

Stand der Technik bei der Prüfung von Gummidichtungen und elastomeren Werkstoffen

Fortschritte in der berührungslosen Messtechnik und in der Werkstoffprüfung ermöglichen eine genauere und schnellere Überprüfung von O-Ringen, Elastomerdichtungen und Werkstoffen bezüglich wichtiger Qualitätskriterien wie Abmessungen, Oberflächenfehler, Langzeitverhalten oder Werkstoffbeschaffenheit. Der untenstehende Aufsatz stellt die Möglichkeiten der kräftefreien dimensionellen Prüfung vor und zeigt die Möglichkeiten moderner Werkstoffprüfungen mittels Druckspannungsrelaxation und Thermogravimetrie auf.

Der Einsatz optischer Messverfahren zur Überprüfung von Maßen und Oberflächen von O-Ringen, Gummidichtungen und Formteilen

Die Funktion von Elastomer-Dichtungen, die meistens im Kraftnebenschluss verbaut werden, ist sehr stark abhängig vom Verformungsgrad in der Nut und damit von den Abmessungen der Teile. Je kleiner die Dichtungen sind, desto wichtiger wird eine formgenaue Ausführung. Bei der Überprüfung der Abmessungen kommt man mit der klassischen, berührenden Messtechnik jedoch schnell an Grenzen, weil dabei ja die Dichtungen verformt werden. Daher werden sowohl bei der Messung von O-Ringen als auch von Profildichtungen und Gummiformteilen bevorzugt kräftefreie Prüfverfahren eingesetzt. Tabelle 1 zeigt hier die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten.

Messmittel	Messmöglichkeiten	typischer Einsatzbereich
Laser-Scan-Micrometer	Höhen, Abstände, Durchmesser	axiale und radiale Schnurstärken von O-Ringen
Digital-Mikroskop, 20-200-fach	Oberflächenfehler, Winkel, Abstände, Durchmesser, Tiefen	Oberflächenabweichungen (O-Ringe DIN 3771/4), Formteile (Profilschnitte)
optische Messmaschine (Rotationsprinzip)	Außen- und Innendurchmesser (Durchlicht), Wandstärken, radiale Schnurstärken	O-Ringe, runde Dichtungen und Formteile, Sortierung nach vorgegebenen Toleranzen
optische 3D-	Abstände, Durchmesser (Auf-	Formteile (komplette Erst-

Messmaschine	und Durchlicht), Winkel, Höhen, konstruierte Maße	bemusterungen von Einzelnestern), Oberflächenabweichungen
--------------	---	---

