, sollte bei ihrer Gestaltung eine optimale Systemtribologie im Vordergrund stehen, die von dem Zusammenwirken der Dichtungen, der Hydraulikflüssigkeit und der Oberflächengüte der Gegenlaufflächen im System abhängig ist. Die Schmierung innerhalb eines Hydrauliksystems wird grundlegend von der Oberflächengüte der Gegenlaufflächen beeinflusst. Die Eigenschaften der Oberfläche sind ausschlaggebend für die Schmierung im System und somit auch für das tribologische Verhalten.

Die bisher verwendeten Angaben der zweidimensionalen Rauheitskennwerte basieren auf den Kenntnissen der Chrom-Oberflächen. Das Zusammenwirken dieser Oberflächen mit den Dichtungen und Hydraulikflüssigkeiten ist hinreichend bekannt. Die heutigen Empfehlungen, die Dichtungshersteller in Bezug auf Rauheiten von Gegenlaufflächen in Hydrauliksystemen angeben, basieren immer noch auf Chrom, obwohl inzwischen sehr oft alternative Beschichtungen verwendet werden.

Die Oberflächeneigenschaften alternativer Beschichtungen weichen jedoch deutlich von Chrom-Beschichtungen ab. In diesem Whitepaper wird dazu angeregt, detailliertere Empfehlungen zu verwenden, um eine vollständige Optimierung der Tribologie in Hydrauliksystemen zu erreichen und den Chrom-Alternativen für die Beschichtung von Kolbenstangen gerecht zu werden.



Hintergrund

Hydrauliksysteme

Hydrauliksysteme kommen in einer Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz – von Fahrwerken in der Luftfahrt bis hin zu Bauteilen eines Traktors, von Prothesen bis hin zu Windkraftanlagen. All diese Anwendungen basieren auf dem Prinzip, dass eine Kraft an einer Stelle wirkt und mithilfe einer nicht komprimierbaren Flüssigkeit an eine andere Stelle übertragen wird, wobei sich die Kraft während dieses Prozesses in der Regel vervielfacht.

Der Grundsatz der Hydraulik beruht auf dem Pascalschen Gesetz. Dieses besagt: „Wenn eine Druckänderung an einem beliebigen Punkt innerhalb eines geschlossenen Systems mit nicht komprimierbarer Flüssigkeit erfolgt, breitet sich diese Änderung durch die Flüssigkeit so aus, dass sie im selben Umfang an allen anderen Stellen auftritt.“

Hydraulikzylinder

Einfach- oder doppeltwirkende Hydraulikzylinder wandeln die in der Hydraulikflüssigkeit gespeicherte Energie in eine Kraft um, mit der eine lineare Bewegung erzeugt wird.

Der Hydraulikzylinder umfasst ein Zylinderrohr, in dem sich ein mit einer Kolbenstange verbundener Kolben vor und zurück bewegt. Beschichtungen werden normalerweise auf die Kolbenstange aufgetragen, um gute Reibeeigenschaften zu schaffen, Korrosion zu vermeiden sowie einen minimalen Verschleiß und eine maximale Leistung zu erreichen. Damit Dichtungen optimal funktionieren, werden die Beschichtungen entsprechend den Rauheitsempfehlungen der Dichtungshersteller bearbeitet.

Oberflächenrauheit

Die Oberflächenrauheit wird mithilfe der Abweichungen einer realen Oberfläche in der Richtung des Normalenvektors von ihrer idealen Form bestimmt. Fallen die Abweichungen groß aus, ist die Oberfläche rau; sind sie klein, ist die Oberfläche glatt. Die Rauheit hat einen großen Einfluss darauf, wie sich ein Gegenstand in seinem Umfeld bei einer Bewegung verhält.

In dynamischen Hydraulikanwendungen bestimmt die Güte einer Gegenlauffläche maßgeblich den Zustand von Schmierung und Verschleiß im Kontakt. Dies ist ein wichtiger Aspekt der Tribologie des gesamten Hydrauliksystems.



Allgemeine Empfehlungen zur Oberflächengüte

Die Empfehlungen der Dichtungshersteller zur Rauheit basieren auf zweidimensionalen Messwerten.

Der am häufigsten verwendete Rauheitskennwert ist Ra. In ASME B46.1 wird Ra als arithmetisches Mittel aller Absolutwerte der Profilhöhenabweichungen von der Mittellinie beschrieben, die über eine bestimmte Auswertungslänge erfasst werden – der Mittelwert von Spitzen und Tiefen einer Oberfläche.

Zusätzlich zu Ra werden weitere zweidimensionale Messwerte verwendet, beispielsweise Rz und Rz1max. Rz wird berechnet, indem der vertikale Abstand von der größten Spitze zur größten Tiefe auf fünf Segmenten der Messstrecke erfasst und der Mittelwert dieser vertikalen Abstände gebildet wird. Rz1max ist der größte der fünf Rzi-Werte der fünf Segmente der Messstrecke der gesamten gemessenen Länge. Siehe Abb. 1.

