

## **Mehr Sicherheit beim Einsatz von O-Ringen**

**Dipl.-Ing. Bernhard Richter**

**O-Ring Prüflabor Richter Großbottwar**

O-Ringe bieten viele Vorteile, wenn diese richtig eingesetzt werden. Die wichtigsten Vorteile sind ein hohes Maß an Dichtheit auch bei geringen Verformungskräften, geringer Platzbedarf, einfache Montage und ein geringer Preis. Die wichtigsten Voraussetzungen für ein hohes Maß an Sicherheit gegen Ausfälle und für eine hohe Lebensdauer kann der Anwender durch eine solide konstruktive Auslegung, durch eine Spezifizierung wichtiger Werkstoffeigenschaften und durch die effektive Überwachung funktionskritischer Merkmale in der Serie schaffen.

Dieser Aufsatz gibt hierzu einige wertvolle Hinweise insbesondere im Hinblick auf die Werkstoffeigenschaften und zeigt, welche Einflußfaktoren beim Einsatz von O-Ringen aus NBR-, EPDM-, FKM- und FFKM-Elastomeren entscheidend sind für eine sichere und lange Dichtfunktion.

### **Der O-Ring als aktives Dichtelement**

O-Ringe benötigen zur Erzielung ihrer Dichtfunktion ein gewisses Maß an Querschnittsverformung. Dieses umschließt toleranzbedingt für statische Anwendungen einen Bereich von ca 15-30 % für kleine und 10 bis 24 % für große Schnurstärken, siehe auch Bild 1 [ 1 ].

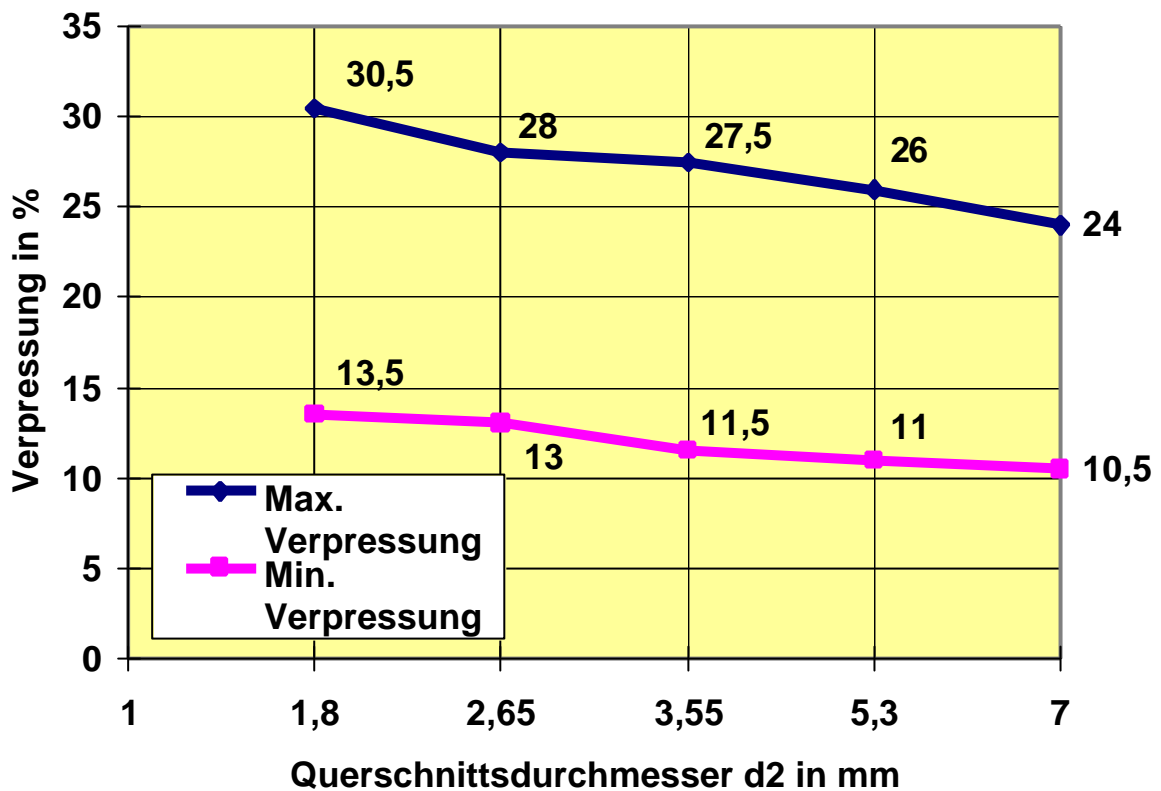


Bild 1 zeigt Werte für die O-Ring-Verpressung für den statischen Einsatz und einer radialen Verformung, außendichtend, unter Einhaltung der Einbauempfehlungen nach DIN 3771 Teil 5

Die Schnurstärken der O-Ring Norm DIN 3771 Teil 1 (1,80; 2,65; 3,55; 5,30; 7,00) sind abgeleitet aus der amerikanischen O-Ring Norm AS 568A (1,78; 2,62; 3,53; 5,33; 6,99;). Die Abmessungen nach der amerikanischen Norm sind weltweit in unterschiedlichsten Werkstoffen verfügbar und daher den exakten Abmessungen aus der DIN 3771 Teil 1 vorzuziehen, die sich im Innendurchmesser zum Teil erheblich von der AS 568 A unterscheiden.

Ein um ca 20 % verformter O-Ring aus einem Werkstoff mittlerer Härte (70-80 IRHD) erzeugt eine maximale Flächenpressung von ca 1-2 MPa [ 2 ] . Dabei tritt das Maximum der Flächenpressung in der Mitte der Berührungsbreite auf. Je härter der Werkstoff ist, desto größer ist die erzeugte Flächenpressung, die bei größer werdenden Quer-

schnittsverformungen progressiv zunimmt. Da Elastomere annähernd inkompressibel sind, reagiert ein O-Ring unter der Einwirkung von Drücken wie eine Newtonsche Flüssigkeit und gibt damit den Systemdruck in Form einer erhöhten Dichtflächenpressung weiter. Das Maximum der Flächenpressung ergibt sich dann aus einer Überlagerung der durch die Verformung eingeleiteten Druckspannung an den Berührungsflächen und dem Systemdruck. Diese Eigenschaft macht O-Ring-Abdichtungen sehr sicher in Bezug auf unvorhergesehene Druckspitzen, man bezeichnet die O-Ring-Abdichtung daher als „aktive“ Dichtung, wobei die aktivierende Wirkung vom Systemdruck ausgeht.

