

Berger/Kiefer (Hrsg.)

DICHTUNGS TECHNIK

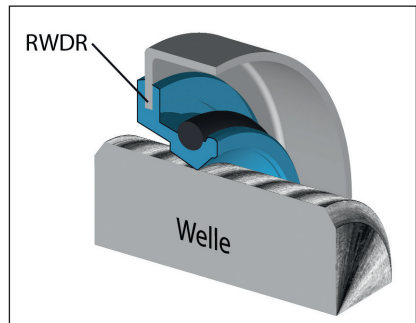
JAHRBUCH 2016

ISGATEC® 

Ra, Rz und Rmax von Dichtungsgegenläufigen – der Weisheit letzter Schluss?

Die Dichtungsgegenläufigen der abzudichtenden Welle ist im System Radial-Wellendichtung neben dem Dichtelement und dem abzudichtenden Fluid eine zentrale Komponente $\gg 1$. Die Oberflächengestalt ist maßgeblicher Parameter für die zuverlässige Funktion des gesamten Dichtsystems. Dieser Zusammenhang ist nicht neu und bereits seit den 60er Jahren bekannt. Die Begriffe Kosteneffizienz, Takt-, Betriebs- und Rüstzeit, aber auch die Verlagerung der Produktion in Niedriglohnländer stehen heutzutage jedoch auf der Tagesordnung eines jeden Produktionsingenieurs, wenn es darum geht Optimierungspotenzial in der (Serien-)Fertigung aufzuzeigen und nutzen zu müssen.

Je höher der Kostendruck, desto schwerer fällt es, die in langen Jahren der Forschung und Entwicklung mühsam erarbeiteten Empfehlungen für die Herstellung von Dichtungsgegenläufigen einzuhalten. Als Standardverfahren für die Herstellung dieser Oberflächen nennen Dichtungshersteller und gängige Industrienormen das Einstichschleifen mit rotierender Schleifscheibe bei vollständigem Ausfeuern (i.d.R bis zu 30 s). Dies einzuhalten stellt einen immensen Kostenfaktor dar. Es ist daher nachvollziehbar, dass solch hohe Taktzeiten unter den heute in der Industrie vorherrschenden Bedingungen nicht immer eingehalten werden können. Alternative Herstellungsverfahren oder Einstichschleifen ohne Ausfeuern sind im industriellen Alltag keine Seltenheit mehr. Aufgrund dieser Entwicklung ist es nicht weiter verwunderlich, dass in der Praxis wieder zunehmend Probleme bei der Abdichtung von rotie-



$\gg 1$: Dichtsystem Radial-Wellendichtung

renden Wellendurchführungen aufkommen. Zumal auch die ökologischen Anforderungen an Dichtsysteme steigen. Die im Laufe der Jahre empirisch festgelegten und anschließend in die internationale Normung aufgenommenen Oberflächenspezifikationen auf Basis der etablierten zweidimensionalen Rauheitskenngrößen Ra, Rz und Rmax sind nicht immer ausreichend, um eine zuverlässige Funktion eines Radial-Wellendichtsystems zu gewährleisten.

Ein Begriff, der in diesem Zusammenhang häufig fällt, ist der „Wellen-Drall“. Aus dichtungstechnischer Sicht sind dies allgemein formuliert, förderaktive Oberflächenstrukturen auf der Dichtungsgegenauflfläche. Früher oder später einsetzende Leckage und damit verbunden der Ausfall von Systemen und Anlagen sind das Resultat. So muss zur Analyse der verschiedenen Drallausprägungen (Makro- und Mikrodrall) [1, 2, 3] meist in neue und teure Hard- und Software investiert werden.

Doch nicht immer ist der Wellen-Drall, das vordergründige Problem bei Ausfällen von Dichtsystemen. Ungünstige Fertigungsparameter führen häufig zu ungleichmäßigen, welligen und nicht formhaltigen Dichtungsgegenauflflächen. Ein herkömmliches taktiles Rauheitsmessgerät ist in vielen Unternehmen bereits verfügbar. Diese Geräte bieten neben den gebräuchlichsten Rauheitskenngrößen auch einige weniger bekannte Optionen, welche Potenzial für die erweiterte Bewertung von Dichtungsgegenauflflächen bieten. Nachfolgend wird daher diskutiert, welche Methoden und Vorgehensweisen auf Basis zweidimensionaler, meist taktiler Rauheitsmesstechnik, für die Beurteilung von Dichtungsgegenauflflächen genutzt werden können und sollten und wo deren Grenzen liegen.

Historie – Ra, Rz und Rmax zur Beurteilung von Dichtungsgegenauflflächen

Jedem Konstrukteur, der sich mit Radial-Wellendichtsystemen auseinandersetzt, werden früher oder später die Rauheitskenngrößen Ra, Rz und Rmax begegnen. Diese werden in beinahe allen gängigen nationalen und internationalen Normen [4, 5, 6, 7] für RWDR als Spezifikation für die Dichtungsgegenauflfläche vorgegeben. Mehr über die Kenngrößen, deren Entwicklung, Anwendung und Besonderheiten kann aus dem Fachartikel „Oberflächenrauheit“ von Heldt [8] entnommen werden.