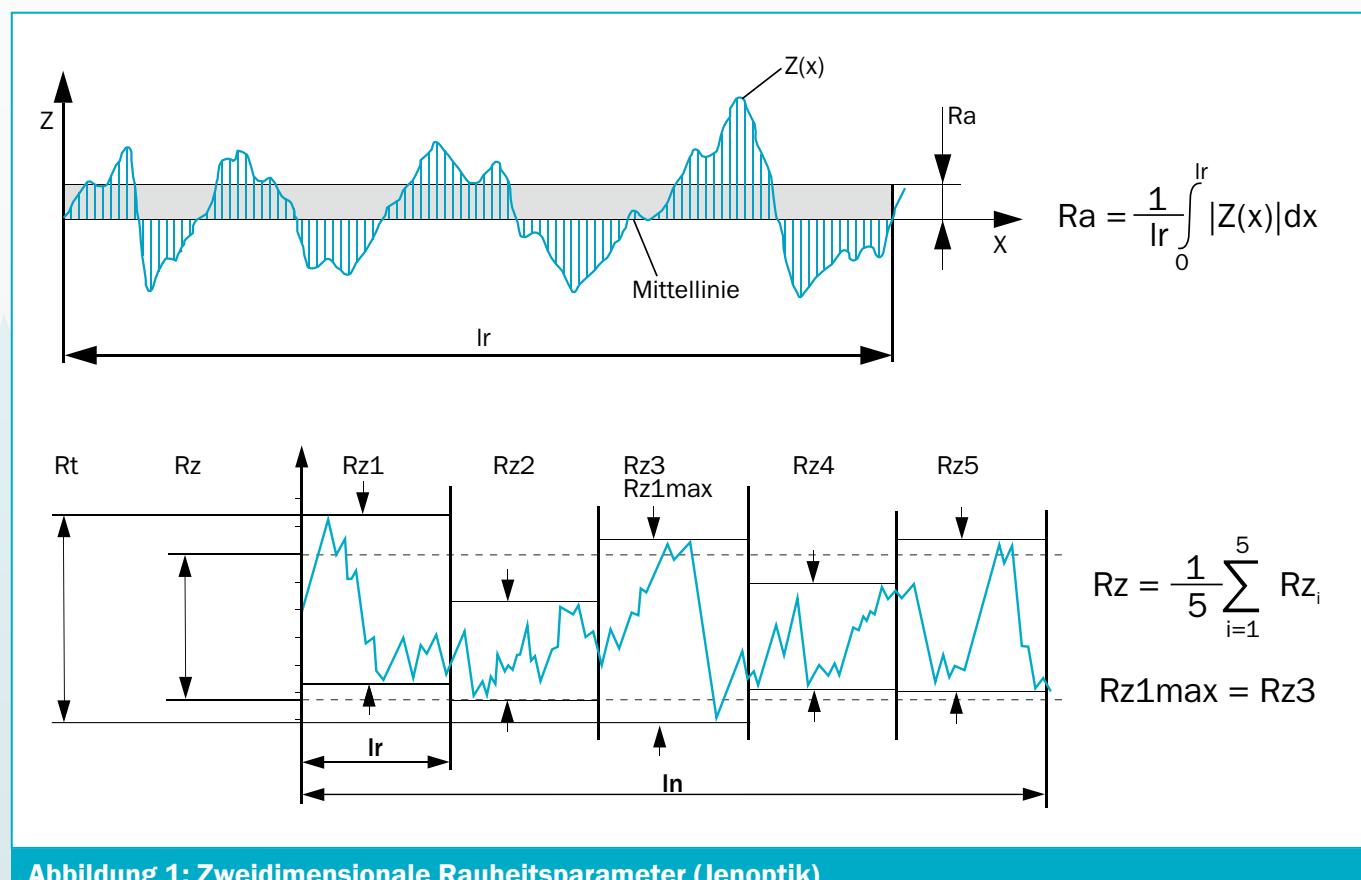


Abbildung 1: Zweidimensionale Rauheitsparameter (Jenoptik)

Jenoptik: Rauheitsmesssysteme von Jenoptik Oberflächenkenngrößen in der Praxis, In: Leaflet 06/2013, 10037108.



Einschränkungen bei Chrom-Beschichtungen

Chrom ist die am häufigsten für hydraulische Kolbenstangen verwendete Beschichtung. Dieses Beschichtungsmaterial basiert oft auf Chrom VI (CR6). Mit der REACH-Richtlinie (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals) soll ein umfassender Schutz der Menschen und der Umwelt vor potenziell schädlichen Chemikalien erreicht werden. 2017 wurde die Verwendung von Beschichtungen oder Überzügen eingeschränkt, in denen Chrom VI (CR6) zum Einsatz kommt.

Chrom VI ist die giftigste Form des Chroms. Es gilt als krebserregend und der bei Chrom-VI-Bädern im Rahmen der Galvanisierung entstehende giftige Abfall gilt als Sondermüll. Der Stoff wurde in die Liste sehr gefährlicher Substanzen aufgenommen, deren Verwendung eingeschränkt wurde und nur unter strengen Auflagen erfolgen darf.

Alternative Beschichtungen

Aufgrund der geforderten Eliminierung von Chrom VI (CR6) aus Hydrauliksystemen kommen inzwischen alternative Prozesse bei der Beschichtung von Kolbenstangen zur Anwendung. Arten der Beschichtungen sind zum Beispiel:

High-Velocity Oxygen-Fuel (HVOF)

Beim Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) handelt es sich um ein thermisches Spritzverfahren, in dem die Verbrennung von Gasen wie Wasserstoff oder eines flüssigen Brennstoffs wie Kerosin genutzt wird.

Die in der Regel aus Wolframkarbid und Chromkarbid bestehende HVOF-Beschichtung zeichnet sich durch eine vergleichsweise dichte Schichtstruktur mit einer Schichtstärke zwischen 0,1 und 0,3 mm (je nach Beschichtungsmaterial) aus.

Laser-Auftragschweißen oder Laser Cladding

Mit dieser Beschichtungstechnologie wird eine Schichtstärke zwischen 0,2 und 4 mm oder mehr erreicht. Bei den verwendeten Beschichtungsmaterialien handelt es sich um Legierungen auf Nickelbasis oder Kobalt, metallische Spritzschichten und /oder Karbide. In Abhängigkeit von den verwendeten Legierungen können diese Schichten deutlich weicher ausfallen als HVOF- und Chrom-Schichten.