Bei der konstruktiven Auslegung von O-Ring Dichtungen sollten folgende Punkte besondere Beachtung finden, dort werden erfahrungsgemäß immer wieder Fehler gemacht:

- ausreichende Verpressungen des O-Ring Querschnitts sicherstellen: bei maximal möglichen Exzentrizitäten der abzudichtenden Bauteile sollte auch bei ungünstigsten Toleranzlagen eine minimale Verpressung des O-Ringes von 6% sichergestellt sein. Zur Auslegung können verschiedene PC-Programme von O-Ring-Lieferanten herangezogen werden [ 3,4 ].
- scharfe Kanten vermeiden, insbesondere müssen scharfkantige Nutausführungen verhindert werden, ein Kantenradius von 0,1-0,3 mm ist in der Regel ausreichend.
- montagegerecht konstruieren heißt, Einführschrägen (15-20°) vorsehen und Bohrungen, die von O-Ringen überfahren werden, und sei es nur bei der Montage, entgraten.

### **Einflußfaktor Werkstoff**

Technische Gummiwerkstoffe sind rezepturartig aufgebaut, Tabelle 1, wobei das Polymer selbst bezüglich der chemischen Beständigkeit das schwächste Glied in der Kette der verschiedenen Mischungsbestandteile gegenüber den abzudichtenden Medien darstellt.

Mischungsbestandteile	Gewichtsteile
Kautschuk	100,0
Füllstoffe	50,0
Weichmacher	15,0
Verarbeitungshilfsmittel	3,0
Alterungsschutzmittel	2,0

Schwefel	1,0
Beschleuniger	2,0
Stearinsäure	1,0
Zinkoxid	5,0
Verzögerer	0,2
gesamt	179,2

Tabelle 1: Beispiel einer verallgemeinerten Mischungsrezeptur [ 5 ]

Daher beschränkt sich die Auswahl des richtigen Dichtungswerkstoffes häufig ausschließlich auf die Wahl der Polymerbasis. Allerdings können in der Praxis dann noch andere rezepturbedingte Einflüsse von entscheidender Bedeutung sein, wie z. B. die Art der Vernetzung, die Menge der eingesetzten Weichmacher und die Art der Füllstoffe. Die Polymerverträglichkeit allein ist also noch kein Garant für ein sicheres Dichten, aber sie ist eine wichtige Voraussetzung. Tabelle 2 zeigt die wichtigsten Polymere für O-Ring-Werkstoffe und typische Temperaturbereiche für gute Standard-Werkstoffe.

Polymerbezeichnung Chemischer Name	Kurzzeichen DIN/ISO 1629	verbreitete Handelsbezeichnungen (Kautschuk)	Temperaturbereich von hochwertigen Standard-Werkstoffen (rezepturabhängig) statischer Einsatz
Chloropren-Kautschuk	CR	Neoprene <sup>®</sup> (DuPont)	-40°C bis +100 ° C
Nitril-Butadien-Kautschuk	NBR	Perbunan <sup>®</sup> (Bayer AG)	-35 ° C bis + 100 ° C
Hydrierter Nitril-Butadien-Kautschuk	HNBR	Therban <sup>®</sup> (Bayer AG)	-35° C bis + 150 ° C
Äthylen-Propylen-Dien-Kautschuk	EPDM		-45° C bis + 150 ° C
Fluorkautschuk	FKM	Viton <sup>®</sup> (DuPont)	-30 ° C bis + 200 ° C
Perfluorkautschuk	FFKM	Kalrez <sup>®</sup> (DuPont)	-15°C bis max. 300°C

Tabelle 2 zeigt die wichtigsten Kautschuk-Arten für O-Ringe , Handelsbezeichnungen und Temperaturbereiche (rezepturabhängig)

Die chemische Einwirkung auf ein Polymer verändert dessen Struktur, d. h., es kann zu weiteren Vernetzungen oder zum Abbau kommen. Dabei ändern sich die physikalischen Eigenschaften wesentlich, d. h., der Werkstoff versprödet und bekommt Risse, oder er wird kaugummiartig weich und klebrig. Chemische Einwirkungen sind irreversibel und sind daher durch eine sorgfältige Werkstoffauswahl auszuschließen. Das heißt, daß eine gründliche Werkstoffauswahl die Polymerverträglichkeitsprüfung mit allen Gemischanteilen mit einschließen muß.

Beispiele für chemische Unverträglichkeiten aus aufgetretenen Schadensfällen sind:

- FKM in Gemischen mit Aminen
- FKM in Rohöl bei 180 °C
- FKM in starken Laugen
- VMQ oder FKM in Heißwasser/Dampf über 150°C

Neben einer möglichen chemischen Einwirkung auf das Polymer ist eine unzulässige Volumenänderung der O-Ringe durch die Wechselwirkung mit den umgebenden Medien (Quellung oder Schrumpfung) auszuschließen.

Die Volumenänderung ist eine Folge einer physikalischen Einwirkung, bei der zwei Vorgänge gleichzeitig ablaufen:

1. Das Polymer absorbiert das abzudichtende Medium, was zu einer Volumenzunahme führt. Diese Volumenzunahme kann weit über 100 % betragen.
2. Das abzudichtende Medium löst die extrahierbaren Mischungsbestandteile aus der Dichtung heraus, wie zum Beispiel Weichmacher, Verarbeitungshilfsmittel oder Alterungsschutzmittel. Der Anteil extrahierbarer Bestandteile in Gummimischungen kann bis zu 30 % bezogen auf das Volumen betragen.

Überwiegt die Absorption, so erhöht sich dadurch etwas die Dichtkraft und die Kälteflexibilität verbessert sich. Standard O-Ring Einbaunuten berücksichtigen mögliche Volumenquellungen von mindestens 15 %, in der Regel gelten für ruhende Abdichtungen bis zu 30 % Volumenzunahmen als unkritisch. Viel empfindlicher reagieren O-Ring Dichtungen gegenüber Volumenabnahmen. Diese führen zu einem erheblichen Verlust der durch die Verformung des O-Ringes eingeleiteten Dichtkraft. Daher ist darauf zu achten, Dichtungswerkstoffe mit möglichst geringen Anteilen extrahierbarer Bestandteile einzu-

setzen, auf keinen Fall sollte dieser Anteil größer als 10 % (Vol) betragen. Der extrahierbare Anteil kann durch eine Kraftstoff- oder Aceton-Lagerung (oder einem Gemisch) und anschließender Rücktrocknung ausreichend genau bestimmt werden.