Wirft man einen Blick in die Standards, zusammengefasst in >>2, findet man zwar nicht völlig identische Angaben für die anzustrebende Oberflächenrauheit, aber in Summe wird doch klar, dass ein genau vorgegebener Bereich – sofern

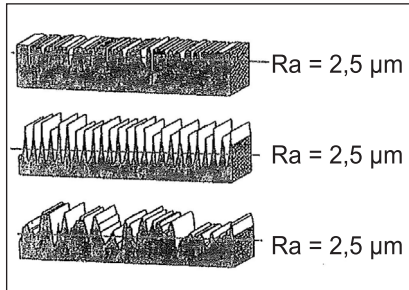
Norm	Ra	Rz	Rmax	Rpm	Weitere Angaben
RMA-OS-1-1	0,20 - 0,43 µm	1,65 - 2,90 µm		0,50 - 1,25 µm	drallfrei
DIN 3760	0,20 - 0,80 µm	1,00 - 5,00 µm	6,30 µm		drallfrei
DIN 3761	0,20 - 0,80 µm	1,00 - 4,00 µm	6,30 µm		drallfrei
ISO 6194	0,20 - 0,50 µm	1,20 - 3,00 µm	-		drallfrei

>>2: Rauheitsspezifikationen nach verschiedenen nationalen und internationalen Normen

drallfrei – zu geeigneten Dichtungsgegenläufigen führt. In der RMA- und ISO-Norm ist der Bereich stärker eingeschränkt als in der DIN. Eine geeignete Dichtungsgegenläufige muss nach den einschlägigen deutschen Normen und deutschen Herstellerempfehlungen einen Kennwert für die Kenngröße Ra von 0,2 bis 0,8 µm, einen Kennwert für Rz von 1,0 bis 4,0 µm und einen Kennwert für Rmax < 6,3 µm aufweisen. Eine detaillierte Begründung wieso sich gerade diese Angaben günstig auf ein Radial-Wellendichtsystem auswirken und woher die Angaben stammen liefert jedoch kaum eine Norm.

Die DIN 3761 weist als einzige deutschsprachige Norm oberflächlich darauf hin, dass zum Aufbau der Schmierung die unteren Kennwerte für die Kenngrößen Ra und Rz nicht unterschritten und für die Lebensdauer die oberen Kennwerte nicht überschritten werden sollten. Bei sehr gut gefertigten Oberflächen korreliert die Kenngröße Ra nahezu mit Rz. Bei der Kenngröße Rz wird eine ungleichmäßig gefertigte Oberfläche allerdings besser beschrieben, wodurch sich diese Kenngröße auch besser zur Beschreibung eignet als Ra. Aus langjähriger Erfahrung empfehlen sich Rauheiten im oberen Bereich – also Rz = 2,5 bis 4,0 µm.

Weiter kann ein zu hoher Kennwert Rmax zu Undichtheit führen. Eine Literaturstelle zu weiterführenden Veröffentlichungen ist nicht vorhanden. Ähnliches gilt auch für die internationale Norm ISO 6194. Möchte man hier genauere Informationen lohnt ein Blick in das technische Datenblatt OS-1-1 der „Rubber Manufacturers Association“, kurz RMA. Die RMA war ursprünglich ein Zusammenschluss verschiedener gummi-verarbeitender Betriebe mit dem Ziel einer Interessenvertretung dieser Firmen. Heutzutage sind in ihr zwar fast nur noch Reifenhersteller vertreten, der Inhalt des technischen Datenblattes zeigt aber deutlich, dass in den frühen Jahren auch das Thema Radial-Wellendichtungen verfolgt wurde. Streng genommen ist die RMA OS-1-1 keine Norm für Radial-Wellendichtungen. Dies zeigt bereits der Arbeitstitel: „Shaft Finish Requirements for Radial Lip Seals“. Es geht vielmehr speziell um die Anforderungen, welche an die Dichtungsgegenläufige zu stellen sind. Diese werden ausführlich beschrieben und mit Quellenangaben belegt.



>>3: Drei unterschiedliche Oberflächen mit gleichem Kennwert der Kenngröße Ra [7]

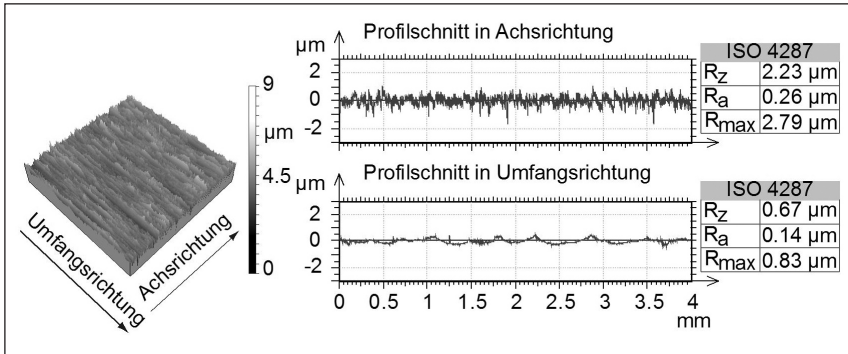
Neben dem Thema Unrundheit und Wellen-Drall gilt ein umfangreicher Abschnitt der Oberflächenrauheit der Dichtungsgegenlauffläche. Es wird ein experimentelles Untersuchungsprogramm zusammengefasst mit dem letztendlich drei Oberflächenkenngrößen identifiziert wurden, welche zur aussagekräftigen Beschreibung einer Dichtungsgegenlauffläche benötigt werden. Ausgangspunkt der Untersuchung war die Tatsache, dass die zu-

vor gebräuchlichste Rauheitskenngröße Ra, basierend auf Untersuchungen von GM im Jahre 1963 [9], alleine nicht ausreichend ist, um Oberflächen zu charakterisieren >>3.