Tribologie: Der Schlüssel für eine optimale Dichtwirkung

Oberflächenempfehlungen auf der Grundlage von Chrom genügen nicht zur Beschreibung alternativer Beschichtungen.

Die von Dichtungslieferanten bereitgestellten Empfehlungen für Oberflächenrauheiten basieren häufig noch auf den Oberflächeneigenschaften, die zur Beschreibung herkömmlicher Chrombeschichtungen verwendet wurden.

Alternative Beschichtungen weisen eine grundlegend andere Topografie auf, wie in Abbildung 2 beispielhaft zu sehen ist. Unter Umständen können aber die auf Chrom basierenden Empfehlungen einer Oberflächenrauheit selbst bei alternativen Beschichtungen erfolgreich angewendet werden.

Der Unterschied in der Oberflächentopografie bei alternativen Beschichtungsmethoden führt im Vergleich zu Chrom jedoch zu signifikanten Veränderungen in der Schmierfilmbildung.

Wenn die für Chrom erarbeiteten Oberflächenempfehlungen für alternative Beschichtungen verwendet werden, gelangen Hydrauliksysteme gegebenenfalls schneller an ihre Leistungsgrenzen.

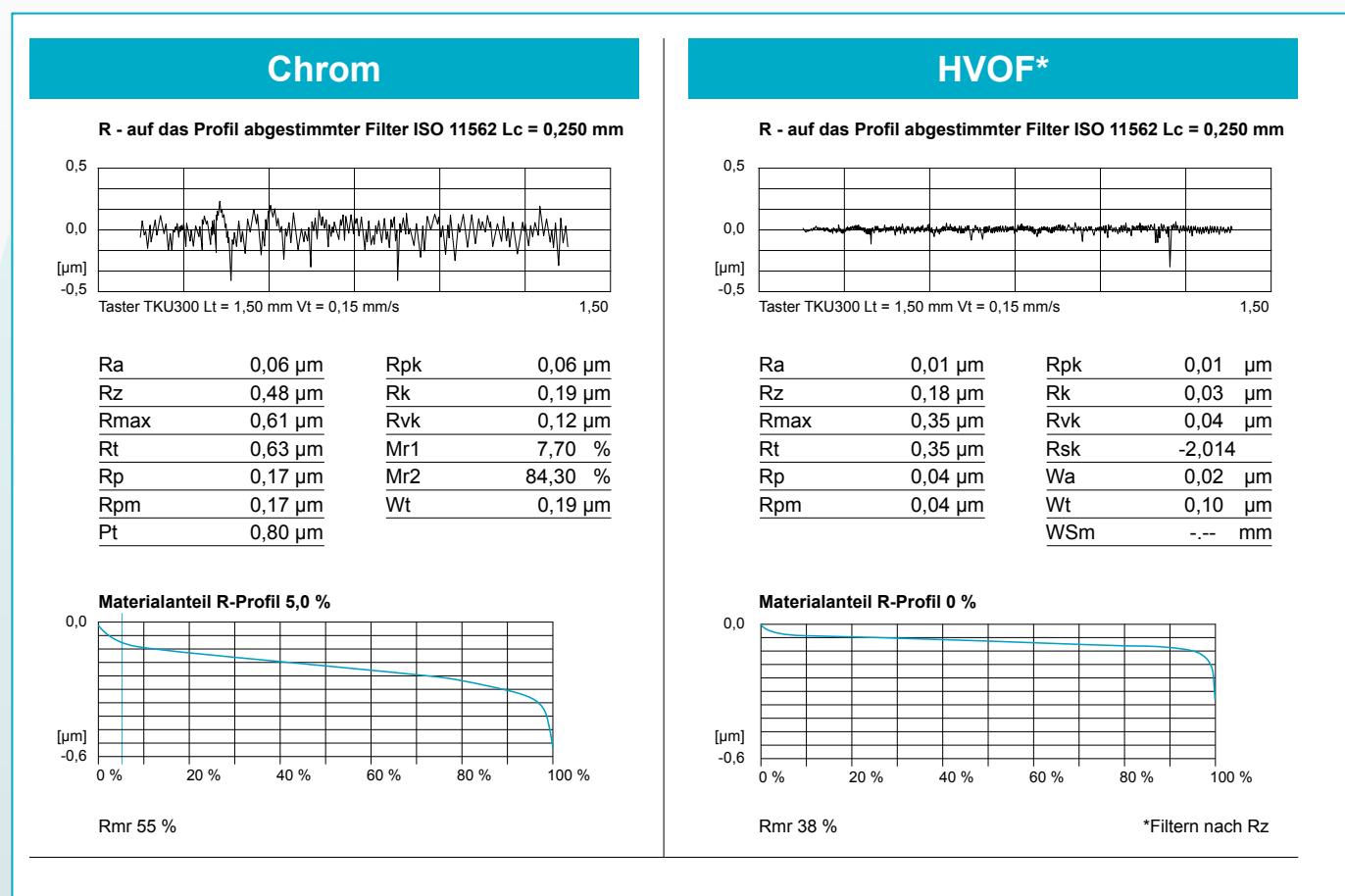


Abbildung 2: Vergleich einer Chrom-Schicht (Cref 5 %) und einer HVOF-Schicht (Cref 0 %)



Tribologie

Dichtungsfunktionalität und Lebensdauer des Systems haben in Hydraulikanwendungen immer höchste Priorität. Um diese Parameter in Hydrauliksystemen zu optimieren, muss die Tribologie berücksichtigt werden.