Neben der möglichen chemischen oder physikalischen Einwirkung ist auch die Betriebstemperatur ein wichtiges Auswahlkriterium bei der Werkstoffauswahl. Bei einer thermischen Einwirkung auf den O-Ring ergeben sich für das Dichtverhalten zwei wesentliche Auswirkungen:

1. eine bleibende Verformung, d.h., die durch die Querschnittsverformung des O-Ringes erzeugte Flächenpressung läßt nach,
2. eine Alterung, d.h., die elastischen Eigenschaften verändern sich, in der Regel führt dies zu einer Härtezunahme und zu einem Verlust der elastischen Eigenschaften.

Ein O-Ring erzeugt seine anfängliche Dichtflächenpressung allein aus der Verformung des Querschnitts. Durch eine Druckbeaufschlagung wird die Flächenpressung wesentlich erhöht. Der kritische Betriebszustand von O-Ring-Dichtungen ist daher der Niederdruckbereich (<10 bar), wo die Dichtkraft durch die elastischen Eigenschaften des O-Ring-Werkstoffes erzeugt wird. Unter der Einwirkung von Hitze kann die Dichtwirkung des Werkstoffes sehr schnell nachlassen, ohne daß die polymertypische Temperaturgrenze überschritten werden muß. Unterschiede bezüglich dieser für O-Ringe wichtigen Funktionseigenschaft können durch Druckverformungsrestprüfungen [ 6 ] an O-Ringen

festgestellt werden.

$$\text{DVR in \%} = \frac{h_0 - h_2}{h_0 - h_1} \times 100$$

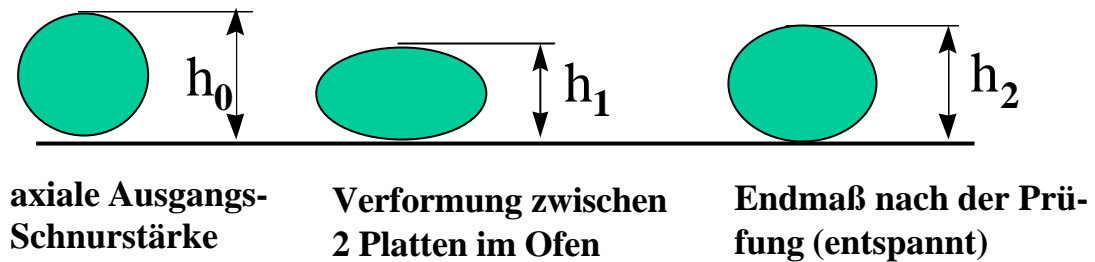


Bild 2 zeigt, wie an O-Ringen beziehungsweise an O-Ring-Abschnitten der Druckverformungsrest ermittelt wird

Ein Druckverformungsrest (DVR) von 100 % heißt, daß keine Rückstellkraft mehr vorhanden ist, ein Wert von 0 % stellt den idealen Zustand dar. DVR-Werte beziehen sich immer auf bestimmte Prüfzeiten und Prüftemperaturen. Zu beachten ist, daß prinzipiell unterschieden werden muß zwischen den DVR-Werten, die auf technischen Datenblättern von Gummi-Werkstoffen (Compounds) angegeben sind und den effektiven DVR-Werten, die sich an den unter Serienbedingungen hergestellten O-Ringen ergeben. Datenblatt-Werte des Druckverformungsrestes werden im Allgemeinen an genormten Probekörpern ermittelt, die unter idealen Vulkanisationsbedingungen hergestellt wurden. Die Vulkanisationsbedingungen von O-Ringen, die unter Serienbedingungen gefertigt werden, können davon erheblich abweichen, zudem hat auch die Form und die Dicke des Prüflings einen Einfluß auf die Höhe des gemessenen Druckverformungsrestwertes. Somit gibt es oft erhebliche Abweichungen innerhalb des gleichen Dichtungswerkstoffes, das heißt der gleichen Rezeptur, zwischen Datenblatt-Werten und den Ergebnissen, die an O-Ringen ermittelt werden.

Die Abhängigkeit des Druckverformungsrestes an O-Ringen, sozusagen die Funktionsqualität, läßt sich wie folgt darstellen :

Funktionsqualität (DVR) = Rezepturqualität x Verarbeitungsqualität

Die multiplikative Verknüpfung bedeutet, daß eine hohe Rezepturqualität wirkungslos bleibt, wenn ein O-Ring bei der Herstellung nicht unter den richtigen Bedingungen vulkanisiert wird. Die Rezepturqualität eines Werkstoffes wird über Normprobekörper ermittelt, die teilweise bis zu 20 Minuten lang vulkanisiert werden, O-Ringe dagegen werden unter Serienbedingungen oft nur 30 Sekunden vulkanisiert. Daher haben Datenblatt-Angaben lediglich eine Aussagekraft über die Rezepturqualität, das heißt über das Leistungsvermögen der Rezeptur. Ob das an den O-Ringen auch ausgeschöpft wird, entscheidet sich an den Bedingungen bei der Verarbeitung (Vulkanisations- und Temperbedingungen).

Eine Verarbeitungsstudie, die an peroxidisch vernetzten HNBR-O-Ringen ermittelt wurde (Bilder 3 und 4), zeigt einerseits die hohe Empfindlichkeit des DVR-Wertes gegenüber zu niedrigen Werkzeugtemperaturen, andererseits belegen diese Diagramme, daß eine starke Untervernetzung von O-Ringen (T=170 °C) nicht über eine Härtemessung nachgewiesen werden kann, da die fertigungsbedingten Streuungen der Härtewerte fast durchweg innerhalb einer Bandbreite von 10 Härtepunkten liegen.