Tabelle 1: Berührungsfreie Messverfahren

Die Vorteile eines Laser-Scan-Micrometers gegenüber einem Messtaster

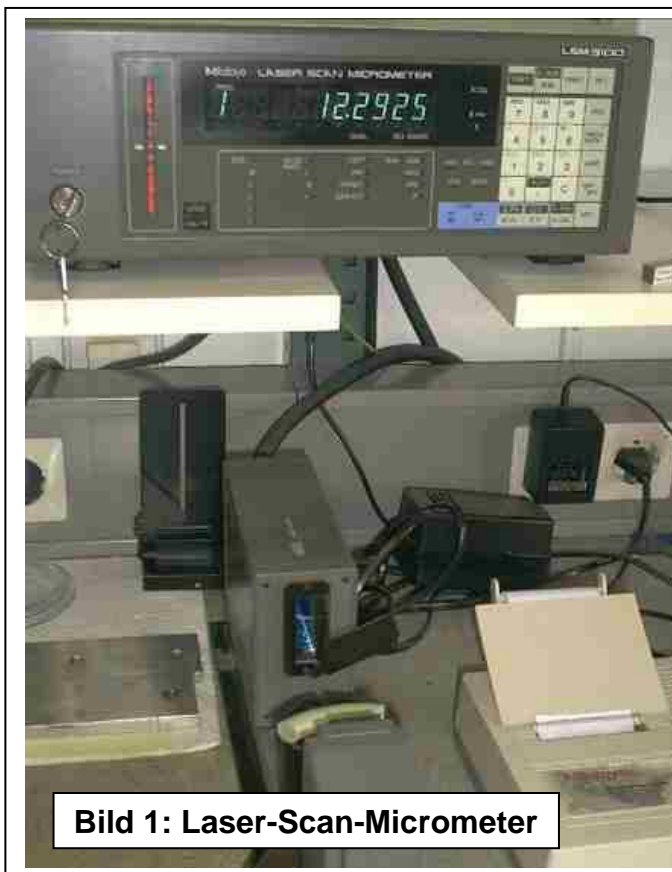


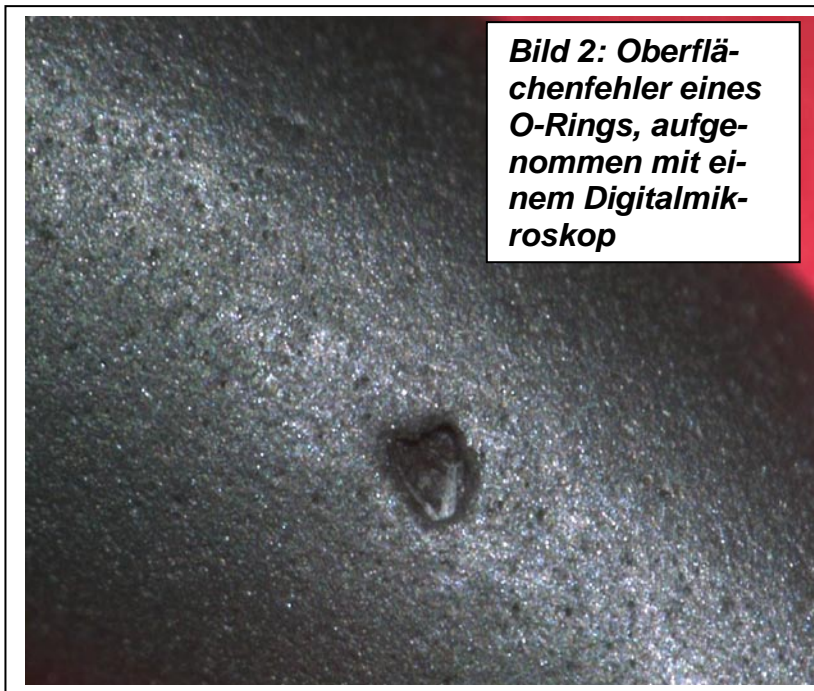
Bild 1: Laser-Scan-Micrometer

Der Vorteil eines Laser-Scan-Micrometers liegt in der hohen Genauigkeit, er ist einfach zu bedienen, und er ist relativ preisgünstig im Vergleich zu anderen berührungsfreien Messgeräten. Im O-Ring Prüflabor Richter wird der Laser-Scan-Micrometer überwiegend zur Messung der axialen Schnurstärke von O-Ring-Abschnitten eingesetzt, welche zur Messung des Druckverformungsrestes vor und nach der Verformung und Temperaturbeanspruchung ermittelt werden muss. Die Ergebnisse können einfach in eine Excel-Datei eingelesen und dokumentiert bzw.

gespeichert werden. Im Vergleich zu Messungen mit Messtastern ist das Messergebnis unabhängig von Einflüssen durch die Auflagekraft, durch den Durchmesser des Messtellers und der Person des Prüfers, zudem sind die Möglichkeiten, Fehler zu machen, erheblich geringer. Der Nachteil eines Laser-Scan-Micrometers liegt darin, dass, bedingt durch das Messprinzip (es wird ja nur der Schatten des Messobjektes gemessen) an ganzen O-Ringen oder an planen Flächen die Abweichung von der idealen Planheit mitgemessen wird.

Vorteil eines Digitalmikroskops im Vergleich zu einem klassischen Lichtmikroskop

Der Einsatz von einem modernen Digital-Mikroskop kann die Effizienz bei der Qualitätskontrolle von Dichtungsoberflächen erheblich verbessern, indem die Bildqualität damit erheblich gesteigert werden kann, insbesondere die Tiefenschärfe bei starken Vergrößerungen, das Bild steht digital zur Verfügung und es können an den Bildern sehr genaue Messungen vorgenommen werden, bei entsprechender Ausstattung sogar dreidimensional. Im O-Ring Prüflabor Richter wird ein Digitalmikroskop