Bei der Tribologie handelt es sich um die wissenschaftliche und technische Betrachtung zusammenwirkender Flächen bei relativen Bewegungen, wobei die Grundsätze von Reibung, Schmierung und Verschleiß untersucht und angewendet werden. Die Funktionalität tribologischer Systeme beruht bekannterweise auf der ordnungsgemäßen Abstimmung der tribologischen Partner. Bei hydraulischen Dichtungssystemen sind dies die Dichtung, die Hydraulikflüssigkeit und die Gegenlauffläche. Bei optimaler Abstimmung können Reibung und Verschleiß minimiert und somit die Leistung und Lebensdauer der Hydraulik maximiert werden.

Kennwerte für eine optimale Tribologie

Wenn die Tribologie in Hydraulikzylindern optimiert werden soll, sind die von Dichtungsherstellern als Empfehlungen herausgegebenen Rauheitskennwerte nicht ausreichend – insbesondere weil sie zumeist immer noch auf Chrom basieren. Da mit verschiedenen Beschichtungstechnologien und Grundmaterialien unterschiedliche Oberflächentopografien entstehen, kann „eine allgemeingültige Definition“ der Rauheitskennwerte nicht die Anforderungen erfüllen, die bei der Optimierung der Tribologie eines Hydrauliksystems erforderlich sind.

Für eine Optimierung von Hydrauliksystemen für neueste Beschichtungstechnologien muss die Untersuchung und Bewertung der Eignung einer Oberfläche auf Grundlage weiterer Parameter erfolgen, die sich aus der Materialanteilkurve (R_{mr}), der reduzierten Spitzenhöhe (R_{pk}) und der reduzierten Riefentiefe (R_{vk}) ergeben.

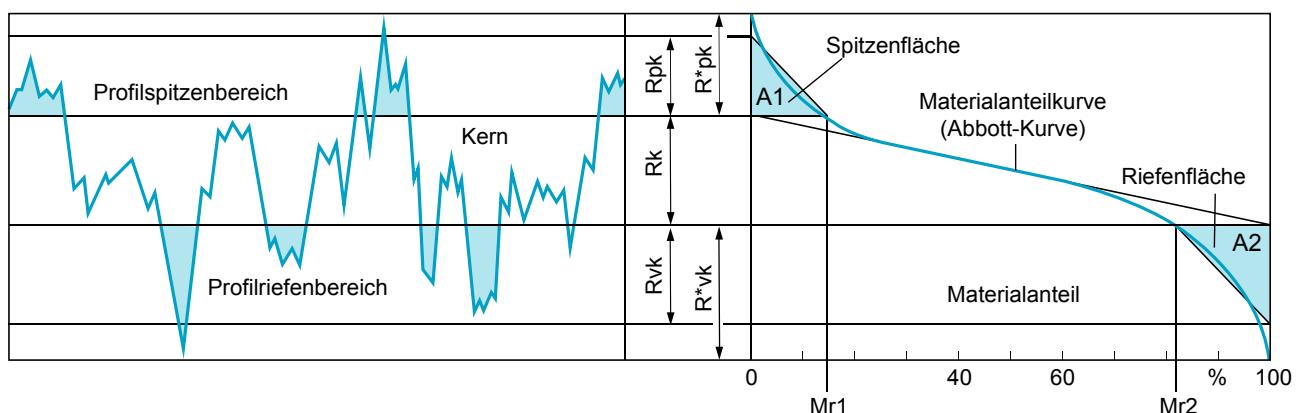


Abbildung 3: Definition der Rk-Werte (Jenoptik)

Jenoptik: Rauheitsmesssysteme von Jenoptik Oberflächenkenngrößen in der Praxis, In: Leaflet 06/2013, 10037108.

Die Materialanteilkurve wird aus dem gefilterten Rauheitsprofil erstellt. Die relevanten Kennwerte ergeben sich aus der Unterteilung der Materialanteilkurve in drei Bereiche:

- R_{vk} – reduzierte Riefentiefe
- R_{pk} – reduzierte Spitzenhöhe
- R_k – Kernautiefe



Betrachtung von Kriterien über die Oberflächenkennwerte hinaus

Mit der Messung der Oberflächenbeschichtung auf Grundlage der Parameter Rvk und Rpk können Gegenlaufflächen deutlich besser beschrieben werden. Um eine optimierte Tribologie zu erreichen, müssen die verschiedenen Beschichtungen und Methoden zur Herstellung der Gegenlauffläche berücksichtigt werden.

Dies kann durch Messen mit verschiedenen Schnitttiefen bei einer Referenzschnitthöhe Cref von 0 %, 2 % und 5 % erreicht werden. Hierbei werden das Einlaufverhalten von Dichtung und Gegenlauffläche berücksichtigt.

Beim Vergleich einer HVOF- und einer traditionellen Chrom-Beschichtung ergibt sich bei der sehr harten und bei 0 % gemessenen HVOF-Schicht über die Zeit nahezu keine Änderung der Rauheitskennwerte. Bei Chrom-Schichten kann dagegen eine relativ schnelle Glättung der Spitzen (Rpk) beobachtet werden, weshalb hier Messungen mit einer Referenzschnitthöhe Cref von 5 % zu empfehlen sind.

Eine ganzheitliche Betrachtung

In Abbildung 4 wird dieser erweiterte Ansatz zur Beschreibung von Gegenlaufflächen in Bezug auf Beschichtung, Herstellungsprozess und Unterscheidung von Kolbenstange und Kolbenrohr dargestellt.

Die heute üblichen Rauheitskennwerte Ra, Rz und Rmr werden um Rpk und Rvk erweitert. Ober- und Untergrenzen dienen zudem der korrekten Beschreibung der Topografie der verschiedenen Oberflächen, um eine optimale Schmierfilmbildung zu erreichen. Je nach Beschichtungstyp wird der Rmr-Wert bei verschiedenen prozentualen Referenzschnitthöhen ermittelt.