In Summe wurden daher 36 Versuchswellen, die mit fünf verschiedenen damals gebräuchlichen Oberflächenbearbeitungsverfahren hergestellt wurden, experimentell untersucht. In die Bewertung flossen anschließend die Radialkräfte, die Größe des Innendurchmessers und der Dichtlippenverschleiß ein. Trat Leckage auf, wurden die Fertigungsparameter als ungeeignet betrachtet.

Aus Korrelationsbetrachtungen folgte, dass neben der Kenngröße Ra einer Oberfläche die Kenngrößen Rz und Rpm zur Beurteilung herangezogen werden sollten. Die Kenngröße Rz wird als guter Indikator für das gleichzeitige Vorhandensein ausgeprägter Rauheitsspitzen aber vor allem von Schmieraschen beschrieben. Kennwerte unterhalb des vorgegebenen Bereiches führen demnach zu schlechten tribologischen Eigenschaften und hoher Reibung im Dichtkontakt. Die heutzutage wenig gebräuchliche Kenngröße Rpm, die das Mittel aus den, jeweils in einer Einzelmessstrecke höchsten Profilsitzen darstellt, gibt Aufschluss über ausgeprägte Rauheitsspitzen. Liegt der Kennwert einer Oberfläche oberhalb der Vorgabe kann ein übermäßiger abrasiver Verschleiß der Dichtlippe auftreten.

Man kann vermuten, dass in den heute aktuellen Normen für Radial-Wellendichtungen (Stand 80er Jahre) die damalige Kenngröße Rpm durch die gebräuchlichere Kenngröße Rmax (heute nur nach VDA2006 [10] definiert) ersetzt und der vorgegebene Wertebereich entsprechend angepasst wurde. Auch dürften natürlich noch im Laufe der Zeit weitere Untersuchungen Einfluss auf die damals



>>4: Topographie und Rauheitsprofile einer im Einstich geschliffenen Gegenläuffläche [11]

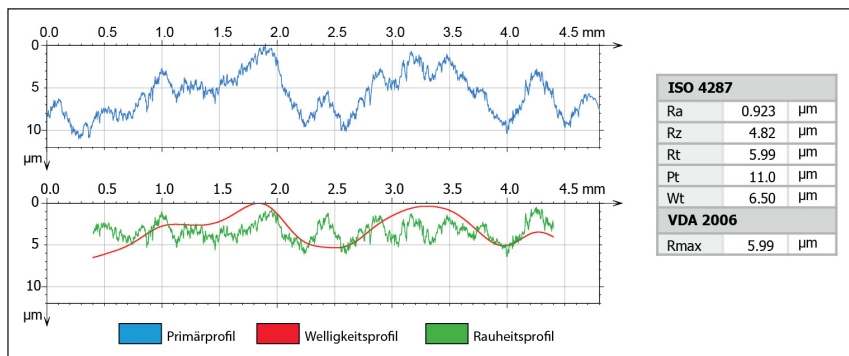
angegebenen Rauheitsbereiche genommen haben. In der Grundaussage ändert dies jedoch nichts.

Was in diesem Kontext noch wichtig ist: Die Kenngrößen werden alle in Achsrichtung gemessen. Die Kennwerte sind demnach auch die in Achsrichtung ermittelten Werte. Der Dichtring muss die Funktion – Abdichten von Fluiden – aber in der Umfangsrichtung erbringen. Hier ist die Rauheit um ein vielfaches glatter, im Beispiel >>4 [11] um den Faktor 3 für Rz und Rmax. Die tribologischen Verhältnisse sind aus diesen Gründen auch komplett anders. Dennoch ist die Angabe in Achsrichtung Stand der Technik – auch weil oftmals die technisch notwendigen Einrichtungen nicht vorhanden sind.

Diese axial gemessenen Werte wurden in der Vergangenheit mit der realen Funktion im Dichtsystem abgeglichen. In einigen Versuchen wurden hierfür auch gedrehte Oberflächen mit untersucht. Hier muss allerdings beachtet werden, dass für gedrehte Oberflächen noch weit mehr Kenngrößen zur eindeutigen Charakterisierung herangezogen werden müssen, als für geschliffene Wellen. Die Grenzwerte aus den Normen gelten also streng genommen nur für: „mit rotierender Schleifscheibe drallfrei im Einstich geschliffene Wellen“ – für andere Fertigungsverfahren gelten diese Werte nicht. Die jeweiligen Kennwerte der Oberflächen müssen jeweils neu ermittelt werden.

