

FACHWISSEN SCHADENSANALYSE VON ELASTOMERBAUTEILEN

Ein Angebot des

O RING

PRÜFLABOR

RICHTER

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

Quelle: www.o-ring-prueflabor.de

Stand der Information: 10/2017

Risse durch Herstellungsprobleme – Ein gravierender Fehler, der oft zum Dichtungsausfall führt

Autoren:

Dipl.-Ing. Bernhard Richter,

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner,

Dipl.-Ing. Timo Richter

1. Einordnung und Häufigkeit des Schadensbildes

Von den vier Hauptschadensmechanismen können Risse an Dichtungen verschiedenen Hauptgruppen zugeordnet werden. Der folgende Artikel befasst sich mit Rissen aufgrund von Herstellungsfehlern und gehört damit zur 4. Hauptgruppe:

1. Medien
2. Temperatur / Alterung
3. Mechanisch / physikalische Einwirkungen
- ▶ **4. Herstellungsfehler**

Aus einer Auswertung von über 2000 im O-Ring Prüflabor Richter bearbeiteten und analysierten Schadensfälle sind herstellungsbedingte Risse in ca. 10-15 % der Fälle der Ausfallgrund einer Dichtung gewesen.

2. Fachliches Hintergrundwissen zum Schadensbild

Heutzutage ist die Entstehung und Fortpflanzung von Rissen in Elastomeren ein von der Polymerphysik intensiv bearbeitetes Feld, auf welches in diesem Artikel nicht näher eingegangen werden soll. Im Folgenden wird es um die praktische Abgrenzung eines herstellungsbedingten Risses von einem Überlastungsriß gehen

In der Technik ist es eine allgemein anerkannte Forderung, dass Dichtungen keine Risse aufweisen dürfen. So schreibt die ISO 3601-3 (August 2010): „In nicht gedehntem Zustand muss die Oberfläche des O-Rings bei zweifacher Vergrößerung unter angemessener Beleuchtung frei von Anrissen (...) sein.“¹

Jedoch sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass auf mikroskopischer Ebene so gut wie jedes Elastomerbauteil Fehlstellen (z.B. organische/anorganische Schmutzpartikel, Reste von chemischen Hilfsmitteln zur Entformung, schlecht dispergierte Compounds, Reste vorher verarbeiteter Mischungen usw.) enthält. Auch die noch so sorgfältige Fertigung kann diese nie vollkommen ausschließen, sondern nur reduzieren. So weisen im Zugversuch an Normprobekörpern größere Bauteile schlechtere Festigkeitswerte auf als kleinere. „Im Allgemeinen gilt die Regel: je größer der Anfangsquerschnitt oder je größer das Volumen des Probekörpers, umso geringer ist die Reißfestigkeit. Diese Abhängigkeit lässt sich durch die Anzahl der Fehlstellen in der Probe erklären. Je kleiner das Volumen der Probe, umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Fehlstellen vorhanden sind.“² Entscheidend ist jedoch die Größe dieser Fehlstellen und mitunter Mikrorisse in Verbindung mit dem späteren Einsatzgebiet der jeweiligen Dichtung. So sind statische Dichtungen in der Regel Rissen gegenüber viel toleranter als dynamisch belastete.

Ferner soll erwähnt werden, dass es auch Werkstoffe gibt, bei welchen eine Rissfortpflanzung relativ wenig Energie benötigt, die also einen geringen Weiterreißwiderstand haben (z.B. viele (aber nicht alle) VMQ-Werkstoffe oder peroxidisch vernetzte EPDM-Werkstoffe mit guter Kälteflexibilität). Der Weiterreißwiderstand ist auch abhängig von der Temperatur, je höher diese ist, umso geringer ist er (jedoch je nach Elastomertyp und -füllstoffen unterschiedlich stark ausgeprägt)).

Problematisch ist, dass viele kritische Risse nicht mit bloßem Auge zu erkennen sind, da sie entweder zu klein bzw. auf den meist kontrastarmen schwarzen Dichtungen nicht erkennbar sind oder sich nur bei einer Dehnung des Elastomerbauteils in eine bestimmte Richtung zeigen.

Da Risse an Elastomerbauteilen eine Vielzahl an Ursachen haben können, beschränkt sich dieser Artikel nur auf herstellungsbedingte Fehler. Hier können 6 häufige Rissursachen unterschieden werden:

- Fehlerhafte Vulkanisation (z.B. bei kritischen Werkstoffen wie ACM³)
- Mischung überlagert (bereits „angescorcht“, also anvulkanisiert)
- Risse aufgrund von Verunreinigungen

¹ DIN ISO 3601-3 (August 2010): Fluidtechnik – O-Ringe – Teil 3: Form- und Oberflächenabweichungen (ISO 3601-3:2005), S.7

² NAGDI, Khairi: Gummi-Werkstoffe Ein Ratgeber für Anwender, Ratingen, 2002, S. 290

³ „Acrylatkautschuke haben eine relativ niedrige Viskosität und sind klebrig, die Viskosität nimmt unter Scherung deutlich ab. (...) Die Lagerstabilität des Compounds ist gering.“ RÖTHEMEYER, F. und SOMMER, F.: Kautschuktechnologie, Carl Hanser Verlag, München, 2001, S. 187

- Schrumpfrisse
- Entformungsrisse
- Risse durch Nachbearbeitung

2.1 Fehlerhafte Vulkanisation

Es kann verschiedene Gründe für Vulkanisationsfehler geben. So kann eine hohe Scorchanfälligkeit der Mischung Probleme bereiten. Dadurch kann es besonders im Bereich von Zusammenflussstellen entweder zu Einkerbungen und Fließlinien und/oder einer erhöhten Rissanfälligkeit kommen. Genaugenommen beginnt die Vernetzung ja schon bei Raumtemperatur, kritisch wird es wenn sie eine bestimmte „Schwelle“ überschreitet. Dies geschieht – zumindest beim konventionellen Spritzgießen (Injection Molding) ohne Kaltkanal – hauptsächlich auf zwei Möglichkeiten:

1. Im Zylinder: Dies ist der Fall wenn – vor allem bei sehr „strammen“ (d.h. hochviskosen) Mischungen – eine hohe Zylindertemperatur in Kombination mit langen Verweilzeiten im Zylinder (großer Zylinder und kleines Schussvolumen, Schichtwechsel, Pausen etc.) gewählt wird. Durch die schlechte Wärmeleitfähigkeit der Gummimischung sind die Mischungsteile in den Randbereichen des Zylinders eher betroffen.

2. Im Werkzeug (während des Einspritzens): Ursache hier ist eine zu hohe Werkzeugtemperatur (um Zykluszeit zu sparen), evtl. auch in Kombination mit hoher Massetemperatur beim Zylinderaustritt

Beim Spritzprägen kann zusätzlich ein zu geringer Prägespalt und die damit verbundene Temperaturerhöhung durch Friktion eine Rolle spielen. Bei der Fertigung mit Kaltkanal ist das Temperaturmanagement im Kaltkanal sowie das Verhältnis Schussvolumen/Kaltkanalgröße (Verweildauer im Kaltkanal) kritisch.