		Ra		Rz		Rpk		Rvk		Rmr*	
		Min.	Max.								
Kolbenstangen, hart verchromt	Mineralöl/HFC PTFE-Werkstoff	0,05	0,3	0,6	2,0	0,05	0,30	0,05	0,8	50 %	70 %
	Mineralöl/HFC Polyurethan (TPU)	0,05	0,4	0,6	2,0	0,05	0,40	0,05	0,8	50 %	70 %
Stangen, geschweißt und aufgespritzte Schichten <45 HRC		0,05	0,3	0,6	2,0	0,05	0,30	0,10	0,8	70 %	90 %
Stangen, HVOF, Keramik geschweißt und aufgespritzte Schichten ≥45 HRC		0,05	0,2	0,3	1,5	0,03	0,15	0,05	0,3	70 %	90 %
Bohrungen, Zylinder gehont/geschliffen	Mineralöl/HFC PTFE-Werkstoff	0,05	0,4	0,6	2,5	0,05	0,40	0,10	1,4	50 %	70 %
Bohrungen, Zylinder rolliert	Polyurethan (TPU)	0,05	0,4	0,3	2,0	0,03	0,30	0,10	1,4	60 %	90 %
Bohrungen, Speicher gehont/geschliffen		0,05	0,3	0,6	2,0	0,05	0,30	0,10	1,0	50 %	70 %
Bohrungen, Speicher rolliert		0,05	0,3	0,6	2,0	0,05	0,20	0,10	1,0	60 %	90 %

*Rmr ermittelt in einer Schnitttiefe $C = 0,25 \times Rz$, in Bezug auf die Referenzlinie Cref = 5 % für weiche Schichten und Chrom; Cref = 2 % für nitrierte und gehärtete Oberflächen; Cref = 0 % bei Keramikbeschichtung

Abbildung 4: Erweiterter Ansatz für die Beschreibung einer Gegenlauffläche

Auf Testdaten basierende Beschreibung der Topografie

Die Grundlage für diese erweiterte Spezifikation bilden umfangreiche dynamische Tests an verschiedenen Dichtungen unter unterschiedlichen Belastungen, bei denen die Oberflächenkennwerte berücksichtigt wurden. Untersuchungen wurden an Stangen- und Kolbendichtsystemen mit unterschiedlichsten Gegenlaufflächen durchgeführt.

Die Grundlage für die in Abbildung 4 dargestellten Kennwerte sind das Leckage- und Verschleißverhalten von PTFE- und PUR-Dichtungen sowie Dichtungen aus ultrahochmolekularem Polyethylen (UHMWPE) und das Verschleißverhalten der Gegenlauffläche.

Schmierfilm-optimiertes Hydraulikdichtsystem

Nachfolgend wird ein praktisches Beispiel für die Optimierung einer Hydraulikabdichtung dargestellt, wobei der erweiterte Ansatz für die Beschreibung der Oberflächenbeschichtung verwendet wird. Die Kolbenstange im Hydrauliksystem wurde per Laser-Auftragschweißen beschichtet. Diese Technologie wird auch als Laser Cladding bezeichnet.

Abbildung 5 zeigt den Prüfstand und die Prüfparameter für Langzeituntersuchungen.

Bei Messungen der Oberfläche dieser Kolbenstangen ergibt sich ein vergleichsweise offenes Profil mit Rpk-Werten zwischen 0,17 und 0,26 µm und Rvk-Werten zwischen 0,35 und 0,71 µm.



Hublänge	300 mm
Druck	0/30 MPa
Geschwindigkeit	0,7 m/s
Temperatur	50 °C
Zyklen	1.000.000 DH
Durchmesser	50 mm
Stange	Laser Cladding
Medium	Shell Tellus 46 / HLP

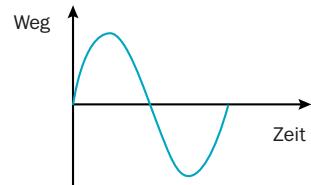
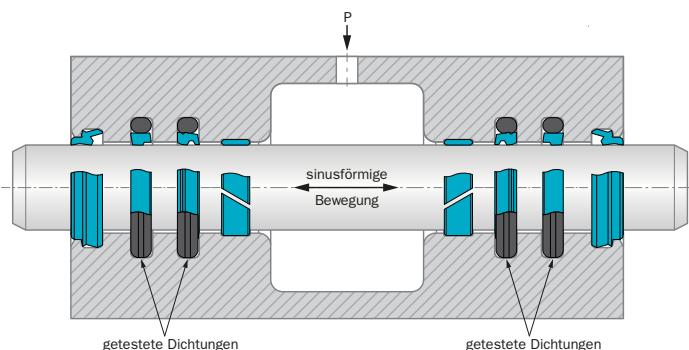
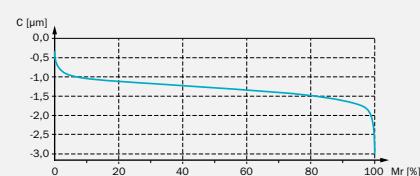
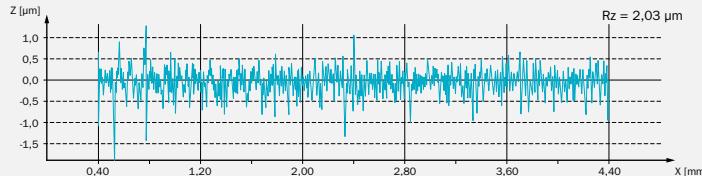
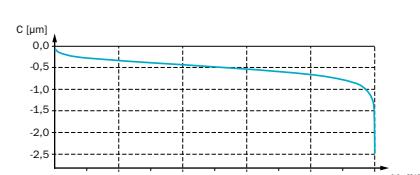