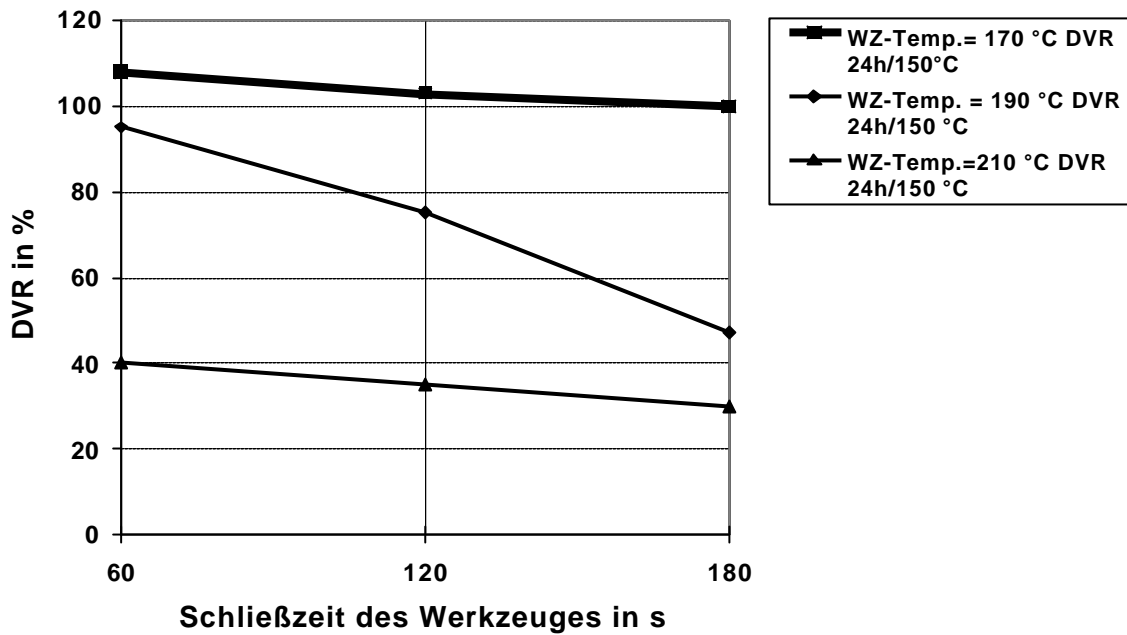


Bild 3 zeigt den Einfluß der Fertigungsbedingungen auf den Druckverformungsrest von O-Ringen aus einem HNBR-Werkstoff

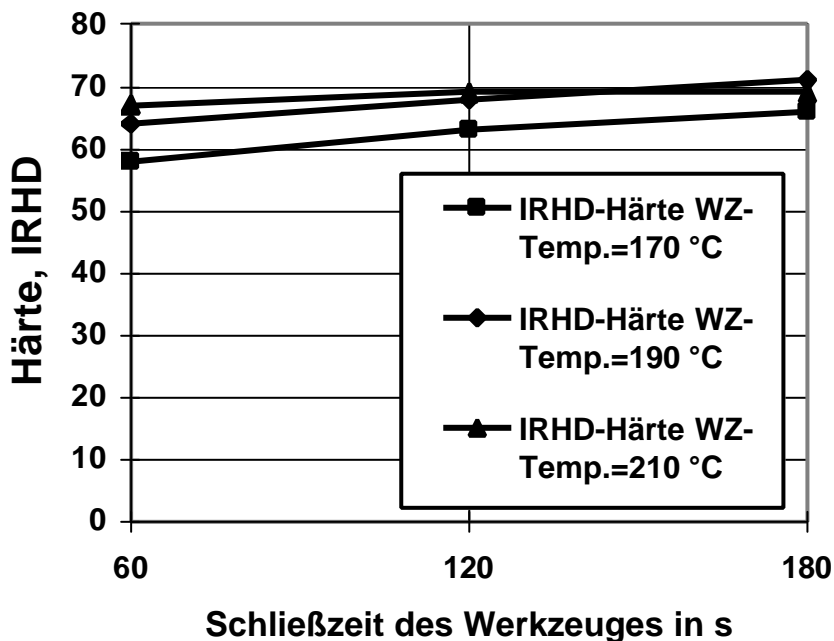


Bild 4 zeigt den Einfluß der Fertigungsbedingungen auf die Härte von O-Ringen aus einem HNBR-Werkstoff

Bei allen drei Werkzeugtemperaturen liegen die Härtewerte nach 180 Sekunden sehr eng beieinander, obwohl die bei 170 °C vulkanisierten O-Ringe einen DVR von 100 % zeigen und damit stark untervernetzt sind. Auf die Praxis übertragen heißt das, daß erst DVR-Messungen an den O-Ringen selbst Aufschluß über den Vernetzungszustand der O-Ringe erbringen, und daß die Härte der O-Ringe beziehungsweise die Formstabilität der O-Ringe eine Untervulkanisation zu ungenau anzeigen. Eine Versprödung und der Verlust der Reißdehnung beziehungsweise der Elastizität infolge Alterung macht sich erst im Endstadium deutlich funktionsmindernd auf statische O-Ring Dichtungen bemerkbar, so daß dem Reaktionsmechanismus der bleibenden Verformung in Bezug auf die Lebensdauer bei O-Ringen mehr Bedeutung zukommt.

Vergleicht man das Angebot des Marktes an O-Ringen aus Standard-Werkstoffen bezüglich DVR-Werte ,Tabelle 3, so zeigen sich innerhalb gleicher Polymerfamilien erhebliche Unterschiede als Folgen der oben beschriebenen Einflüsse der Rezeptur und der Fertigungsbedingungen. Diese Ergebnisse aus Tabelle 3 erfassen nur einen Teil der wirklichen Bandbreite, wie sie sich aus einer begrenzten Anzahl von Vergleichstests ergeben hat.

Zeit/Temp.	Polymer Härte	Schnurstärke in mm	Zahl der geprüften Positionen	DVR in % bester Wert	DVR in % schlechtester Wert
22h/100°C	NBR 70	1,78	11	10,4	44,7
22h/100°C	NBR 70	3,53	20	13,4	45,0
22h/100°C	NBR 70	6,99	6	9,0	24,6
22h/100°C	NBR 90	2,50-3,53	9	15,1	53,7
22h/150°C	EPDM 70/80	3,0-3,53	11	9,3	82,4
22h/200°C	FKM 70/80	2,62-3,53	18	8,5	46,1

Tabelle 3 zeigt die Streubreite von Druckverformungsrest-Werten, wie sie sich aus Messungen an O-Ringen von verschiedenen Lieferanten ergeben hat

Für den Anwender empfiehlt es sich daher, bei der Bestellung von O-Ringen Mindestanforderungen zu definieren, die an Serien O-Ringen überprüfbar sind und sowohl die Rezepturqualität als auch die Fertigungsqualität miteinbeziehen. Tabelle 4 stellt ein Beispiel für solche Mindestanforderungen dar.