Beim Pressen (Compression Molding) ist der größte Risikofaktor eine zu lange Verweildauer der unvulkanisierten Rohlinge auf dem heißen Werkzeug während des Beladens (vor allem bei großen Pressen mit vielen Kavitäten und schlechtem Beladekonzept).

Es gibt Polymere, wie zum Beispiel ACM-Werkstoffe, die besonders empfindlich auf die Temperaturführung sind, jedoch können bei nicht optimalen Fertigungsparametern auch bei allen anderen Elastomeren Risse durch Vulkanisationsfehler entstehen: Will man die Vulkanisation durch hohe Temperaturen zu sehr beschleunigen, so kann jede Mischung zu früh vulkanisieren. Dies zeigt sich in der Anwendung unter Umständen erst unter Verformung und hohen Temperaturen (siehe **Abb. 1**).

2.2 Anvulkanisierte Mischung

Jede Elastormischung besitzt ein bestimmtes Mindesthaltbarkeitsdatum. Nach diesem sollte sie nicht mehr verwendet werden bzw. nur, wenn durch abgesicherte Tests (z.B. Rheometerprüfung, Verarbeitbarkeitsstudien in der Spritzgießmaschine u. ä.) sichergestellt werden kann, dass die Mischung noch einen tolerierbaren Grad an Vorvernetzung enthält und problemlos verarbeitbar ist.

Einige Mischungen verlangen auch eine Lagerung im Kühlhaus. Wird diese vergessen oder unter falschen Bedingungen durchgeführt, kann die Mischung bereits innerhalb ihres Halt-

barkeitsdatums unbrauchbar werden. Durch die eingesetzte irreversible chemische Vernetzung kann die Mischung durch keine Arbeitsschritte wieder brauchbar gemacht werden.

Aufgrund der Globalisierung der Fertigungsprozesse werden heute in Italien oder Deutschland produzierte Mischungen in der ganzen Welt verarbeitet. Besonders bei Schadensfällen mit kritischen Mischungen (z.B. ACM) sollten die Transportwege und -bedingungen (z.B. Verwendung von ungekühlten LKWs im Hochsommer) genau nachverfolgt werden. Ein weiterer Grund für eine Anvulkanisation kann eine zu hohe Wärmeentwicklung beim Extrudieren (Herstellung von Rohlingen) oder Strainern (Sieben der Mischung um Füllstoffagglomerate herauszufiltern und die Mischung zu homogenisieren) sein.

Ist eine Mischung stark anvulkanisiert, ist dies für den Dichtungshersteller oft relativ leicht zu erkennen, da sich durch den hohen Anteil des vorvernetzten Materials die Mischung nur teilweise oder überhaupt nicht mehr ins Werkzeug einspritzen lässt. Weitaus kritischer und häufiger in der Praxis führen Mischungen an der Grenze ihrer Verwendbarkeit zu Problemen. Dieser Grenzbereich lässt sich nämlich nur durch die Anwendung von Rheovulkameterprüfungen erkennen und erfordert ein konsequentes Verschrotten überlagerter Mischungen, was einen erheblicher finanzieller Verlust darstellen kann von bis zu mehreren tausend Euros.

Eine überlagerte Mischung kann der Grund für erhöhte Form- und Oberflächenfehler sein, insbesondere von Fließfehlern, und es kann zu erheblich größeren Streuungen bezüglich der Reißdehnung der Bauteile und zu geringeren Festigkeiten führen. Zu erkennen ist das, wenn beim Zugversuch an den Fertigteilen die relative Standardabweichung 15% oder höher ist. An einem, dadurch vorgeschädigten und dann durchgerissenen, Bauteil findet sich in der Regel ein ausgefranster oder wellenförmiger Rissverlauf und eine inhomogene, oft zerklüftete Bruchfläche. Bei stark überlagerten Mischungen kann sich sogar eine schichtartige Struktur bilden, so dass bereits bei kleinen Verformungen innere Risse in der Dichtung entstehen.

2.3 Risse aufgrund von Verunreinigungen⁴

Fließfehler und dadurch ausgelöste Risse können auch durch Verunreinigungen entstehen. Bei unzureichender Werkzeugreinigung kann es bei bestimmten Mischungen zu starken Verschmutzungen kommen, sowohl gelöste Partikel als auch filmische Verunreinigungen können zum Auslöser von Rissen werden. Ebenso kann ein ungeeignetes oder zu hoch dosiertes Formtrennmittel zu Problemen führen. Schlecht gemischte Compounds, die nicht genügend dispergiert wurden, können ebenso zu einer erhöhten Rissanfälligkeit neigen.

2.4 Schrumpfrisse

Der hohe Schwundfaktor von Gummi kann beim Abkühlen dazu führen, dass insbesondere dickwandige Teile an der Formtrennung leichte „Ausfressungen“ zeigen, die zur Rissbildung führen können. Bei O-Ringen werden dafür Grenzwerte in der DIN ISO 3601-3 unter dem Merkmal „Einkerbungen“ vorgegeben.

⁴ Vgl. CHARLES, Joachim (Hg.): Technologische Verfahren der Elastverarbeitung, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1983, S. 225

2.5 Entformungsrisse

Nach dem Press- bzw. Spritzvorgang wird das Elastomerbauteil entweder manuell oder automatisiert (z.B. durch Bürsten oder Greifer) aus dem Werkzeug entnommen. Bei diesem Vorgang kommt es immer wieder zu Rissen. Dies kann entweder durch ein verschmutztes Werkzeug bedingt sein, welches die Entnahme behindert oder durch eine mischungsbedingte „zu große Haftung im Werkzeug“⁵, weil z.B. die Verwendung eines Trennmittels vergessen wurde oder es sich um eine besonders klebrige Mischung handelt (z.B. peroxidisch vernetztes FKM)

Eine ungenügende Bauteilkonstruktion (z.B. scharfe Kanten, Hinterschneidungen) kann ebenfalls Entformungsrisse begünstigen.

Durch Mängel im Produktionswerkzeug kann es zu einem „Einreißen an der Werkzeuggrenzebene wegen verkanteter [oder beschädigter] Pressplatten“⁶ kommen.

Bei Werkstoffen mit einer geringen Heißeinreißfestigkeit (z.B. peroxidisch vernetzte FKM- oder EPDM-Werkstoffe / siehe **Tab. 1**) genügen bereits kleine Kräfte oder Verkantungen, um einen Riss zu erzeugen.