Abbildung 5: Prüfstand und Prüfparameter für Langzeitversuche

Neu



Sekundärdichtung
nach Versuch



Primärdichtung
nach Versuch

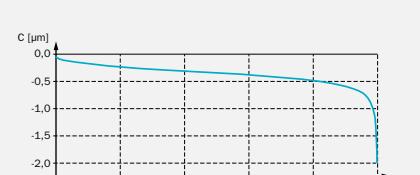


Abbildung 6: Oberflächenmessungen Laser Cladding Kolbenstange mit Referenzschnitthöhe Cref 5 %

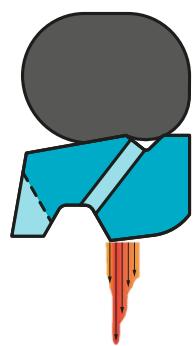
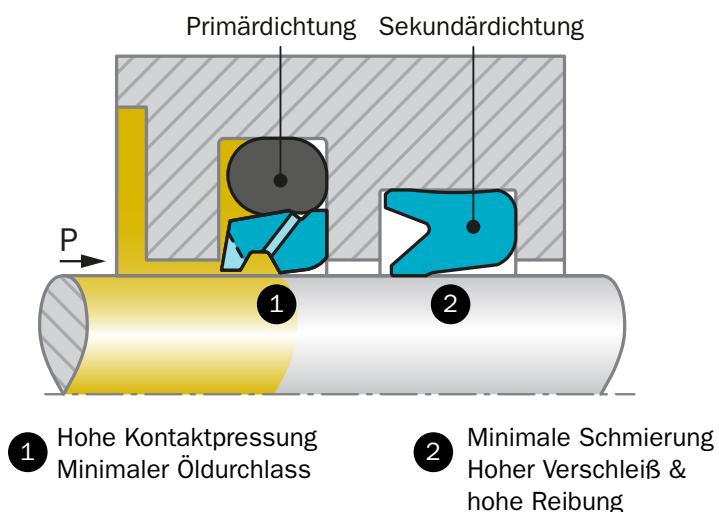


Die Rz-Werte liegen im oberen Bereich der Empfehlung zwischen 1,8 und 2 μm . Der Materialanteil liegt zwischen 71 % und 83 %. Eine dieser Oberflächenmessungen wird bei-

spielhaft in Abbildung 6 gezeigt. Die enthaltenen Messungen wurden vor und nach dem Experiment erfasst, in dem ein Schmierfilm-optimiertes Dichtsystem verwendet wurde.

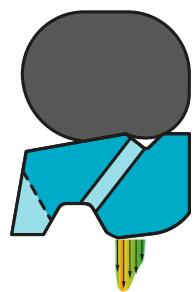
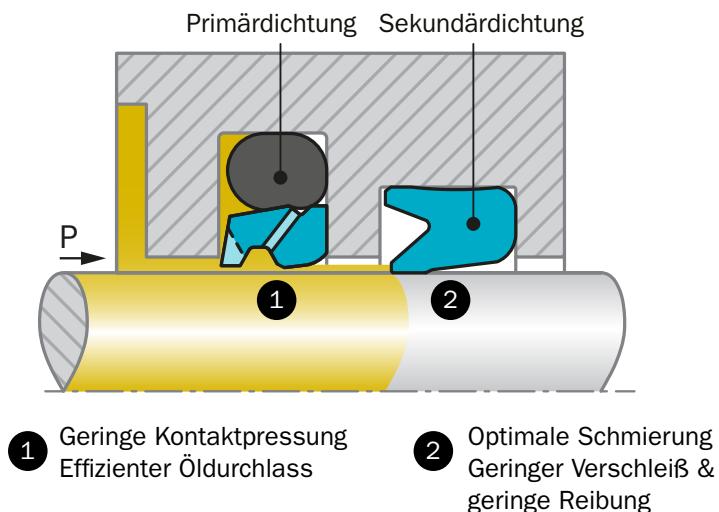
LUBRICATION MANAGEMENT

Standard-Dichtsystem



Dichtung mit herkömmlicher Geometrie weist einen hohen Anpressdruck an den Dichtkanten auf

Lubrication Management Dichtsystem



Dichtung mit innovativer Dichtkanten-Geometrie weist eine gleichmäßige Kontaktpressungsverteilung auf

Abbildung 7: Wirkungsweise des Schmierfilm-optimierten Dichtsystems



Im für das Schmiermedium optimierten Dichtsystem wurde bei der Primärdichtung im Verlauf des Tests eine Reduzierung der Rz-Werte um ca. 25 % festgestellt. Diese Werte wurden aus drei Messungen am Umfang gemittelt. Diese Reduzierung des Rz-Werts kann auf die geringe Härte dieser Schicht zurückgeführt werden und stellt für diese Beschichtung eine relativ geringe Änderung dar. Dies spiegelt sich auch in geänderten Rpk-Werten wider, die um 50 bis 63 % zurückgegangen sind.

Zum Vergleich: Die Primärdichtung in herkömmlichen Dichtsystemen ohne Schmierfilm-Optimierung wurde in Bezug auf den Rz um 50 bis 60 % geglättet. Dieser Glättungseffekt wird bei Betrachtung des Rpk noch deutlicher: Hier wurden ohne Schmierfilm-Optimierung bei den Spalten Änderungen zwischen 67 und 84 % verzeichnet.

Die Glättung der Oberfläche in einem herkömmlichen Dichtsystem spiegelt sich auch in den Verschleißwerten an den Dichtelementen wider, die durch Vorspannungsverlust bestimmt werden und auch in der Reibung sichtbar werden.