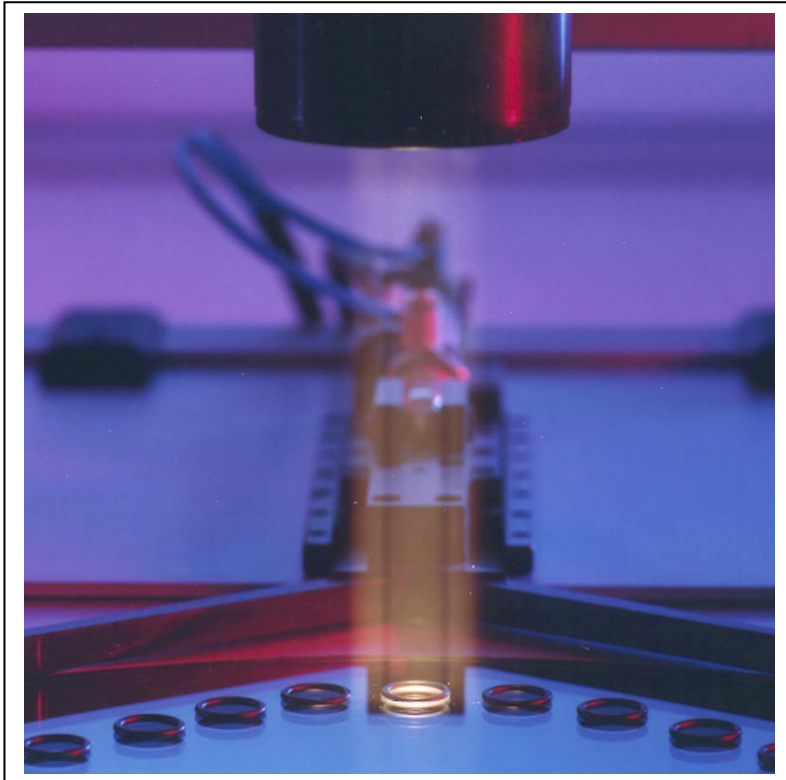


überwiegend zur Darstellung von unzulässigen Oberflächenabweichungen von O-Ringen und zur Schadensanalyse eingesetzt, teilweise werden damit aber auch Dichtungsprofile vermessen (Radien, Winkel, Abstände, Flächen).

Optische 2D-Messmaschinen (Rotationsprinzip)

Eine speziell für das Messen von O-Ringen entwickelte Mess- und Sortiermaschine ist beim Prüflabor Richter in Betrieb. Durch die Kombination einer mit einem Lineartrieb steuerbaren Zeilenkamera mit einem drehbaren Messtisch aus Glas ist es möglich, O-Ringe, aber auch andere Dichtungen berührungsfrei von 0 bis 400 mm Innendurchmesser sehr genau zu vermessen. Gemessen wird der Innen- und Außendurchmesser sowie die Schnurstärke.

Im Vergleich zu bereits existierenden Messmaschinen gehen Unrundheiten infolge der Biegeschlaffheit der Dichtungen nicht als Messfehler mit ein. Durch die Auswertung von mehreren tausend Messpunkten über den Umfang und die anschließende Auswertung mittels eines mathematischen Auswerteverfahrens ist durch das berührungsfreie Erfassen der Prüflinge eine äußerst gute Reproduzierbarkeit und hohe Genauigkeit der Messung gegeben. Als Ergebnis der Messung bekommt man



neben dem Innen- und Außendurchmesser den Mittelwert und die punktuellen Kleinst- und Größtwerte der Schnurstärke. Damit gewinnt man sichere Angaben über die Funktionalität des O-Rings, da auf diese Weise auch erhöhter Versatz und Grat aufgespürt werden. Für Außendurchmesser unter 25 mm kann kontinuierlich geprüft

Bild 3: Optische Messmaschine (Rotationsprinzip)

eine Sortierfunktion aktiviert werden. Der Vorteil dieses Messverfahren ist die schnelle und hochpräzise Messung und die einfache Bedienbarkeit. Der Nachteil besteht darin, dass nur Durchmesser geprüft werden können und das nur im Durchlicht. Auch Höhenmessungen sind damit nicht möglich.