Außerdem kann es bei einer vorzeitigen Entnahme eines Elastomerbauteils aus dem Werkzeug zu Rissen kommen, da es noch nicht ausreichend vernetzt war.⁷

	Prüftemperatur	FKM 55 ShA	FKM 60 ShA	FKM 75 ShA
Zugfestigkeit [N/mm²]	23°C	8,5	11,1	10,4
	70°C	3,0	4,6	5,4
	120°C	2,1	2,6	3,7
	150°C	1,8	2,2	3,3
Reißdehnung [%]	23°C	282	236	231
	70°C	170	143	140
	120°C	116	99	84
	150°C	90	81	72

Tab. 1: Einfluss der Temperatur und unterschiedlichen Härte auf Zugfestigkeit und Reißdehnung von bisphenolisch vernetzten FKM-Mischungen

(Die Ergebnisse stammen aus Versuchen, die bei den Freudenberg Forschungsdiensten (FFD), Weinheim im Auftrag der O-Ring Prüflabor Richter GmbH durchgeführt wurden.)

⁵ CHARLES, Joachim (Hg.): Technologische Verfahren der Elastverarbeitung, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1983, S. 225

⁶ Ebd., S.225

⁷ Vgl. hierzu: PUJOL, J.-M.: Cracking while Curing in Silicone Sealants: 156th ACS Rubber Division Meeting – Fal 1999, Conference preprint, Orlando, 21-23.09.1999, paper 70 in: BROWN, R.P.: Rubber Product Failure, Rapra Review Reports, Vol. 13, No. 3, 2002, S.35 (Darin wird das Reißen von VMQ-RTV Dehnfugen im Baubereich beschrieben. Durch die langsame Vernetzung durch die Umgebungsfeuchtigkeit kommt es während des relativ langen Vulkanisationsvorganges öfters schon zu Gebäudebewegungen. Bereits Dehnungen unter 10% können dann schon zu Rissen führen.)

2.6 Risse durch Nachbearbeitungsschritte

Bei manchen Dichtungen entsteht die Dichtfläche nicht bei der Formgebung, sondern erst im Nachbearbeitungsprozess. So werden bspw. Rechteckdichtringe von extrudierten Schläuchen abgestochen oder bei den meisten Radialwellendichtringen wird die Dichtfläche durch ein Abstechen erzeugt. Bei diesem Verfahrensschritt kann es zu Ausbrüchen bzw. Verletzungen der Dichtung und daraus resultierenden Rissen kommen.

Um ein vollständiges Füllen der Kavitäten sicherzustellen werden sowohl beim Spritzgießen (Injection Molding) als auch beim Pressen (Compression Molding) die Kavitäten überfüllt, so dass ein dünner Austrieb (= Grat) in der Trennebene entsteht. Um diesen unerwünschten Austrieb von den eigentlichen Spritzlingen zu entfernen, müssen nahezu alle elastomeren Dichtungen nach der Vulkanisation einer Entgratung unterzogen werden, wobei sich hierfür bei nahezu allen Dichtungsherstellern die Kälteentgratung als praktikabelstes Verfahren durchgesetzt hat. Hierbei werden die zu entgratenden Teile mittels flüssigen Stickstoffs eingefroren und anschließend im gefrorenen Zustand mit einem durch ein Schleuderrad beschleunigtes Kunststoffgranulat beschossen. Bei perfekt eingestellten Parametern (Temperatur, Granulatgröße, Schleuderraddrehzahl) reicht die kinetische Energie dieses Granulates aus um die dünne Haut von den dickwandigeren Teilen zu entfernen ohne diese zu beschädigen. In der Praxis kommt es aufgrund von falschen Parametern oder Schwankungen der Granulatgröße immer wieder auch zu Beschädigungen der zu entgratenden Teile (am anfälligsten sind Dichtungen mit geringer Schnurstärke). Besonders kritisch sind angerissene Teile, da diese Vorschädigung nur bei entsprechender Aufdehnung detektierbar ist und während der Anwendung zu einem Versagen führen kann.

Ebenso kann ein falsches Tempern oder ein falsch eingestellter oder defekter Ofen beim Tempern Risse erzeugen.

3. Schadensbild

3.1 Beschreibung des Schadensbildes und problematischer Bereiche

Die Abgrenzung von einer Oberflächenvertiefung zu einem Riss ist nicht immer eindeutig. Gerechtfertigt ist die Einstufung eines Oberflächenfehlers als Riss dann, wenn die Tiefe deutlich über 0,1 mm hinausgeht und eine linienförmige Ausprägung in Abgrenzung zu einer flächigen Ausprägung vorliegt und der Fehler unter 2-facher Vergrößerung zu erkennen ist.

3.1.1 Schadensbild „Risse aufgrund fehlerhafter Vulkanisation“

Bei der Schadensanalyse darf nicht nur die Bruchstelle begutachtet werden, sondern es muss die ganze Dichtung untersucht werden.

Bei einer fehlerhaften Vulkanisation können sich neben der inhomogenen Bruchfläche auch Fließlinien auf der Dichtung zeigen. Dies sichert dann die Annahme von Herstellungsmängeln als Rissursache ab. Dabei kann es sich um Einzelfehler handeln, weil eine wirtschaftliche Gummiverarbeitung nicht ganz ohne Ausschuss möglich ist und dieser Fehler dann bei der Endkontrolle nicht erkannt wurde, oder es liegt ein gravierender Prozessfehler vor, der zu

einer Häufung von Fließfehlern führt. Daher ist ein Vergleich mit einer größeren Anzahl neuer unbenutzter Dichtungen aus der aktuellen Serienproduktion oft hilfreich. Manchmal kann bei diesen Dichtungen der gleiche Fehler in geringerem Ausmaß schon entdeckt werden. Risse, die von Fließlinien herrühren, verlaufen oft parabelförmig und symmetrisch zur Formtrennebene (siehe **Abb. 2 bis 4**). Bei einer fehlerhaften Vulkanisation zeigt sich im Bereich der Bruchstelle meist eine inhomogene Bruchstelle (siehe **Abb. 5 und 6**), mitunter finden sich auch auffällig glatte Bereiche in der Bruchfläche. Typisch für Risse durch Vulkanisationsfehler ist auch ein gerundeter Übergang von der Oberfläche zum Riss (siehe **Abb. 7**) im Vergleich zu einem Schadensfall durch Schnittverletzung.