Polymerbasis	Volumenänderung in ASTM-Öl Nr. 3 nach 70h/100°C	Druckverformungsrest (DVR) 24h/T	Volumenänderung nach Extraktion	Änderung der Härte nach Hitzeeinwirkung 70h/T, IRHD
NBR	+15 % max.	30% max. T=100°C	-10 % max.*	+8 max. T=100°C
HNBR	+25 % max.	50 % max. T=150°C	-10 % max.*	+10 max. T= 150°C
CR	70 % max.	25 % max. T=100°C	-10 % max.*	+8 max. T=100°C
EPDM	-	40 % max. T=150°C	-10 % max.**	+8 max. T= 150°C
FKM	+5 % max.	25 % max. T=200°C	-3 % max.*	+8 max. T=250°C

\*Lagerung in FAM B DIN 51 604 , 46h/23°C, anschl. Rücktrocknung 22h/100°C  
\*\* Lagerung in Aceton , 46h/23°C, anschl. Rücktrocknung 22h/100°C

Tabelle 4 ist ein Vorschlag für Mindestanforderungen für eine Fertigteilverprüfung an O-Ringen (Härte ca 70-80 IRHD) in Bezug auf Werkstoffeigenschaften.

### **Wichtige rezepturbedingte Unterschiede von NBR- und EPDM- Werkstoffen**

Sowohl bei NBR- als auch bei EPDM-Werkstoffen enthalten die Rezepturen teilweise erhebliche Anteile extrahierbarer Bestandteile wie Weichmacher und Verarbeitungshilfen. Weichmacher in Gummiwerkstoffen verbessern die Tieftemperaturflexibilität und die Fließfähigkeit beim Spritzgießen, sie reduzieren den Mischungspreis und führen zu geringeren Volumenzunahmen bei Quelltests, indem die Weichmacher substituiert werden. O-Ringe können zu 30 % (Vol.) Weichmacher enthalten. Wenn diese nicht wegen extremer Kälteanforderungen benötigt werden, sollten diese bei O-Ring-Werkstoffen vermieden oder zumindestens eingeschränkt werden, da sie durch Hitzeeinwirkung oder durch Auswaschungen zu Volumenabnahmen führen, die der Verpressung des O-Ring-Querschnittes entgegenwirken. Das Auswaschen oder Ausgasen extrahierbarer Bestandteile läuft unter Anwendungsbedingungen relativ langsam ab, so daß der O-Ring bereits erheblich bleibend verformt ist, bis der Volumenschwund zum Stillstand kommt. Damit steht dem O-Ring nur noch ein Teil seiner Elastizität zur Kompensation zur Verfü-

gung, da bis dahin bereits eine deutliche bleibende Verformung des O-Ringes eingetreten ist. Hohe Weichmacheranteile in O-Ringen können auf diese Weise die Betriebszeiten bis zur Leckage wesentlich verkürzen. Daher sollten O-Ringe höchsten 10 % Weichmacheranteile besitzen, je weniger desto besser. Peroxidisch vernetzte EPDM O-Ringe aus dem oberen Leistungsbereich sind oft ganz weichmacherfrei.

Bei NBR-Werkstoffen kommt dem Acrylnitril-Gehalt im Polymer eine wichtige Funktion bei den Werkstoffeigenschaften zu. Handelsübliche NBR-Polymere enthalten einen Acrylnitril-Gehalt zwischen 18 % und 50 %, Standard NBR-Rezepturen enthalten oftmals einen mittleren Acrylnitril-Gehalt zwischen 28% und 38 %. Werkstoffe mit einem niedrigen Acrylnitril-Gehalt zeigen eine bessere Kälteflexibilität, höhere Quellraten in Ölen, niedrigere Druckverformungsrest-Werte und höhere Permeationsraten. Wichtig ist als Anwender zu wissen, daß sich diese Eigenschaften nicht unabhängig voneinander einstellen lassen, so daß sich zum Beispiel eine gute Kälteflexibilität nicht mit einer guten Ölbeständigkeit bei NBR-Werkstoffen kombinieren läßt. Die Bilder 5 und 6 [ 7 ] zeigen das Kälteverhalten eines Standard NBR-Werkstoffes und einer Tieftemperatur-NBR-Mischung. Während die gezeigte Standard NBR-Mischung bereits bei -30°C einen Druckverformungsrest weit über 90 % besitzt, zeigt die Tieftemperatur NBR-Mischung erst ab ca -54 °C eine solch hohe bleibende Verformung.

## Kälteverhalten eines Standard NBR-Werkstoffes mit mittlerem Acrylnitril-Gehalt

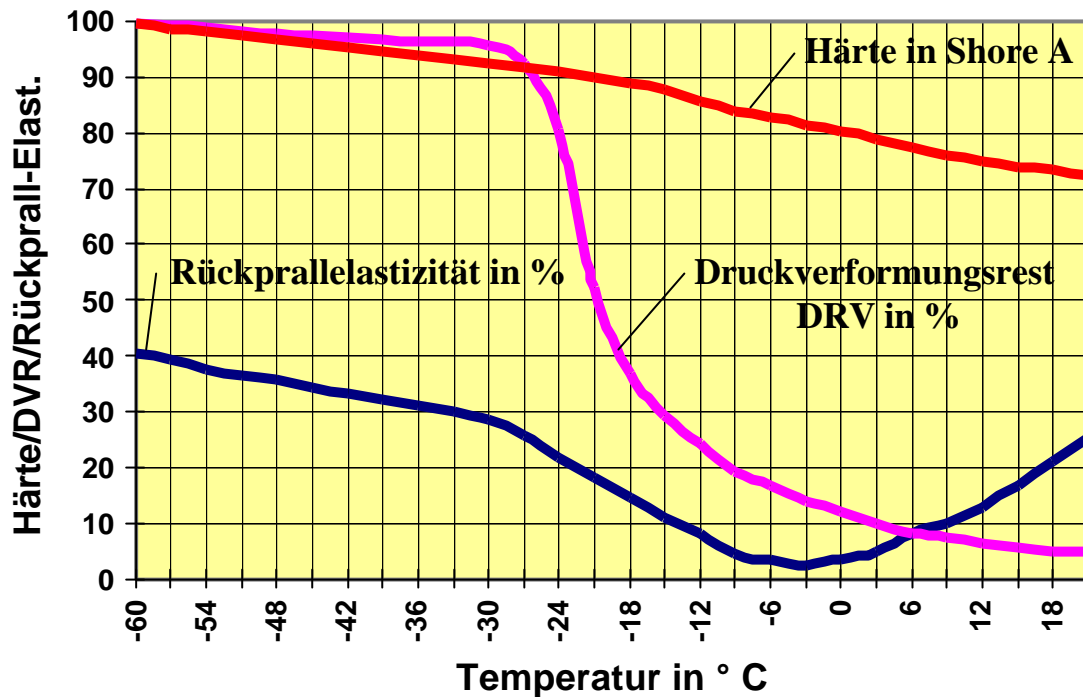


Bild 5 zeigt den Verlauf der Härte, des Druckverformungsrestes und der Rückprallelastizität bei tiefen Temperaturen für einen Standard NBR-Werkstoff