Welligkeitsmessung

In den zuvor genannten Untersuchungen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit Wellen mit hoher Präzision und bestmöglichen Fertigungsparametern gefertigt wor-



>>5: Oberflächenkenngrößen, Primär-, Welligkeits- und Rauheitsprofil einer Dichtungsgegenläuffläche

den. So waren z.B. nach den Angaben des Datenblattes OS-1-1, auf allen untersuchten Versuchswellen keine Rundheitsabweichungen vorhanden. Dies ist möglicherweise neben der damals noch nicht vollständig ausgereiften Oberflächenmesstechnik einer der Gründe weshalb in den damaligen Untersuchungen keine Oberflächenwelligkeit oder axiale Formabweichungen berücksichtigt wurden. Dass dies heutzutage jedoch sinnvoll ist, zeigen die nächsten Abschnitte.

Die bisher genannten Kenngrößen (Ra, Rz und Rmax) und alle anderen Rauheitskenngrößen können nicht direkt aus einem Messschrieb entnommen werden. Gemessen wird lediglich das Primärprofil einer Oberfläche. Aus diesem nicht automatisch ausgerichteten Primärprofil wird üblicherweise lediglich die Profiltiefe Pt ermittelt. Die Kenngröße Pt beinhaltet also neben der Maximalwerte der tiefsten und der höchsten Struktur auch die Schrägstellung des Werkstücks. Der Unterschied zwischen dem Primärprofil und dem Rauheitsprofil ist dann die Welligkeit.

Das Primär- und das Welligkeitsprofil finden in der Dichtungspraxis jedoch bisher nur selten Anwendung. Glaubt man jedoch DIN 4760 [12], in der ein Ordnungssystem für die Gestaltabweichung technischer Oberflächen standardisiert ist, so resultiert die Welligkeit einer Oberfläche als Gestaltabweichung 2. Ordnung von z.B. einer außer mittigen Einspannung, Form- oder Laufabweichungen, Schwingungen der Werkzeugmaschine oder des Werkzeugs. Zusammengekommen sind dies potenzielle Fehlerquellen bei der Herstellung, welche zu ungeeigneten Dichtungsgegenläufflächen führen können. Dass solche Oberflächen in der Praxis immer häufiger vorkommen, zeigt der Profilschrieb einer

geschliffenen Dichtungsgegenauflfläche in >>5. Es kann an dieser Stelle die Frage gestellt werden, warum in gängigen Normen für Radial-Wellendichtringe keine Angaben für Welligkeits- oder Primärprofilkenngrößen vorhanden sind.

Grundsätzlich entscheidet ein Profilfilter anhand einer Filtergrenzwellenlänge λ darüber, welche Oberflächenstrukturen des real vermessenen Primärprofils der Rauheit, der Welligkeit oder der Form zuzuordnen sind. Die genaue Funktion eines Profilfilters und wie die Filterung sich auf Profile auswirkt ist ausführlich in DIN EN ISO 16610-21 [13] beschrieben. DIN EN ISO 4287 [14] legt für die Rauheitsmessung drei Filtergrenzwellenlängen fest:

- λ_s grenzt die Rauheit von noch feineren hochfrequenten Strukturen,
- λ_c definiert den Übergang von der Rauheit zur Welligkeit,
- λ_f definiert den Übergang von Welligkeit zur Form.

Aufgrund der mechanischen Filterung durch die eingesetzte Tastspitze empfiehlt der Verband der Automobilindustrie in der VDA2006 den λ_s -Filter nicht anzuwenden.

Für die Filtergrenzwellenlänge λ_c (Einzelmessstrecke l_r) sowie für die Gesamtmessstrecke gibt die Anwendungsnorm DIN EN ISO 4288 [15] in mehreren Tabellen für aperiodische (geschliffene) Strukturausprägungen exakte Werte vor. Da geschliffene Dichtungsgegenauflflächen aus tribologischen Gründen im genannten Rz-Wertebereich von 0,5 bis 10,0 μm gefertigt werden müssen, ist somit auch die Grenzwellenlänge/ Einzelmessstrecke auf 0,8 mm, die Messstrecke auf 4 mm und die Taststrecke auf 4,8 mm festgelegt.

Somit ist eindeutig definiert, was zur Rauheit einer Oberfläche gehört und wie diese zu messen ist. Da in den Normen jedoch keine Angaben über die Filtergrenzwellenlänge λ_f existieren, bleibt offen, was die obere Grenze für die Welligkeit sein sollte. Diese ist bislang schlicht nicht definiert und bietet damit ein großes Verwirrungspotenzial. Immerhin erwähnt DIN EN ISO 4287 dieses Problem in der Einleitung und stellt in Aussicht, dass eine Lösung aktuell in der Beratung ist. Um Welligkeitskennwerte in der Dichtungstechnik erfolgreich einzusetzen und Vergleichbarkeit über Unternehmensgrenzen hinweg sicherzustellen müsste eine Definition für λ_f festgelegt werden. Diese gilt es dann einzuhalten. Ein weit verbreiteter Ansatz, welcher sich auch für die Dichtungstechnik eignen würde, wäre komplett auf ein λ_f -Filter zu verzichten und zu akzeptieren, dass Wellenlängen bis zur Länge der Gesamtmessstrecke l_n berücksichtigt werden. Der Übergang zur Werkstückform wäre dementsprechend fließend.