Abb. 1: Risse eines FKM O-Rings durch Übervulkanisation nach einer Druckverformungsprüfung von 168h / 200°C



Abb. 2: Riss aufgrund eines Vulkanisationsfehlers, erkennbar am parabelförmigen Rissverlauf symmetrisch zur Formtrenneben

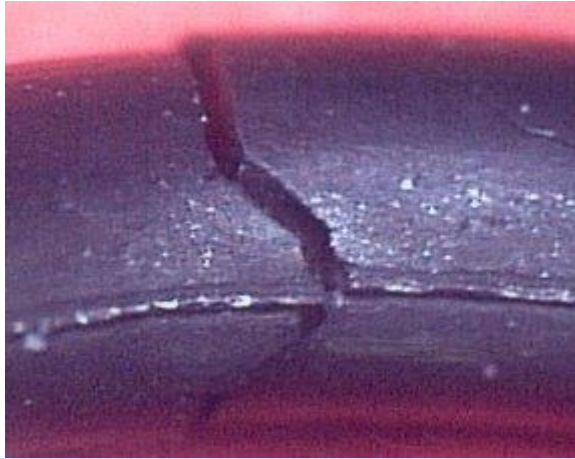


Abb. 3: Herstellungsbedingter Riss, parabelförmig und symmetrisch zur Formtrennebene

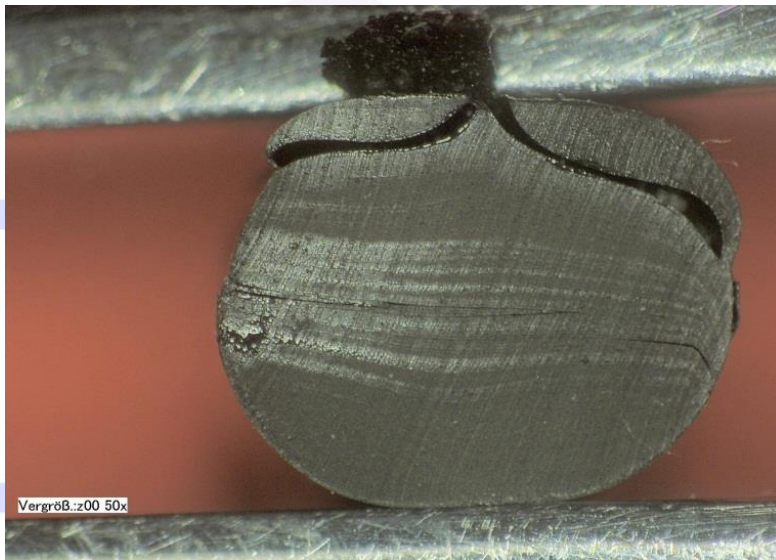


Abb. 4: Risse wegen einer überlagerten Elastomermischung



Abb. 5: Gerissener O-Ring, ausgelöst durch einen Vulkanisationsfehler



Abb. 6: Gerissener O-Ring wegen eines Vulkanisationsfehlers: Inhomogene, zerklüftete Bruchfläche



Abb. 7: Herstellungsbedingter Vulkanisationsfehler: Gerundeter Rissübergang (gleicher O-Ring wie in Abb. 4)

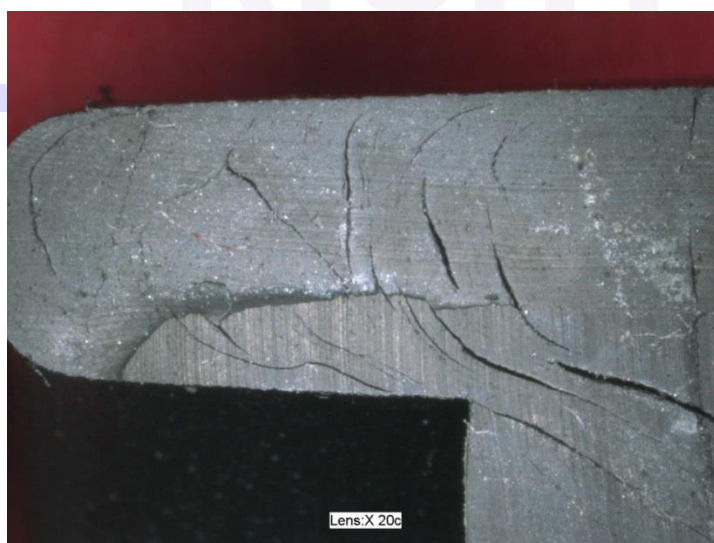


Abb. 8: Herstellungsbedingte Risse aufgrund einer überlagerten Mischung

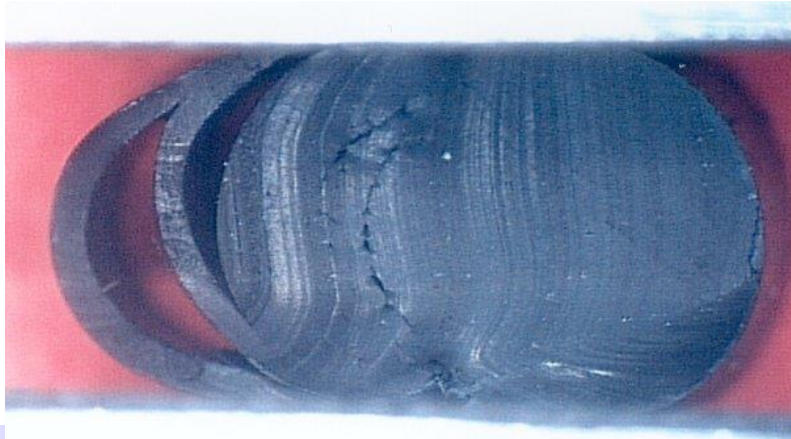


Abb. 9: Risse bzw. Abschälungen an einem O-Ring durch fehlerhafte Vulkanisation (Ursache: Überlagerte Mischung)

3.1.2 Schadensbild „Risse aufgrund von Verunreinigungen“

Werden an einer gerissenen Dichtung im Bereich der Bruchfläche mit Hilfe des Mikroskops Fremdpartikel festgestellt, so können diese als Auslöser für den Riss verantwortlich sein. (siehe **Abb. 10 und 11**). Um das Fremdmaterial tiefergehender zu analysieren, stehen heute das FT-IR Mikroskop und/oder die REM-EDX Analyse zur Verfügung.

Die Bruchfläche lässt deutlich den Bereich der Verschmutzung erkennen, an dem eine mangelhafte Vulkanisation stattgefunden hat, und den Bereich der Rissfortpflanzung (regelmäßige, leicht aufgeraute Struktur, spannungsgetriebene, das heißt in der Regel radial verlaufende Rissfortpflanzung).