Diese Ergebnisse können extrapoliert werden und lassen schließen, dass in einem Hydrauliksystem mit Lubrication Management (Abb. 7) eine deutlich längere Lebensdauer des Dichtsystems und damit auch des gesamten Hydrauliksystems erreicht werden kann. Lubrication Management kann in Kombination mit dem erweiterten Ansatz für die Beschreibung der Oberflächenkennwerte eine effektive Einstellung der Tribologie des Hydrauliksystems ermöglichen und die Robustheit des Gesamtsystems erhöhen.

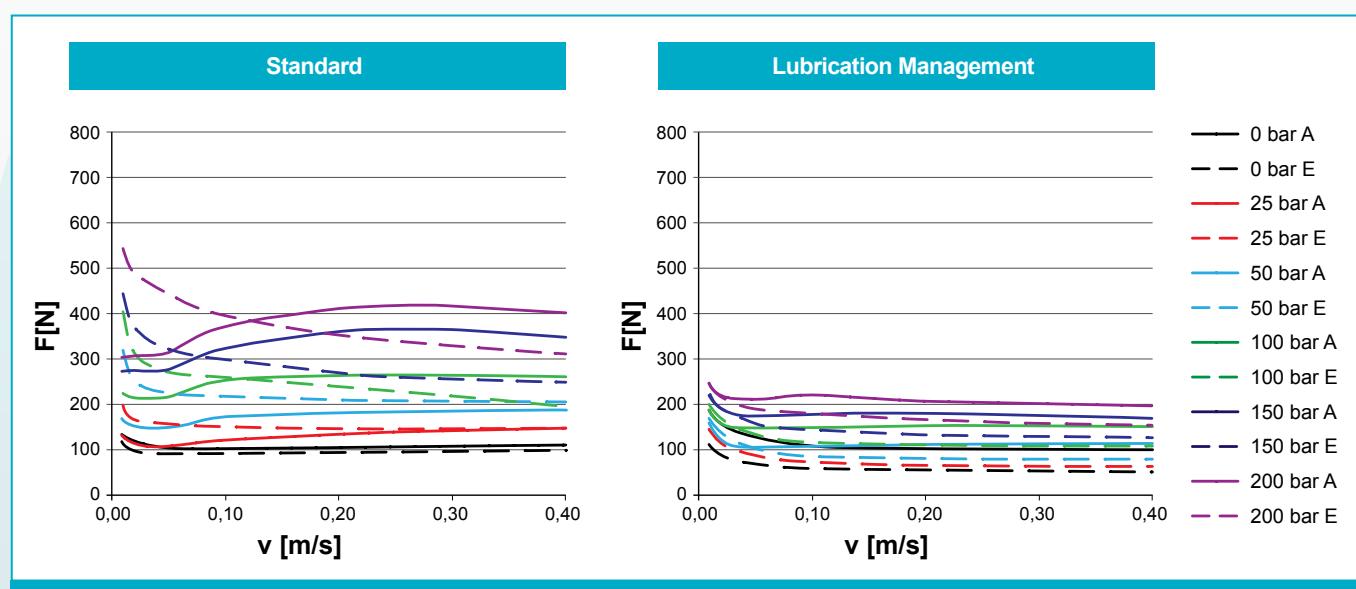


Abbildung 8: Vergleich eines Dichtsystems mit Lubrication Management mit einem herkömmlichen Dichtsystem

Die Reibung wird in Abbildung 8 in direktem Vergleich dargestellt. Als Primärdichtung wird eine O-Ring vorgespannte PTFE-Stufendichtung verwendet, als Sekundärdichtung ein Polyurethan-Dichtelement (PUR) sowie auch ein UHMWPE-Abstreifer (Ultra-High Molecular Weight Polyethylene).

Abbildung 9 zeigt den sehr geringen Verschleiß der Dichtungen im Schmierfilm-optimierten Dichtsystem.