Table 2: Mess-Studie an einem O-Ring 216x1,5	10 x in gleicher Lage gemessen	10 x in verschiedenen Lagen gemessen
Innendurchmesser, Mittelwert aus 10 Einzelmessung, mm	215,475	215,482
Innendurchmesser, Größtwert aus 10 Einzelmessungen, mm	215,477	215,505
Innendurchmesser, Kleinstwert aus 10 Einzelmessungen, mm	215,470	215,471
Innendurchmesser, Standardabweichung, mm	0,002	0,010
mittlere Schnurstärke, Mittelwert aus 10 Messungen, mm	1,502	1,504
mittlere Schnurstärke, Größtwert aus 10 Messungen, mm	1,502	1,515
mittlere Schnurstärke, Kleinstwert aus 10 Messungen, mm	1,501	1,499

mittlere Schnurstärke, Standardabweichung, mm	0,000	0,006
---	-------	-------

Optische 3D-Messmaschine

Die oben beschriebenen Verfahren der berührungsfreien Messung haben begrenzte Anwendungsgebiete und werden daher überwiegend für O-Ringe, Hydraulik- und Pneumatikdichtungen und für Radialwellendichtringe eingesetzt. Zur Erstmusterprüfung von Formteilen reicht dies aber nicht aus. Hier müssen auch größere Abstände gemessen werden können, ebenso müssen Messungen von konstruierten Punkten möglich sein und natürlich auch Prüfungen im Auflicht. Auch Messungen in der Z-Achse sind ein wichtiges Auswahlkriterium. Für Erstmusterprüfungen, das heißt für die nesterbezogene Vermessung von Formteilen soll dies auch mit einem vertretbaren Aufwand möglich sein. Für diese Zwecke wird im O-Ring Prüflabor Richter eine optische, relativ einfach programmierbare, optische 3D-Messmaschine eingesetzt, siehe Bild 4. Natürlich erfordert die Bedienung dieser Messmaschine eine intensive



Bild 4: Optische 3D-Messmaschine

Einarbeitung und die Prüf- bzw. Bedienzeit pro Auftrag ist im Vergleich zu den oben beschriebenen Messverfahren deutlich länger, dafür bietet diese Maschinen aber alle erdenklichen Optionen und stellt daher die ideale Ergänzung dar.

Zusammengenommen bieten die dargestellten Prüfverfahren die Möglichkeit, bei der maßlichen Überprüfung von Gummidichtungen das unter technologischen und wirtschaftlichen Aspekten best geeignete Prüfverfahren auszuwählen.

Moderne Prüfverfahren zur Charakterisierung von Elastomerwerkstoffen

Die kontinuierliche Druckspannungsrelaxations-Prüfung

Die Druckspannungsrelaxationsprüfung bewertet im Vergleich zur Druckverformungsrestprüfung nicht das Rückstellverhalten nach Verformung, Temperaturbeanspruchung und anschließender Entspannung in Form des Rückstellweges sondern den Erhalt der Dichtkraft bei konstanter Verformung unter Einfluss der Temperatur und Zeit. Sie ist apparativ wesentlich aufwendiger durchzuführen als eine Druckverformungsprüfung, insbesondere bei kontinuierlicher Messung, und eignet sich daher weniger als serienbegleitende Fertigteilprüfung. Der Vorteil liegt in der kontinuierlichen Erfassung des Werkstoffverhaltens unter Temperatureinfluss, mit den gewonnenen Ergebnissen können dann vorhandene Rechenmodelle zur Darstellung des Relaxationsverhaltens überprüft und wertvolle Hinweise auf das Werkstoffverhalten gewonnen werden. Damit kann das technologische Verhalten von Gummiwerkstoffen noch besser dargestellt werden. Auch kann damit das Leistungspotential von Dichtungswerkstoffen insbesondere im Bezug auf das Langzeitverhalten aufgezeigt werden. Ganz besonders wertvoll ist dieses Verfahren für Elastomerdichtungen, die im Krafthauptschluss eingesetzt werden, weil dort allein über Druckverformungsrestmessungen keine ausreichende Vorhersage über das Langzeitverhalten möglich ist. Die am häufigsten angewendete Prüfnorm ist die ISO 3384 beziehungsweise DIN ISO 3384. Tabelle 3 zeigt ein Beispiel für eine solche Prüfung: Nach 24h wird die Spannungsrelaxation bestimmt durch physikalische Vorgänge, die zunehmende Quellung führt zunächst deshalb zu einer Zunahme der Dichtkraft bis ca. 168h bzw. eine Woche, bevor dann die Alterung des Werkstoffes, das heißt chemisch bedingte Relaxationsvorgänge, zu einer Abnahme der Dichtkraft führen. Wegen der guten

Beständigkeit des geprüften Dichtungswerkstoffes ist der Effekt der Alterung aber relativ gering.