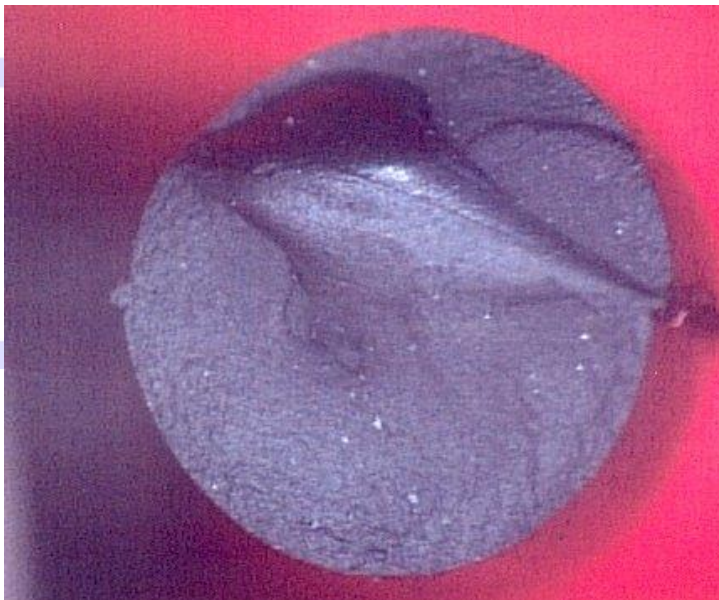


Abb. 10: Herstellungsbedingter Riss aufgrund von Fremdmaterial (Formtrennmittel)



Abb. 11: Riss, ausgelöst durch Fremdmaterialeintrag

3.1.3 Schadensbild „Schrumpfrisse“

Diese Art von Rissen beginnt im Bereich der Trennebene (siehe **Abb. 12 und 13**). Oft ist im Querschnitt eines O-Ringes eine umlaufende Einzugsstelle mit einem weiten „U“- oder „W“-förmigen Querschnitt (siehe **Abb. 14**) zu erkennen. Die Einzugsstelle ist eine flache, tellerförmige Vertiefung, manchmal dreieckig im Schnitt an der Trennfuge am Innen- und/oder Außendurchmesser. Verursacht wird dies durch Beschädigungen der Werkzeugkante und/oder den hohen Schwundfaktor von Gummi.

Dieser Risstypus ist bis zu einer gewissen Ausprägung bei O-Ringen erlaubt, siehe Sortenmerkmale N und S nach ISO 3601-3. Die hier gezeigten Ausprägungen sind unzulässig und können zu Leckagen führen. Allerdings führen diese Schrumpfrisse nicht zu einem plötzlichen Systemausfall und können in ihrer Auswirkung durch Dichtheitsprüfungen abgeschätzt werden.



Abb. 12: Schrumpfriss an einem O-Ring

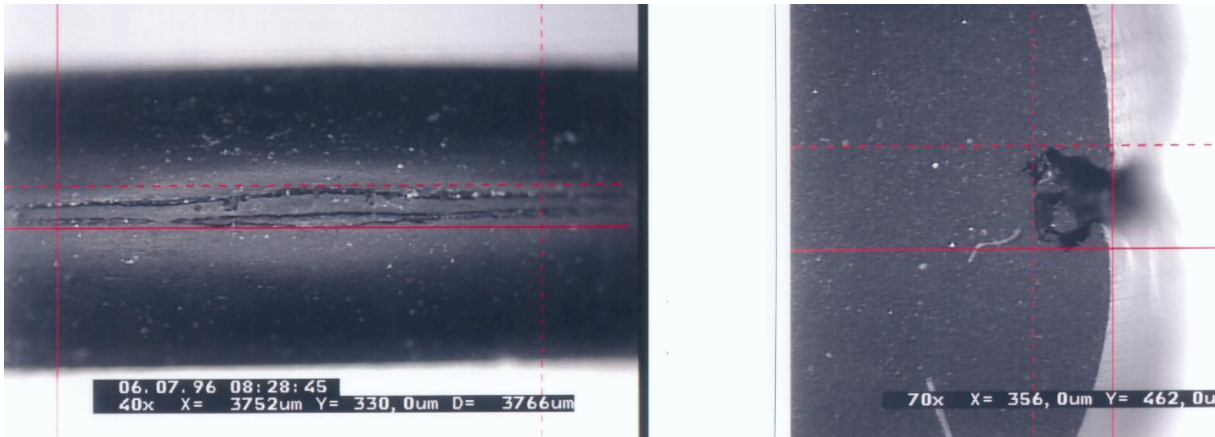


Abb. 13 und 14: Schrupfrisse an der Werkzeugtrennebene eines O-Rings und rechts in einem aufgeschnittenen O-Ring

3.1.4 Schadensbild „Entformungsrisse“

Diese entstehen häufig an scharfkantigen Übergängen, Kanten (siehe **Abb. 15**) oder Hinterschneidungen (siehe **Abb. 16**). Außerdem kann eine zu hohe Entformungstemperatur diese begünstigen.

Da es sich hier um Gewaltbrüche handelt und die Rissbildung und Fortpflanzung bei hohen Temperaturen erfolgt, ist die Bruchfläche meist relativ glatt.

Entformungsrisse gehen aus von der Trennebene oder einer anderen Werkzeugkante und pflanzen sich dann senkrecht zur Entformungsbeanspruchung fort. Das Gefährliche an diesen Rissen ist, dass diese unter einer spannungsfreien Sichtprüfung in der Regel nicht entdeckt werden können. Kleine Anrisse führen auch noch nicht sofort zu einer Leckage. Die Leckage tritt erst dann ein, wenn sich ein Anriss unter betriebsbedingter Temperatur- und Druckeinwirkung zu einem Durchriss fortgepflanzt hat. Das kann dann erst nach über 100 Betriebsstunden oder mehr der Fall sein.



Abb. 15: Entformungsrisse an einer Formdichtung



Abb. 16: Entformungsrisse an einem Dichtelement

3.1.5 Schadensbild „Risse durch Nachbearbeitungsschritte“

Bei diesem Schadensbild zeigen sich Beschädigungen bzw. Risse im Bereich der nachbearbeiteten Fläche (siehe **Abb. 17 und 18**). Ist das Bearbeitungsverfahren und -werkzeug bekannt, ist die Schadensursache noch sicherer zu bestimmen.

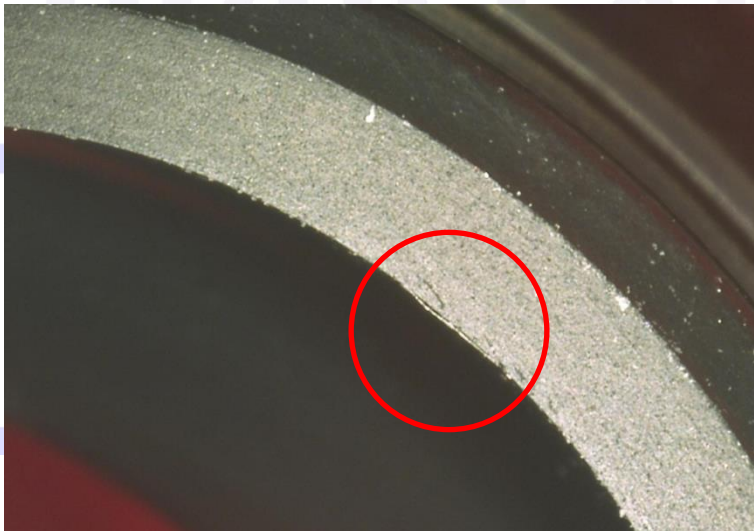


Abb. 17: Einriss entstanden durch den Nachbearbeitungsschritt „Abstechen der Dichtkante“



Abb. 18: Risse entstanden durch den Nacharbeitsschritt „Tempern“ (Örtliche Überhitzung durch defekten oder falsch eingestellten Temperofen)

3.2 Auswirkungen des Schadens

Der Durchriss einer Dichtung führt in der Regel zu einem Totalausfall des Systems und ist ein absolut zu vermeidender Fehler.