Somit ist auch die Messstrecke der Welligkeit W_t (maximale Höhendifferenz über das gesamte ausgerichtete Welligkeitsprofil) definiert und vergleichbar. Erfahrungen am Institut zeigen, dass anhand der Kenngröße W_t eindeutig für das Dichtsystem ungünstige Oberflächen identifiziert werden können >>5. Dichtungsgegenauflflächen, welche sich im Versuchsbetrieb als geeignet herausgestellt haben, weisen einen geringen Kennwert auf.

Empfehlung für eine geeignete Dichtungsgegenauflfläche: $W_t < 1,0 \mu\text{m}$

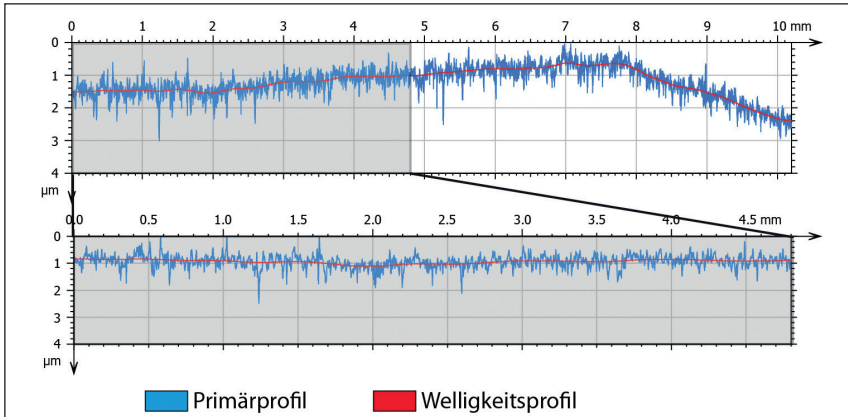
Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es aus dichtungstechnischer Sicht sinnvoll ist die Welligkeit einer Dichtungsgegenauflfläche zu betrachten. Eine hohe Welligkeit deutet fast immer auf ungünstige Bedingungen bei der Herstellung von Dichtungsgegenauflflächen hin – auch wenn die Rauheitskenngrößen in den zulässigen Bereichen sind. Da die meisten taktilen Oberflächenmessgeräte die Welligkeitskenngrößen mit an Bord haben, liegt hier ein großes Potenzial brach welches es zu nutzen gilt.

Formmessung

Neben der behandelten Welligkeit, nennt DIN 4760 als Gestaltabweichung 1. Ordnung Formabweichungen. Diese Geradheits-, Ebenheits- oder Rundheitsabweichungen stammen von Fehlern in den Führungen der Werkzeugmaschine, von der Durchbiegung der Maschine oder des Werkstückes oder von falscher Einspannung. Üblicherweise wird die Werkstückform auf einer Formmessmaschine wie z.B. einer Koordinatenmaschine gemessen. Lässt man aber die nach DIN vorgegebenen Messstrecken und Profilverfilter außer Acht, so eignet sich auch ein taktiler Oberflächenmessgerät dafür, die Form eines Werkstückes in axialer Richtung zu erfassen. Wird das Oberflächenprofil einer Dichtungsgegenauflfläche z.B. mit einer Messlänge von 10 mm und mehr vermessen >>6, zeigen sich auch deutlich vorhandene ballige oder auch konkave Formabweichungen im Oberflächenprofil.

Der Vergleich mit einem nach DIN vermessenem, kürzerem Profil zeigt, dass eine Messlänge von 4,8 mm selten ausreichend ist, um solche Abweichungen zu erfassen, zumal das Messprogramm meist nur das ausgerichtete Rauheitsprofil darstellt. Doch wann treten derartige Formabweichungen bei Dichtungsgegenauflflächen überhaupt auf?

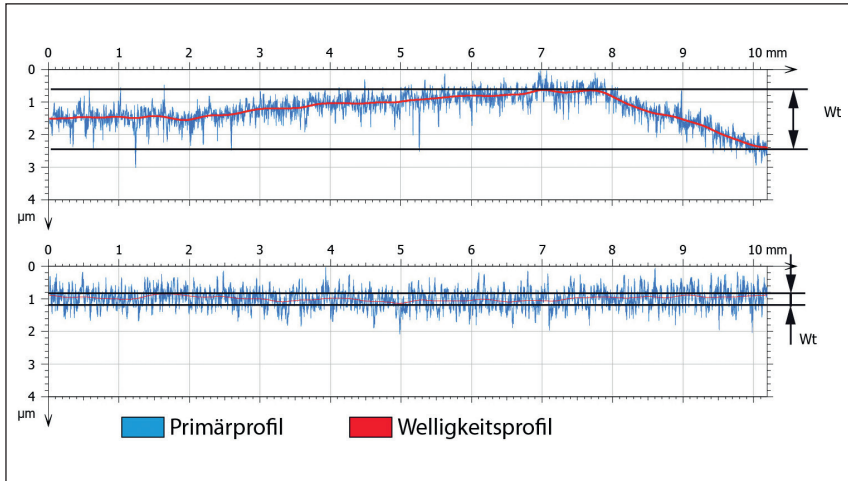
Häufig finden sich Formabweichungen, wenn beim Schleifen anstatt Ein- oder Mehrkorndiamantwerkzeugen z.B. Formrollen als Abrichtwerkzeug zum Einsatz