Zeit	Kraft in N	Spannungsrelaxation in %
nach 30 min.	104,0	-
nach 24 h	84,1	19,1
nach 72 h	88,8	14,6
nach 168 h	90,4	13,1
nach 336 h	88,3	15,1
nach 504 h	86,5	16,8

Tabelle 3: Ergebnisse einer Druckspannungsrelaxationsprüfung eines AEM-Werkstoffes nach ISO 3384 B über 504h bei 150°C in einem Motoröl

Wie oben erwähnt, ist der apparative Aufwand zur Messung der Druckspannungsrelaxation relativ groß, da die Kraftmessdosen thermisch entkoppelt sein müssen, die Aufzeichnung soll kontinuierlich erfolgen und die Temperatur soll direkt an der Probe gemessen werden. Im O-Ring Prüflabor Richter setzt man daher bei Messungen bei erhöhten Temperaturen und in Ölen auf die Messtechnik eines Spezialisten für die Druckspannungsrelaxation, während für die Messung bei Raumtemperatur eigene Prüfvorrichtungen verwendet werden, siehe Bild 5



Die thermogravimetrische Analyse (TGA)

Da neben dem Polymer die restlichen Rezepturbestandteile einer Gummimischung einen wichtigen Einfluss haben, ist es für den Anwender wünschenswert, eine Rezeptur bezüglich der Zusammensetzung zu beschreiben beziehungsweise zu charakterisieren. Dies ermöglicht innerhalb bestimmter Grenzen eine TGA-Analyse. Dabei wird eine Werkstoffprobe (ca. 10 mg) der zu überprüfenden Dichtung kontinuierlich bis zu max. 1000°C erhitzt, und dabei der relative Gewichtsverlust über der Temperatur gemessen. Die Auswertung der Kennlinie erlaubt die quantitative Ermittlung der Mischungsbestandteile in verdampfbare Bestandteile (überwiegend Weichmacher), pyrolysierbare Bestandteile (überwiegend Polymer), oxidierbare Bestandteile (überwiegend Ruß) und nicht oxidierbare Bestandteile, auch als Ascherest bezeichnet.