Bei Anrissen oder kleinen Rissen kann das Dichtsystem zwar noch funktionieren, aber es besteht die Gefahr, dass bereits die für O-Ringe oder auch für viele anderen Elastomerdichtungen typische Walkarbeit infolge von Druck- und Temperaturbeanspruchung ausreicht, dass sich der Riss fortpflanzt. Mit zunehmenden Temperaturen wird das Widerstandsvermögen des Elastomers gegen Rissfortpflanzung zunehmend geringer.

3.3 Abgrenzung zu ähnlichen Schadensbildern

Weil Risse durch eine Vielzahl anderer Ursachen ausgelöst werden können und da sie oft zu einem Totalausfall der Dichtung führen, ist eine genaue Abgrenzung zu ähnlichen Schadensbildern sehr wichtig.

3.3.1 Abgrenzung zu Ozonrissen

Ozonrisse können nur an Elastomeren auftreten, die in der Hauptkette eine Doppelbindung aufweisen (Dienkautschuke). Dieser Kautschuktyp ist am „R“ in der Kurzbezeichnung zu erkennen (z.B. NBR, SBR usw.). Eine Ausnahme bildet hier ein vollhydrierter HNBR, der relativ gut ozonbeständig ist.

Damit Ozonrisse entstehen können, muss die Dichtung gedehnt sein (siehe **Abb. 19**). Es genügen bereits kleine Dehnungen von 5%. Mit zunehmender Dehnung nimmt auch die Anzahl der Risse zu.

Ozonrisse sind meist sehr tief und sind immer senkrecht zur Richtung der Spannung orientiert.

Zur Entstehung von Ozonrissen ist keine erhöhte Ozonkonzentration notwendig, bereits das in der Umgebungsluft vorhandene Ozon reicht aus diesen Schaden auszulösen.



Abb. 19: Vormontierter O-Ring, der durch die Vorspannung und Ozon aus der Umgebungsluft nach mehreren Wochen Ozonrisse aufwies

3.3.2 Abgrenzung zu Ermüdungsrissen

Ermüdungsrisse (siehe **Abb. 20**) besitzen eine große Ähnlichkeit mit Ozonrissen. Eine klare Abgrenzung ist meist nur möglich, wenn man die Beanspruchung kennt, die zu diesem Schaden geführt hat. Ist eine ausgefallene Dichtung nicht aus einem Dienkautschuk hergestellt worden (z.B. FKM), weist aber ozonrissähnliche Schäden auf, ist hier ein sofortiger Ausschluss von Ozonrissen als Schadensursache möglich.



Abb. 20: Ermüdungsrisse an einer FKM-Membran

3.3.3 Abgrenzung zu Rissen infolge Alterung durch Wärme und Sauerstoff

„Bei einer thermischen Überbeanspruchung über lange Zeiten hinweg versprödet der O-Ring bzw. die Dichtung über den ganzen Querschnitt (siehe **Abb. 21**). Beim Biegen zeigen sich die Risse bevorzugt zur Luftseite hin oder an den Dichtflächen, an welchen die Wärmezufuhr erfolgte (siehe **Abb. 22**).

Kurzzeitige starke Überhitzungen führen zu tiefen feinen Rissen (Schalenbildung bzw. Versprödung nur im Randbereich), die sich erst beim Ziehen oder Biegen der Dichtungen zeigen, ohne dass die Dichtung insgesamt versprödet. Durch die zeitlich kurze Belastung und

die isolierende Wirkung des Gummimaterials kann die zu hohe Temperatur die inneren Bereiche noch nicht sichtbar schädigen.“⁸

An den Laufflächen von Radialwellendichtringen werden in der Literatur diese Risse auch als „Härterisse“⁹ beschrieben.



Abb. 21: Thermisch geschädigter O-Ring, komplett durchgehärtet, beim Biegen Risse an den Anlageflächen sichtbar



Abb. 22: Risse infolge Alterung durch Wärme und Sauerstoff unter leichter Dehnung an der Anlagefläche eines O-Rings erkennbar

⁸ RICHTER, B. und BLOBNER, U.: Fachwissen Schadensanalyse von Elastomerbauteilen: Thermische Überbeanspruchung „Überhitzung“, 05/2017, Internetpublikation, S. 3

(http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_schaden_ueberhitzung_05_2017.pdf)

⁹ FACHVERBAND FLUIDTECHNIK im VDMA: Dichtsysteme für fluidtechnische Anwendungen – Schadensatlas CD-ROM, März 2005, S.137

3.3.4 Abgrenzung zu Montagerissen bzw. fehlerhafter Dichtungsanwendung

Bei Montagerissen handelt es sich meist um Gewaltbrüche, die eine regelmäßige, eher leicht raue Bruchfläche aufweisen, der Grad der Rauheit hängt auch vom Weiterreißwiderstand des Werkstoffes ab (siehe **Abb. 23**). Herstellungsbedingte Brüche zeigen inhomogene, häufig auch reliefartig erhabene Bereiche in der Bruchfläche. Der Rissausgang bei Montagerissen lässt einen auffällig geradlinigen Beginn erkennen (siehe **Abb. 24 und 25**), auch zeigt sich bei Beschädigungen durch scharfkantige Einbauräume kein gerundeter Übergang von der Oberfläche in den Riss, bei leicht gerundeten Kanten zeigt sich ein Abdruck und/oder eine leichte plastische Verformung.

Montagebedingte Risse zeigen typische belastungsbedingte Rissverläufe, welche sich aus dem Einbauraum und dem Montageablauf erklären lassen.