>>6: Ballige Formabweichung auf einer Dichtungsgegenläufigen 10 mm (oben), ausgerichtetes Profil derselben Dichtungsgegenläufigen 4,8 mm (unten)

kommen. Auch werden in der Praxis immer häufiger Superfinish-Verfahren zur Herstellung von Dichtungsgegenläufigen eingesetzt. Diese Band- oder Stein-Superfinish-Verfahren liefern aufgrund einer axialen Oszillation des Bearbeitungswerkzeugs für andere Anwendungen hochwertige Oberflächen. Für Dichtungsanwendungen sind sie aufgrund ihrer Kreuzstrukturen (= Wellendrall) aber nicht geeignet. Da Dichtungsgegenläufigen drallfrei sein müssen, wird hier bei der Bearbeitung häufig einfach die Oszillation ausgeschaltet. Dies führt dazu, dass sich Formabweichungen des Bearbeitungswerkzeuges direkt auf das Bauteil übertragen. Weiterhin bilden sich am Umfang umlaufende Riefen aus. Diese verhindern einen notwendigen Fluidaustausch und sind daher für das tribologische System schädlich.

Um ballige oder konkave Formabweichungen zu charakterisieren eignet sich ebenfalls die Welligkeitskenngröße W_t , da der Kennwert über die gesamte Messstrecke berechnet wird. >>7 zeigt oben ein Profil mit großer Formabweichung und unten ein Profil mit minimaler Formabweichung. Da diese Messstrecke nun nicht mehr normiert ist, wird ein Index mit der Länge der Messstrecke vorgeschlagen. Somit wäre der Kennwert im oberen Profil $Wt_{10mm} = 1,8 \mu\text{m}$ und im unteren Profil $Wt_{10mm} = 0,4 \mu\text{m}$. Für diese Auswertung darf das Profil nicht ausgerichtet werden und es muss sichergestellt sein, dass das Bauteil ordentlich eingespannt ist. Die Empfehlung für eine geeignete Dichtungsgegenläufigen ist $Wt_{10mm} < 1,3 \mu\text{m}$.



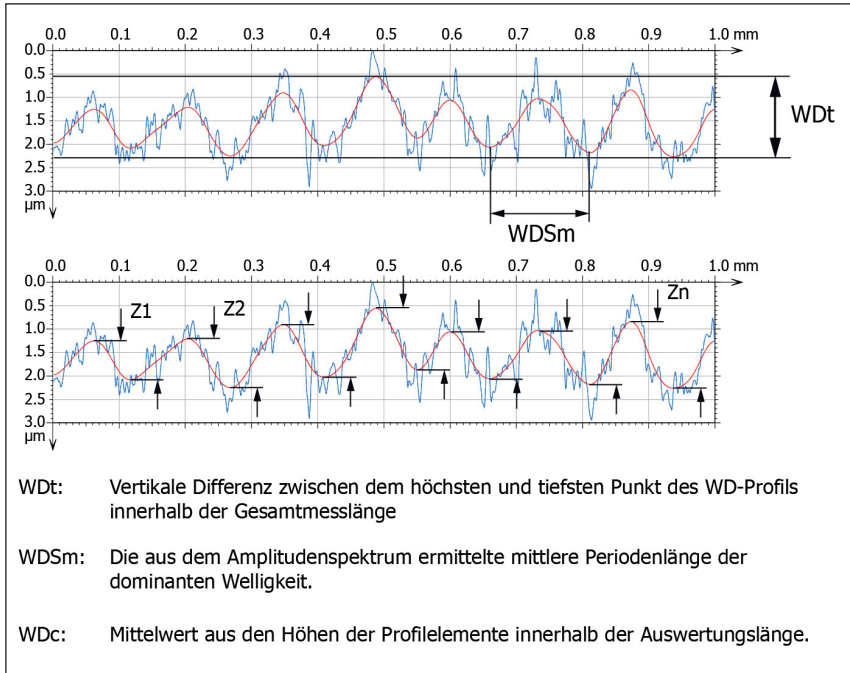
>>7: Dichtungsgegenauflähen mit und ohne Formabweichung

Dominante Welligkeit

Eine weiterführende Bewertungsmethode für Dichtungsgegenauflähen ist die dominante Welligkeit nach VDA 2007 [15]. Zwar ist dieser Auswertungsalgorithmus nicht im Standardumfang eines taktilen Rauheitsmessgerätes beinhaltet, eine teure Hardware-Aufrüstung des Messgerätes ist jedoch nicht erforderlich. Mit der Entwicklung der dominanten Welligkeit hat der Verband der Automobilindustrie VDA das zuvor beschriebene Problem der Festlegung von Filtergrenzwellenlängen aufgegriffen und ein Berechnungsverfahren festgelegt, für das lediglich eine Messlänge vorgegeben werden muss. VDA 2007 beschreibt die dominante Welligkeit als eine periodische dominante Oberflächenstruktur, welche z.B. die Funktion von statischen und dynamischen Dichtflähen beeinflusst. Grundsätzlich untersucht das Berechnungsverfahren Oberflächenprofile mit Hilfe einer Frequenzanalyse auf das Vorhandensein von periodischen Strukturanteilen. Ist eine dominante periodische Struktur vorhanden, wird deren Frequenz bestimmt und das Oberflächenprofil mit einem Nullbandpassfilter gefiltert. Hieraus ergibt sich das dominante Welligkeitsprofil von welchem die drei Kenngröen W_{Dc} , W_{Dt} und W_{DSm} >>8 abgeleitet werden.