## Kälteverhalten eines Tieftemperatur-NBR-Werkstoffes mit niedrigem Acrylnitrilgehalt

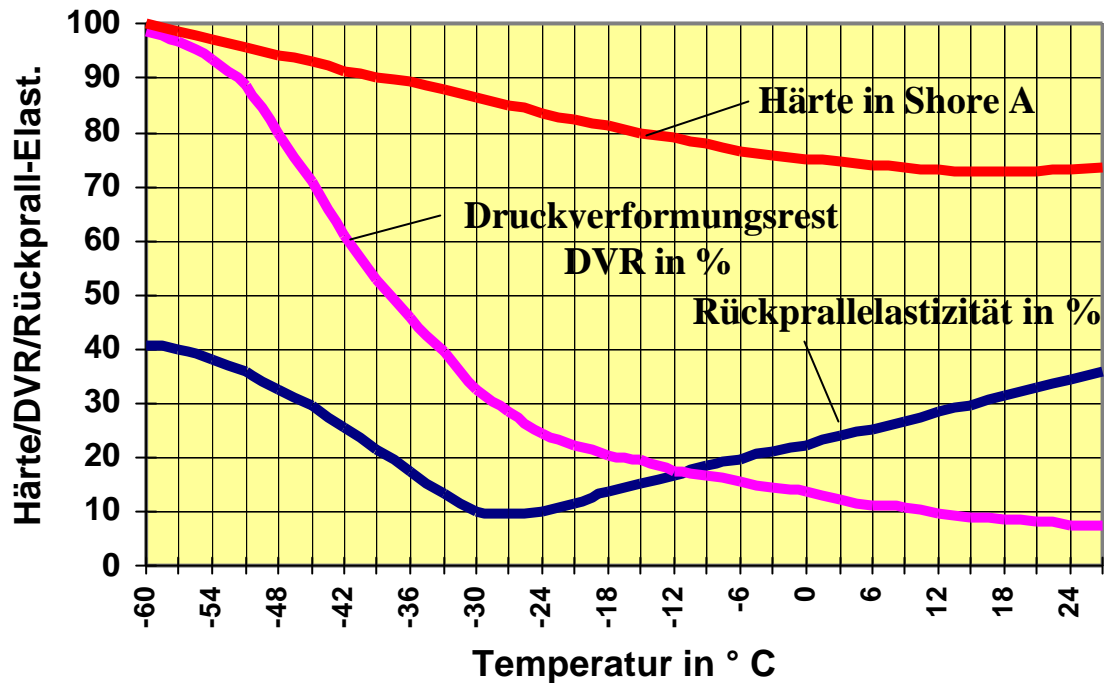


Bild 6 zeigt den Verlauf der Härte, des Druckverformungsrestes und der Rückprallelastizität bei tiefen Temperaturen für einen Tieftemperatur-NBR-Werkstoff

Der Einfluß der Werkstoffrezeptur und der Schnurstärke ist in Bild 7 zu erkennen.

## Langzeitverhalten von NBR O-Ringen

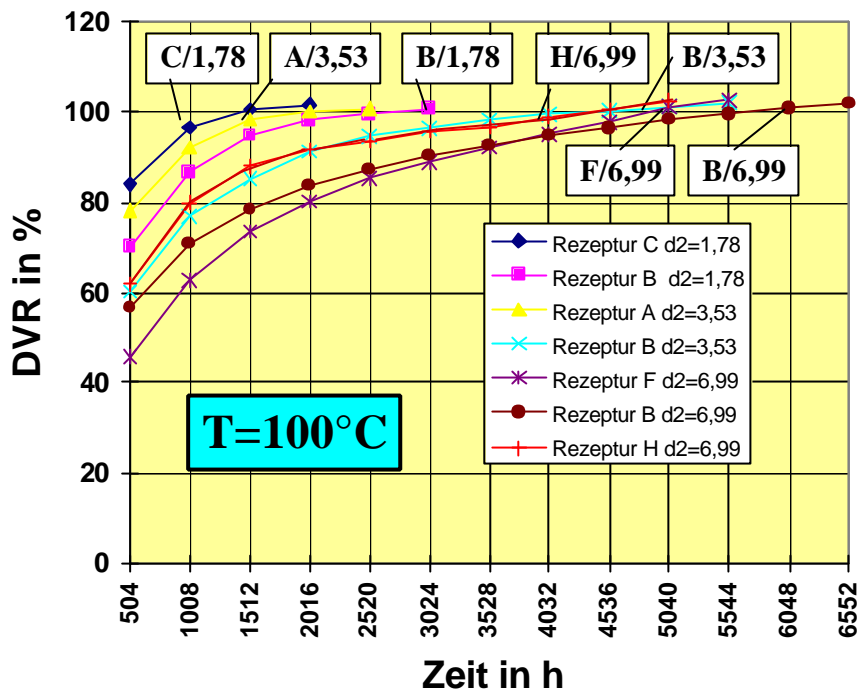


Bild 7 zeigt das Langzeitverhalten von NBR O-Ringen unterschiedlicher Rezepturen und unterschiedlicher Schnurstärken

So kann allein die richtige Auswahl einer Werkstoffrezeptur bei den untersuchten NBR-O-Ringe ein deutliches Mehr an Lebensdauer erbringen, eine weitere Verlängerung kann durch die Wahl einer möglichst dicken Schnurstärke erzielt werden.

Innerhalb der Klasse der Äthylen-Propylen-Dien-Werkstoffe (EPDM) gibt es bezüglich des Temperaturbereiches erhebliche rezepturbedingte Unterschiede. Unterschiedliches Tieftemperaturverhalten ergibt sich durch das Äthylen/Propylen-Verhältnis des Polymers, Tabelle 5.

	Druckverformungsrest DVR 24h/-30°C	Probekörper
EPDM A	47	O-Ring, $d_2=1,78$
EPDM B	63	O-Ring, $d_2=1,78$
EPDM C	83	Platte, $h = 2,0$ mm
EPDM D	95	O-Ring, $d_2=1,78$
EPDM E	97	Platte, $h = 2,0$ mm

Tabelle 5 zeigt den Druckverformungsrest verschiedener EPDM-Werkstoffe bei -30 ° C

Die Hochtemperaturbeständigkeit wird wesentlich durch das Vernetzungssystem (Schwefel oder Peroxid) und durch den Weichmacheranteil bestimmt. Tabelle 6 zeigt Meßergebnisse von EPDM-Werkstoffen aus dem oberen Leistungsspektrum, Tabelle 7 aus dem unteren Leistungsspektrum.