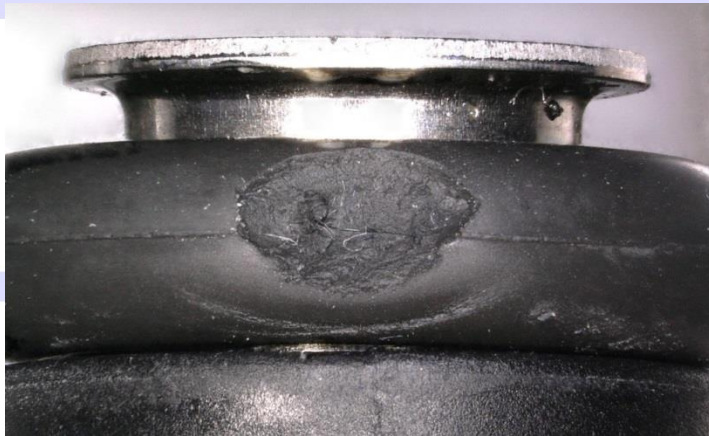


Abb. 23: Ausbruch durch die Montage: Durch Entstehung des Schadens bei Raumtemperatur kam es zu einer nicht glatten Bruchfläche, die Ausprägung der Bruchfläche ist auch stark abhängig vom Weiterreißwiderstand eines Werkstoffes



Abb. 24: Montagededingter Riss durch das Einwirken einer scharfen Kante im Einbauraum

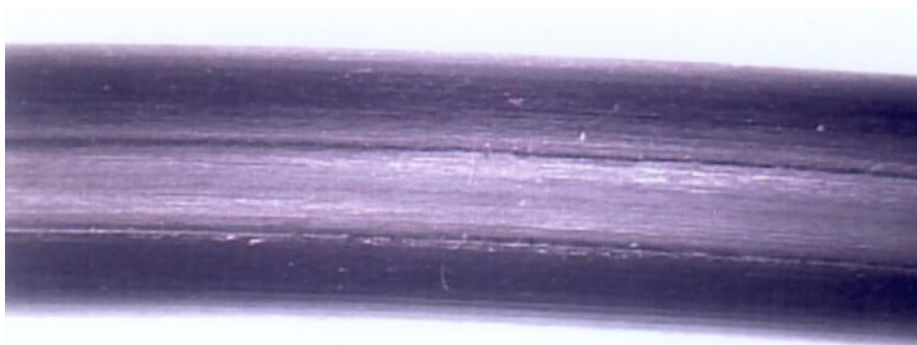


Abb. 25: Riss, entstanden durch eine scharfe Kante beim Einbau

3.3.5 Abgrenzung zu Rissen aufgrund von chemischem Angriff

Bei einem chemischen Angriff können Risse auftreten, müssen es aber nicht. Die Risse sind auf der Seite des angreifenden Mediums und manchmal auch erst unter Dehnung und unter dem Mikroskop erkennbar. Treten Begleiterscheinungen wie starkes Setzverhalten, klebrige Oberfläche oder eine Verhärtung auf, nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um einen chemischen Angriff handelt, stark zu. Chemisch bedingte Risse treten in der Regel aber erst nach eher langen Betriebszeiten auf (>1000 Betriebsstunden), die Risse überdecken größere Bereiche (siehe **Abb. 26**), während bei der herstellungsbedingten Rissen der Ausfall bereits nach kurzer Zeit auftritt (meistens unter 100 Betriebsstunden) und die Risse nur partiell an der Oberfläche zu finden sind.

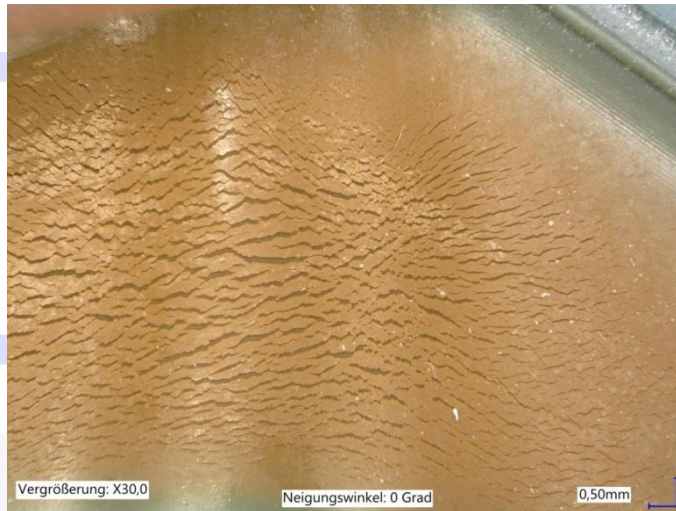


Abb. 26: Chem. Angriff einer FVMQ-Membrane: Die Risse erstrecken sich über eine größere Fläche

4. Präventionsmaßnahmen

Der Herstellungsprozess eines Gummitelles ist sehr komplex und erfordert daher seitens des Verarbeiters ausreichend Kompetenz und Sorgfalt. Dies kann die untenstehende Aufstellung aufzeigen. Das heißt, der Einkauf einer hochbeanspruchten Dichtung bedeutet immer einen Vertrauensvorschuss an den Lieferanten. Daher macht es als Anwender Sinn, sich beim Lieferanten selbst ein Bild von dessen Möglichkeiten zu machen. Fällt dann das Urteil positiv aus, sollten noch angemessene Wareneingangsprüfungen bezüglich Form- und Oberflächenfehler der eingesetzten Dichtungen definiert werden.

4.1 Voraussetzungen für eine rissfreie Herstellung von Dichtungen

4.1.1 Elastormischung

Für die Elastormischung muss eine konstante Lagertemperatur über die komplette Lieferkette sichergestellt werden. Dies gilt insbesondere bei scorchanfälligen Elastormischungen.

Außerdem ist es wichtig, dass die verwendete Elastormischungen auch für das geplante Produktionsverfahren geeignet ist. Es muss darauf hingewiesen werden, dass nicht jede Mischung im Spritzgussverfahren verarbeitet werden kann. Besonders bei speziellen Herstell-

lungsvarianten (Kaltkanal-Spritzguss, Spritzprägen) ist die Eignung der jeweiligen Mischungstypen hinsichtlich Viskosität/Verarbeitbarkeit und Entformungseigenschaften zu hinterfragen.

Ferner empfiehlt es sich Mischungen einzusetzen, welche die Werkstoffverschmutzung gering halten, um so den Reinigungsaufwand und das Risiko von rissauslösenden Verschmutzungen zu reduzieren.

Werden die Mischungen nicht direkt vom Dichtungshersteller produziert, sondern von einem externen Compoundeur bezogen, empfiehlt es sich bei der Wareneingangsprüfung bzw. vor der Verarbeitung der Mischung eine Rheometerkurve zu fahren und diese mit dem Lieferzeugnis des Mischungslieferanten zu vergleichen.

4.1.2 Spritzgussverfahren

Werkzeugdesign

Wo immer möglich, sollten scharfkantige Bereiche und Hinterschneidungen im Bauteil entschärft werden. Außerdem muss auf hinreichend große und richtig positionierte Entlüftung der Kavitäten geachtet werden. Schließlich ist eine verfahrensgerechte Auslegung der Fließkanäle und Anschnittbereiche von Bedeutung. Insbesondere bei teuren Spezialmischungen haben die Dichtungshersteller ein Interesse daran, diese Bereiche so materialsparend wie möglich auszulegen. Dies kann durch Scherkräfte generierte, unzulässige Temperaturspitzen im Material sowie einen – zu Lasten der Prozesssicherheit gehenden – erhöhten Druckverbrauch der Spritzgussmaschine zur Folge haben.