Werden Kennwerte ermittelt ist eine dominante Welligkeit vorhanden. Dies kann bedeuten:

- Zufälliges Auftreten an einem radialen Bereich der Welle – unwahrscheinlich.



>>8: Kenngrößen der dominanten Welligkeit

- Umlaufende Riefen über den gesamten Umfang (z.B. durch Superfinish-Verfahren). Diese Riefen verhindern einen notwendigen Fluidaustausch und sind daher für das tribologische System schädlich.
- Sind die Strukturen schräg gerichtet, was aus einem Messschrieb nicht ersichtlich ist, liegt ein schwerwiegender Fall von Makrodrall vor. Dieser muss mit der Methode nach [3] oder durch das Zusammensetzen einer Pseudotopografie mit vielen rotatorisch versetzten Messschrieben analysiert werden.

Werden bei der Analyse keine Kennwerte ermittelt, ist kein dominantes Welligkeitsprofil vorhanden.

Anwendung und Einschränkungen

Die vorgestellten Betrachtungen zeigen, dass auch wenn im Zusammenhang mit Dichtungsgegenläufigen vordergründig das Thema Wellendrall auftaucht, oftmals wesentlich grundlegendere Probleme vorliegen können. Eine zu hohe Welligkeit, Formabweichungen oder die dominante Welligkeit resultieren von

schlecht eingestellten Fertigungsprozessen. In solchen Fällen ist es zunächst zweckdienlich die Fehlerursachen in der Herstellung der Dichtungsgegenläufige zu identifizieren und auszuschließen. In so manchem Fall reicht dies bereits aus, um vorliegende Probleme bei der Abdichtung zu lösen.

In der Praxis wird meist einmal an einer beliebigen Stelle gemessen. Vergleicht man aber die Kennwerte an verschiedenen axialen und radialen Stellen einer Welle, sieht man, dass die Werte bei einer perfekten Welle ohne weiteres um $\pm 10\%$ bei einer schlechteren Welle auch bis $\pm 30\%$ oder mehr schwanken können. Bei der Vermessung der Rauheit an einer Stelle einer Welle macht es also keinen Sinn, sich über die zweite Nachkommastelle zu streiten.

Zudem verursacht die wahrscheinlich wenig bekannte 16%-Regel, welche besagt, dass 16% der Messwerte außerhalb der Spezifikation liegen dürfen, häufig große Diskussionen. Ob dies für eine Messung, für mehrere Messungen eines Bauteiles oder für 16 von 100 Chargen gilt, ist in der Norm [14] nicht eindeutig dargestellt. Es gibt jedoch ergänzende Hinweise, welche noch mehr zur Verwirrung beitragen. In VDA2006 [9] wird die 16%-Regel daher nicht angewendet. Mehr dazu wieder in [8].

Für wen die 16%-Regel dann gilt oder eben nicht gilt, muss wohl in Verträgen, Lastenheften oder in den Zeichnungseintragungen festgelegt werden.

Wellendrall ist aufgrund der Richtungsabhängigkeit generell ein flächenbezogenes Problem, welches mit einzelnen Profilen nicht erfasst werden kann. Dementsprechend muss, die Hardware eines taktilen Messgerätes um z.B. eine Rotationsachse erweitert werden. Periodische Makrodrallstrukturen können dann erfasst und ausgewertet werden.

Beschädigungen wie Kratzer sind ebensolche flächenbezogene Probleme. Sie können auf taktilen Geräten mit hohem Aufwand mit einer Rotationsachse oder einem XY-Tisch analysiert werden. Dabei müssen die Abstände zwischen einzelnen Messungen sehr nah beieinander liegen und mit Hilfe einer Analysesoftware muss dann eine Pseudotopografie zusammengesetzt werden. Ein systembedingter Nachteil ist die enorme Messzeit für diese hohe Anzahl an Messschrieben.

Ein Problem, das mit taktilen Messgeräten nicht gelöst werden kann, ist der Mikrodrall. Dieser entsteht durch die von den geometrisch undefinierten Körnern

Ra	Rz	Rmax	Rt	Wt	Wt _{10mm}	Dominante Welligkeit	Weitere Angaben
0,4 - 0,7 µm	2,5 - 4,0 µm	6,3 µm	6,3 µm	≤ 1,0 µm	≤ 1,3 µm	nicht vorhanden	drallfrei
Für eine druckbelastete Abdichtung muss die Oberfläche glatter sein.							

>>9: Vorschlag für eine drucklose Abdichtung mit Elastomer-RWDR (Bilder: Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart)

der Schleifscheibe stammenden typischen Schleifriefen. Sind diese durch unsachgemäße Prozessparameter in eine Vorzugsrichtung orientiert, kann es zu Leckage oder Trockenlauf kommen.

Soll die Oberfläche umfassend analysiert werden, kann auf eine flächige Betrachtung nicht verzichtet werden. Hier weisen flächig messende optische Messgeräte große Vorteile hinsichtlich Messgeschwindigkeit, Genauigkeit und Vielseitigkeit auf. Weiterhin sind diese Geräte zur Vermessung der neuen 3D-Kenngrößen aus [16] unbedingt notwendig.