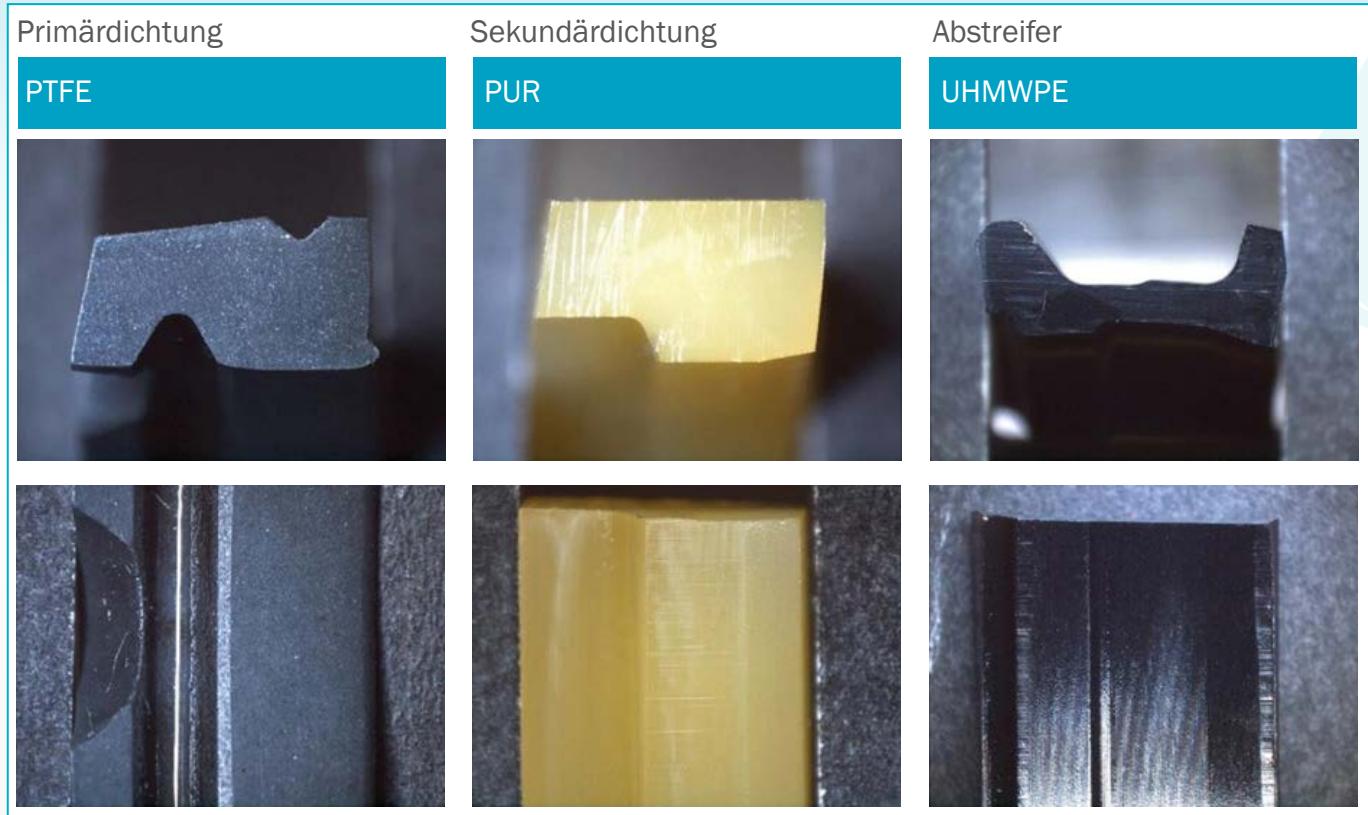


Abbildung 9: Lubrication Management Dichtsystem nach dem Versuch

Die Verschleißwerte des Dichtsystems mit Lubrication Management, die durch die Änderung der Profilhöhe bewertet werden (W – Maßverlust, ermittelt durch die Messung vor und nach der Prüfung), liegen für die Primärdichtung bei ca. 1 bis 2 %.

Das Ergebnis fällt somit deutlich geringer aus als bei Messungen mit dem herkömmlichen Dichtsystem. Dort liegt der Verlust zwischen ca. 7 und 8 %.

Nicht nur die Verschleißwerte der Primärdichtung, sondern auch die der Sekundärdichtung zeigen die Vorteile. Der Verschleiß wird hier von 5 bis 6 % auf weniger als 1 % reduziert.



Zusammenfassung und Fazit

In diesem Whitepaper wurde ein erweiterter Ansatz für die Beschreibung von Gegenlaufflächen für dynamische Dichtungen gezeigt, bei dem der Trend hin zu alternativen Beschichtungsverfahren berücksichtigt wird, die aufgrund der notwendigen Eliminierung von Chrom erforderlich werden.

Mittels Laser Cladding beschichtete Kolbenstangen wurden in Experimenten verwendet, um zu zeigen, dass herkömmliche Oberflächenempfehlungen für verchromte Gegenlaufflächen keine adäquate Beschreibung dieser Beschichtungen und keine Optimierung der Tribologie eines Hydrauliksystems ermöglichen. Durch den erweiterten Ansatz kann anhand von Messungen und Analysen gezeigt werden, dass der Verschleiß von Kolbenstange und Dichtungen im Hydrauliksystem reduziert wird.

Weiterhin wurde in Untersuchungen von Dichtsystemen mit Lubrication Management bewiesen, dass derzeitige Leistungsgrenzen von Dichtsystemen deutlich erweitert werden können und eine höhere Robustheit erreicht werden kann – auch im Hinblick auf tribologisch kritisch zu bewertende Gegenlaufflächen.





Holger Jordan

Director Global Technical Management
Trelleborg Sealing Solutions Germany
E-Mail: holger.jordan@trelleborg.com

Holger Jordan ist seit 1990 für Trelleborg Sealing Solutions tätig. Als Director Global Technical Management ist er für das Produktportfolio-Management und für die Bedarfsanalyse für neue Produkte in Industrieanwendungen verantwortlich. Dabei koordiniert er in Entwicklungspartnerschaften eine enge Zusammenarbeit zwischen unseren Kunden und den Kompetenzzentren und Produktionsstandorten von Trelleborg Sealing Solutions.



Dr. Mandy Wilke

Senior Manager Global Technical Management
Trelleborg Sealing Solutions Germany
E-Mail: mandy.wilke@trelleborg.com

Dr. Mandy Wilke ist seit 2012 für Trelleborg Sealing Solutions tätig. Nach ihrem Maschinenbaustudium konnte sie umfangreiche Erfahrungen insbesondere im Bereich Elastomer-Rotationsdichtungen sammeln. Heute ist sie als Senior Manager Global Technical Management für den technischen Support der Vertriebsgesellschaften von Trelleborg Sealing Solutions weltweit zuständig und koordiniert Entwicklungspartnerschaften in enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden. Zusätzlich leitet sie das Global Surface Competence Team.



Trelleborg ist weltweit führend in der Entwicklung von Polymerlösungen, die kritische Anwendungen dichten, dämpfen und schützen – in allen anspruchsvollen Umgebungen. Unsere innovativen Lösungen tragen zu einem beschleunigten und nachhaltigen Wachstum unserer Kunden bei.

Trelleborg Sealing Solutions ist einer der führenden Entwickler, Hersteller und Lieferanten von polymerbasierten Präzisionsdichtungen, Lagern und kundenspezifischen Formteilen. Mit innovativen Lösungen erfüllen wir die anspruchsvollsten Anforderungen in der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie und der allgemeinen Industrie.

WWW.TSS.TRELLEBORG.COM



facebook.com/TrelleborgSealingSolutions

twitter.com/TrelleborgSeals

youtube.com/TrelleborgSeals

linkedin.com/company/trelleborg-sealing-solutions