	EPDM 1	EPDM 2	EPDM 3	EPDM 4	EPDM 5	EPDM 6
Probekörper	O-Ring 20,22 x 3,53	O-Ring 20,22 x 3,53	O-Ring 20,22 x 3,53	Platten, Dicke 2mm	Platten, Dicke 2mm	Platten, Dicke 2mm
Druckverformungsrest 24h/150 ° C, %	9,3	13,2	12,0	13,2	19,0	10,6
Umluft 70h/150 ° C Änd. Härte, IRHD	+3	+2	+2	+5	+12	+1
Aceton 24h/23 ° C + Rücktrocknung 22h/100°C						
Änd. Vol., %	-2	-0,4	-0,3	+0,3	-3,2	+0,8
Änd. Härte, IRHD	0	-1	-1	+2	-0,4	-2

Tabelle 6 zeigt Eigenschaften verschiedener EPDM-Werkstoffe unterschiedlicher Lieferanten aus dem oberen Leistungsspektrum

	EPDM 7	EPDM 8	EPDM 9	EPDM 10	EPDM 11	EPDM 12
Probekörper	O-Ring 20 x 3	O-Ring 20 x 3	O-Ring 20,22 x 3,53	Platten, Dicke 2mm	Platten, Dicke 2mm	O-Ring 20,22 x 3,53
Druckverformungsrest 24h/150 ° C, %	82,4	75,6	70,6	55,6	66,0	67,8
Umluft 70h/150 ° C Änd. Härte, IRHD	+22	+11	+10	+14	+12	+7
Aceton 24h/23 ° C + Rücktrocknung 22h/100°C						
Änd. Vol., %	-19,1	-5,3	--3,3	-11,4	-6,8	-2,6
Änd. Härte, IRHD	+18	+4	+0,2	+10	+6	-1



Tabelle 7 zeigt Eigenschaften verschiedener EPDM-Werkstoffe unterschiedlicher Lieferanten aus dem unteren Leistungsspektrum

Eine gute EPDM-Qualität läßt einen Einsatz in Heißwasser bis 200 ° C und in Luft bis 150° C zu (mind. 1000h). O-Ringe aus dem oberen EPDM-Leistungsspektrum sind alle peroxidisch vernetzt . Allerdings ist bei diesen O-Ringen die Gefahr von starken Streuungen des Vernetzungsgrades relativ hoch. Dies hat seine Ursache darin, daß sich bei peroxidisch vernetzten EPDM-Werkstoffen der Vernetzungsgrad durch ein Tempern der O-Ringe nach der Formvulkanisation (max. 150°C) nicht mehr wesentlich verbessern läßt, wie beispielsweise an den meisten NBR- oder FKM-O-Ringen. Dadurch lassen sich aufgetretene Temperaturschwankungen im Werkzeug, die zu Streuungen des Vulkanisationsgrades führen, nicht mehr auffangen. Untervulkanisierte peroxidisch vernetzte O-Ringe können durchaus DVR-Werte von 80% und höher (24h/150°C) annehmen. So ist das peroxidische Vernetzungssystem allein noch keine Garantie für einen guten EPDM-O-Ring, wenngleich eine wesentliche Voraussetzung. Schwefelvernetzte EPDM O-Ringe mit nur geringen Weichmacheranteilen können bis maximal ca 130 °C eingesetzt werden, in Zweifelsfällen sollten DVR-Messungen bei den oberen Temperaturgrenzen Aufschluß über die Brauchbarkeit erbringen.

### **Fluorpolymere (FKM)**

Der bekannteste Vertreter dieser Polymerklasse ist sicherlich Viton® von Dupont Dow Elastomers, weitere Anbieter sind die Firmen Ausimont ( Tecnoflon®), Daikin (Dai-el®) und Dyneon ( Fluorel®). Innerhalb dieser Klasse der FKM-Werkstoffe gibt es erhebliche Unterschiede bezüglich der chemischen Beständigkeit und der Kälteflexibilität. Diese Unterschiede erklären sich aus den Unterschieden im Polymeraufbau und z.T. in der unterschiedlichen Vernetzung (z.B. Peroxidvernetzung bei den Tetrapolymeren). Tabelle 8 ermöglicht eine Klassifizierung der Polymere und damit eine herstellerunabhängige Vergleichbarkeit der verschiedenen Typen.

Polymeraufbau	Beispiele für Handelsbezeichnungen	Fluorgehalt
Copolymer VF/HFP	Viton E 60 C Fluorel FC 2140 Tecnoflon FOR 421 Daiei G 701	ca 66 %
Terpolymer VF/HFP/TFE	Viton B 70	ca 66 %
	Viton B 600 Tecnoflon TN Fluorel FC 2350	ca 68 %
	Viton VTR 6191	ca 70 %
Tetrapolymer VF/HFP/TFE+X	Viton GBL 900	ca 67 %
	Viton GF Daiei G 901	ca 70 %
Tetrapolymer VF/PMVE/TFE+X	Viton GLT	ca 65 %
	Viton GBLT	ca 66 %
	Viton GFLT Tecnoflon P 7	ca 67 %

VF = Vyniliden fluorid    TFE = Tetrafluorethylen    X = Vernetzungsmonomer  
HFP = Hexafluorpropylen    PMVE = Perfluormethylvinyläther

Tabelle 8 zeigt den unterschiedlichen chemischen Aufbau von FKM-Polymeren

Mit zunehmendem Fluorgehalt nimmt die chemische Beständigkeit zu. Den bestmöglichen Schutz gegen chemische Angriffe bieten innerhalb der FKM-Werkstoffe die am höchsten fluorierten Polymere, ein Vertreter davon ist zum Beispiel Viton® GF. Diese Werkstoffe werden allerdings nur in ganz speziellen Fällen eingesetzt, z.B., wo FKM-Werkstoffe in Heißwasser oder Dampf eingesetzt werden sollen und EPDM-Werkstoffe wegen der schlechten Lösungsmittel - und Mineralölbeständigkeit oder aus anderen Gründen ausscheiden.

Die beste Tieftemperaturflexibilität haben die FKM-Polymere mit PMVE-Anteilen, für ruhende O-Ring Abdichtungen sind diese bis zu ca -45 °C einsetzbar.