Vorschlag zur Messstrategie

Für eine erweiterte Charakterisierung einer geschliffenen Dichtungsgegenläuffläche bieten sich folgende Messstrategie und Einstellung >>9 an:

- Nach Norm/Standard: DIN EN ISO 4287/4288
- Taststrecke: 4,8 mm
- Ein-/Auslauf: 0,4 mm
- Messstrecke: 4,0 mm
- Tastgeschwindigkeit: 0,5 mm/s
- Diamant-Tastspitzenradius: 2 µm
- Für Wt_{10mm}: Taststrecke 10mm

Auswertung:

- λ_s nicht verwendet
- $\lambda_c = 0,8$ mm
- λ_f nicht verwendet
- Anzahl Messungen pro Welle: min. 6 am Umfang verteilt – Mittelwertbildung
- Auswertung Höchstwert-Methode – die 16%-Regel wird nicht angewendet

Zusammenfassung

Schon seit den 60iger Jahren ist die Dichtungsgegenläuffläche für Radial-Welldichtungen Gegenstand vieler Untersuchungen. Mit dem Aufkommen der

Rauheitsmesstechnik wurden mit aufwändigen Versuchen drei Rauheitskenngrößen identifiziert mit denen in der damaligen Zeit eine ausreichende Qualitätskontrolle ermöglicht werden konnte. Diese fanden Einzug in gängige Normen. Mit dem Fortschreiten der Wissenschaft und der Technik und dem zunehmenden Einsatz neuer Fertigungsverfahren oder anderer Prozessparameter reichen diese Normenvorgaben jedoch immer weniger aus, um den sicheren Betrieb von Radial-Wellendichtsystemen zu gewährleisten. Auch wenn die Drallmessung letzten Endes nicht komplett ersetzt werden kann, so existieren aber dennoch auf taktilen Messungen basierende Oberflächenkenngrößen, die eine große Anzahl von aus dichtungstechnischer Sicht schädlichen Oberflächeneigenschaften charakterisieren können. Aus diesem Grund lohnt ein tieferer Blick in den Funktionsumfang der weit verbreiteten taktilen Oberflächenmessgeräte. Um jedoch allgemeine Akzeptanz zu erreichen und dem Anwender den Umgang zu erleichtern, wäre eine Überarbeitung und Erweiterung der aktuell gültigen Normen für Radial-Wellendichtringe um diese Spezifikationen wünschenswert.

Literatur

- [1] Baumann, M.; Bauer, F.; Haas, W.: Messung, Analyse und Bewertung von Dichtungsgegenläufigen für das Tribo-System Radial-Wellendichtung, 18th ISC, Stuttgart, 8.-9. Oktober 2014; Fachverband Fluidtechnik im VDMA e.V., 2014, S. 627 – 639, ISBN 978-3-00-046879-7
- [2] Baumann, M.; Baitinger, G.; Bauer, F.; Haas, W.: How to measure lead in sealing technology; Sealing Technology; Elsevier Ltd.; 07/2013; S. 8-12; ISSN 1350-4789
- [3] Seewig, J.; Hercke, T.: 2nd Generation Lead Measurement, XIX IMEKO World Congress, Lisbon/Portugal, September 2009
- [4] DIN 3760: Radial-Wellendichtringe, Deutsches Institut für Normung e.V., September 1996
- [5] DIN 3761: Radial-Wellendichtringe für Kraftfahrzeuge, Deutsches Institut für Normung e.V., Januar 1984
- [6] ISO 6194-1: Rotary shaft lip-type seals incorporating elastomeric sealing elements, Part1: Nominal dimensions and tolerances, International Organization for Standardization, 2007
- [7] RMA OS-1-1: Shaft Finish Requirements for Radial Lip Seals, Technical Bulletin, (revised 2004), Rubber Manufacturers Association, Washington, DC, USA
- [8] Heldt, E: Oberflächenrauheit, Quality Engineering, 5/2006, ISSN 1436-2457
- Symons, J.D.: Shaft Geometry – A Major Factor in Oil Seal Performance, Journal of Lubrication Technology, April 1968
- [9] VDA 2006: Oberflächenbeschaffenheit – Regeln und Verfahren zur Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit, Verband der Automobilindustrie e.V., Juli 2003
- [10] Jung, S.: Beitrag zum Einfluss der Oberflächencharakteristik von Gegenläufigen auf das tribologische System Radial-Wellendichtung; Dissertation 2012, Universität Stuttgart, Institutsbericht Nr. 141

- [11] DIN 4760: Gestaltabweichungen, Deutsches Institut für Normung e.V., Juni 1982
- [12] DIN EN ISO 16610-21: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Filterung – Teil 21: Lineare Profilfilter: Gauß-Filter, Deutsches Institut für Normung e.V., Juni 2013
- [13] DIN EN ISO 4287: Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit, Deutsches Institut für Normung e.V., Juli 2010
- [14] DIN EN ISO 4288: Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit, Deutsches Institut für Normung e.V., Juli 2010
- [15] VDA 2007: Oberflächenbeschaffenheit – Definition und Kenngrößen der dominanten Welligkeit, Verband der Automobilindustrie e.V., Februar 2007
- [16] DIN EN ISO 25178. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft, September 2012