Formgebungsprozess

Die wichtigste Voraussetzung für eine fehlerfreie Herstellung von Gummitteilen ist die vollständige und zuverlässige Füllung der einzelnen Kavitäten innerhalb der Inkubationszeit der zu verarbeitenden Gummimischung. Je geringer die Inkubationszeit der verwendeten Mischung (Mischungen mit geringer Inkubationszeit werden auch als „schnelle“ Mischungen bezeichnet) desto anspruchsvoller ist die Ermittlung der perfekten Verarbeitungsparameter. Die wesentlichen Parameter, die bei der Einstellung einer Spritzgussmaschine im Elastomerbereich eine Rolle spielen, sollen im Folgenden kurz diskutiert werden:

Zylindertemperatur / Schneckendrehzahl

Durch diese Parameter kann die Massetemperatur der Gummimischung beim Eintritt in das Werkzeug beeinflusst werden. Hohe Zylindertemperaturen sowie eine hohe Schneckendrehzahl (entspricht hohen Scherkräften) führen dabei zu einer erhöhten Massetemperatur. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine hohe Massetemperatur zwar die Viskosität der Mischung reduziert und dadurch den Einspritzvorgang erleichtert, gleichzeitig jedoch das Risiko einer unerwünschten vorzeitigen Vulkanisierung (sowohl im Zylinder als auch beim Einspritzvorgang im Werkzeug) erhöht. Eine höhere Massetemperatur reduziert weiterhin die Zykluszeiten bei gleichbleibender Werkzeugtemperatur.

Werkzeugtemperatur

Eine höhere Werkzeugtemperatur verkürzt die Zykluszeit und reduziert damit die Herstellungskosten. Gleichzeitig reduziert eine höhere Werkzeugtemperatur jedoch die Zeit, welche zum Befüllen der Kavitäten zur Verfügung steht. Außerdem kann eine hohe Werkzeugtemperatur die Entstehung von Ablagerungen im Werkzeug begünstigen (Formverschmutzung). Da nahezu alle Gummimischungen eine geringe Heißeinreißfestigkeit haben, steigt das Risiko von Beschädigungen während der Entformung proportional zur Werkzeugtemperatur. Je höher diese also gewählt wird, desto enger wird das zur Verfügung stehende Prozessfenster und desto anspruchsvoller ist die Ermittlung perfekter Maschinenparameter. Allerdings ist eine Absenkung der Werkzeugtemperatur immer nur in einem gewissen Rahmen möglich und wird durch wirtschaftliche (Zykluszeit) sowie physikalische (Vernetzungsgrad) Aspekte begrenzt.

Einspritzzeit

Die Einspritzzeit beschreibt die Zeit zwischen dem Eintritt der Gummimischung ins Werkzeug und dem Umschalten auf die nachfolgende Phase (Umschaltung von weggesteuertem Einspritzen zu druckgesteuertem Einspritzen, gewöhnlich bei einem Füllungsgrad von ca. 99%). Sie wird durch die Auswahl einer bestimmten Einspritzgeschwindigkeit (Vorschub der Schnecke im Spritzzylinder) sowie das Werkzeugdesign (Fließwege, Kavitätenanzahl etc.) definiert und muss – um eine fehlerfreie Herstellung der Gummiteile sicherzustellen – geringer sein als die Inkubationszeit des zu verarbeitenden Materials. Eine bei jedem Schuss konstante Einspritzzeit ist dabei ein Indikator für gleichbleibende Bedingungen beim Einspritzvorgang und somit auch ein Indikator für eine gleichbleibende Teilequalität. Um eine konstante Einspritzzeit zu gewährleisten, muss die Spritzgussmaschine beim Einspritzvorgang immer über eine Druckreserve verfügen, um im Falle von leichten Schwankungen der Gummimischung nachregeln zu können. Die Viskosität der Gummimischung ist beim Austritt aus dem Zylinder immer gewissen Schwankungen unterworfen, ausgelöst durch Schwankungen beim Einzug des Mischungsbandes in den Spritzzylinder oder lokale Mischungsschwankungen durch ungleichmäßige Verteilung der Mischungsbestandteile.

4.1.3 Bauteilkonstruktion

Bereits im Vorfeld lassen sich durch eine gummigerechte Bauteilkonstruktion Fertigungsprobleme reduzieren bzw. vermeiden. So sollten bspw. Kanten an der Formdichtung, an welchen es regelmäßig zu Entformungsrissen kommen kann, konstruktiv entschärft werden (z.B. durch Radius, Vermeidung von Hinterschneidungen).

4.1.4 Visuelle Kontrolle

Lässt sich trotz aller oben beschriebenen Maßnahmen keine rissfreie Fertigung garantieren, ist eine visuelle 100% Kontrolle notwendig. Meist genügt schon ein Standardprüfautomat. Sind die Risse jedoch nur unter Dehnung zu erkennen, werden Sonderprüfmaschinen notwendig, welche die Dichtungen vor der visuellen Kontrolle leicht dehnen¹⁰ oder quetschen¹¹.

¹⁰ MIHO Inspektionssysteme (<http://miho-seculo.de/pages/verfahren.html>) Webseite abgerufen am 28.09.2017

¹¹ Patentiertes Verfahren der Firma DOSS (IT): <http://www.dossvisualsolution.com/products/visual-inspection->

4. Praxistipps (Prüfmöglichkeiten / Normempfehlungen)

Generell sind Risse nicht zulässig, da auch leichte Anrisse zu einem Dichtungsausfall führen können.

Wenn in einem Lieferlos ein Riss entdeckt wird, sollte das ganze Lieferlos überprüft werden. Zur besseren Erkennung von Rissen in der Wareneingangsprüfung sollten Dichtungen manuell leicht gedehnt werden (10-30%) und unter einer gut beleuchteten Lupe mit 2-4-facher Vergrößerung begutachtet werden. Für kritische Serienteile ist auch eine automatisierte visuelle Prüfung unter Verformung möglich.

5. Sonstiges

Dieser Artikel erscheint in einer Kurzfassung in der Zeitschrift DICHT!, Ausgabe 04/2017.

O RING

PRÜFLABOR

RICHTER

machines/o-ring/squeezer_10.html Webseite abgerufen am 28.09.2017

O-Ring Prüflabor Richter GmbH
Kleinbottwarer Str. 1
71723 Großbottwar

Telefon 07148 / 16602-0
Fax 07148 / 16602-299
info@o-ring-prueflabor.de
www.o-ring-prueflabor.de

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Bernhard Richter
Ust-ID-Nr. DE 277600966
Steuer-Nr. 71342/02407 FA LB

Sitz der Gesellschaft:
Großbottwar
Amtsgericht Stuttgart
HRB 737482

Volksbank Ludwigsburg
IBAN DE96 6049 0150 0820 5810 03
SWIFT GENODES1LBG