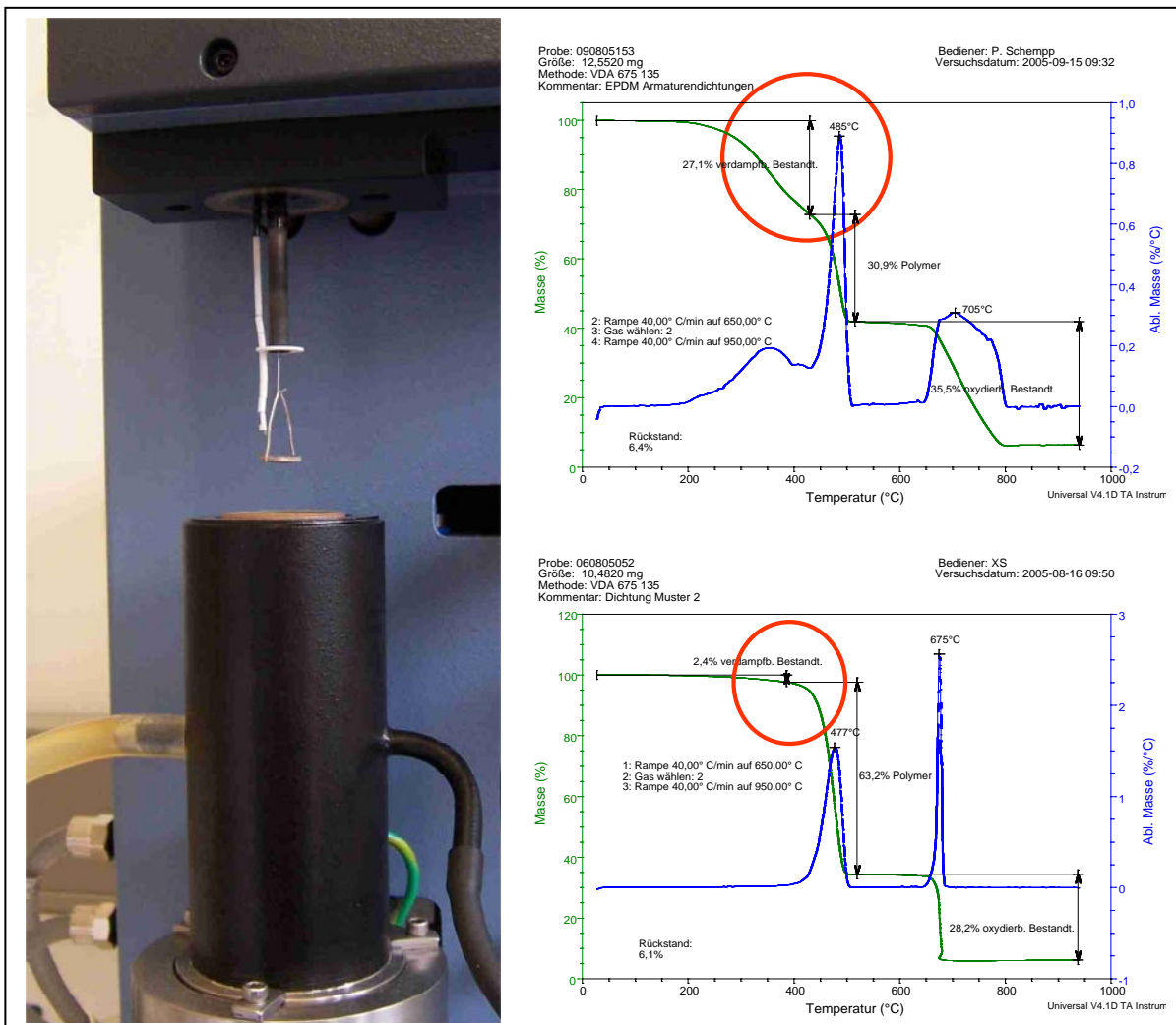


Bild 6: Messzelle eines TG-Analyzers mit 2 Thermographen

Wird diese Kurve bei einer Erstbemusterung aufgenommen, kann bei späteren Lieferungen in Zweifelsfällen an Serienteilen die Übereinstimmung geprüft werden. Daher wird diese Prüfung hauptsächlich bei der Erstmusterprüfung durchgeführt, bei der Serienüberwachung nur in Zweifelsfällen oder für kritische Teile. Auch bei Schadensanalysen liefert eine TGA-Kurve wertvolle Informationen und erlaubt oft wichtige Rückschlüsse. Bild 6 zeigt die Messzelle eines TG-Analyzers und zwei daraus gewonnenen Thermographen, die einen sofortigen Rückschluss auf die quantitative Zusammensetzung der Rezepturen (peroxidisch vernetztes EPDM 70) zulassen: Die obere Kurve stellt einen schlechten Stand der Technik dar wegen des hohen Weichmacheranteils, die untere Kurve einen guten Stand der Technik, es sind keine Weichmacheranteile zu erkennen, was positive Auswirkungen im Vergleich zur oberen Rezeptur auf das Langzeitverhalten hat.

Zusammenfassung

Nie zuvor konnten Gummiartikel bezüglich ihrer Beschaffenheit besser untersucht werden. Natürlich sind damit nicht unerhebliche Investitionen in Messgeräte und in die Qualifikation von Mitarbeitern verbunden. Daher ist die Prüfung von O-Ringen, von elastomeren Dichtungen und Werkstoffen ein typisches Gebiet für eine Dienstleistung, da diese Tätigkeit einen hohen Spezialisierungsgrad und kostenintensive Messtechnik erfordert. Wird diese Dienstleistung zudem von einem akkreditierten Prüflabor durchgeführt, kann dies Mehrfachprüfungen beim Lieferanten und beim Kunden ersparen und somit in doppelter Weise helfen, Kosten einzusparen.