Bei O-Ringen findet man am häufigsten Copolymere. Diese haben den niedrigsten Druckverformungsrest und erhalten daher insbesondere auch bei zyklischen Temperaturwechseln am besten ihre Dichtkraft bei. Aus diesem Grund beschränkt sich das lagermäßig verfügbare Angebot an FKM-O-Ringen der verschiedenen Lieferanten fast ausschließlich auf diese Gruppe. O-Ringe aus anderen FKM-Typen

~~stellen in der Regel Sonderartikel dar mit den entsprechenden Nachteilen bezüglich~~

len in der Regel Sonderartikel dar mit den entsprechenden Nachteilen bezüglich Verfügbarkeit und Preis. Daher kommt es bei kleinen Bedarfsmengen immer häufiger vor, daß dort, wo Standard FKM-O-Ringe nicht ausreichen, dann gleich die wesentlich teureren, aber sehr viel besser verfügbaren O-Ringe aus Perfluorkautschuk (FFKM) eingesetzt werden.

### **Perfluorkautschuk (FFKM)**

Der bekannteste Vertreter aus dieser Klasse ist sicherlich Kalrez® von Dupont Dow Elastomers. Inzwischen hat sich das Marktangebot deutlich vergrößert, die wichtigsten Markennamen, finden Sie in der Tabelle 9

Hersteller	Markenbezeichnung
DuPont Dow Elastomers	Kalrez
Parker Hannifin	Parofluor
Greene, Tweed	Chemraz
Freudenberg	Simriz

Tabelle 9 zeigt Handelsbezeichnungen für Dichtungen aus Perfluorkautschuk

Die Klasse der Werkstoffe der perfluorierten Elastomere besitzt aufgrund des hohen Anteiles von Tetrafluoräthylen im Polymer eine ausgezeichnete chemische Beständigkeit. Letztlich bleibt nur noch eine kleine Anzahl von Medien übrig, die nicht mit diesen Werkstoffen abgedichtet werden können. Unterschiede bezüglich der Beständigkeit können sich durch verschiedene Vernetzungssysteme ergeben. Bei den marktgängigen Werkstoffen sind drei Vernetzungssysteme verbreitet [ 8,9 ]. So unterscheidet die Kalrez® Medienbeständigkeitstabelle [ 10 ] in der Bewertung der chemischen Beständigkeit zwischen 3 verschiedenen Werkstoffen, die jeweils ein anderes Vernetzungssystem besitzen. Insgesamt zeigt dabei der peroxidisch vernetzte Werkstoff Kalrez® 2035 und der bisphenolisch vernetzte Kalrez® 1050 eine bessere Beständigkeit als Kalrez® 4079 ,das ein über Nitrilgruppen cyclisiertes Triazin-Vernetzungssystem besitzt .Dieses Vernetzungssystem ist dafür bezüglich der thermischen Stabilität den anderen überlegen. Bei anderen Perfluorelastomeren wird überwiegend ein peroxidisches Vernetzungssystem eingesetzt.

Bei zyklischen Temperaturwechseln können sich starke Unterschiede bezüglich der bleibenden Verformung und damit bezüglich des Aufrechterhaltens der Dichtkraft ergeben, die sich nicht aus den Datenblattwerten der Druckverformungsrest-Werte erkennen lassen. Vergleichstest innerhalb eines überfahrenen Temperaturbereiches von -20° C bis 250 °C haben gezeigt, daß sich schon nach einer Woche bei täglich einem Temperaturzyklus bleibende Verformungen von 61 bis 100 % einstellen. Dabei ergab sich bei diesem Test eine andere Reihenfolge der Testergebnisse als bei einem nach Norm durchgeführten Test bei konstant 250 ° C. Bei hohen Temperaturen wird der Druckverformungsrest nämlich überwiegend von einem chemischen Reaktionsmechanismus bestimmt. Das elastische Verhalten bei Raumtemperaturen dagegen wird gerade bei FFKM-Werkstoffen in viel stärkerem Maße von physikalischen Effekten beeinflusst, als dies bei anderen Elastomeren der Fall ist. Dies geht bei den klassischen Prüfmethode der Messung des Druckverformungsrestes nach DIN 53517 oder ASTM D 395 nicht , oder nur unwesentlich mit ein. Das elastische Verhalten dieser Werkstoffe sollte also neben der chemischen Beständigkeit das Hauptauswahlkriterium sein, insbesondere bei häufigen Temperaturwechseln und in Zweifelsfällen praxisnah getestet werden.

### **Vermeidung von O-Ring Ausfällen durch Schulung, Erstmusterprüfung und Serienüberwachung**

Oben angesprochene Zusammenhänge sollen zeigen, daß es beim Einsatz von O-Ringen verschiedene Einflußfaktoren gibt, die von Anwendern oft gar nicht oder nur zum Teil erkannt werden. Ein Vertrautmachen mit dem Werkstoff Gummi und mit der Dichtungstechnik ist daher für den Anwender unentbehrlich. Hierzu können zum Beispiel praxisorientierte Dichtungsseminare beitragen [ 11, 12, ], die auf Wunsch auch vor Ort abgehalten werden. Mit einem gesunden Problembewußtsein kann der Anwender dann erkennen, wo Handlungsbedarf besteht. Geschultes Personal, sei es im Einkauf, in der Entwicklung oder in der Qualitätssicherung erkennt mögliche Fehlerquellen, bevor es zu kostspieligen Dichtungsausfällen kommt.

Oft werden bereits bei der Werkstoffdefinition Fehler gemacht, daß bewährte Rezepturen ersetzt werden durch preiswertere Werkstoffe der gleichen Polymerfamilie wie zum Beispiel EPDM, ohne daß neben der Härte vorher das Eigenschaftsbild der O-Ringe ausreichend genau beschrieben und definiert wird. Hierzu sind Bestellvorschriften erforderlich, die an O-Ringen selbst auch überprüfbar sind und auch überprüft werden. Fehlende Fach- oder Prüfkompetenz kann von einem externen unabhängigen Dichtungsspezialisten in Anspruch genommen werden, sei es bei der Erstellung einer angemessenen Bestellvorschrift, bei der Erstmusterprüfung oder bei der Wareneingangsprüfung (siehe unten).

Eine effektive Qualitätsüberwachung an O-Ringen sollte neben der Härte mindestens auch den Druckverformungsrest und das spezifische Gewicht erfassen, neben einer Maß- und Sichtprüfung. Die Überprüfung weiterer Eigenschaften in der Serie ist nur in Ausnahmefällen erforderlich, wenn sich dabei eine gute Übereinstimmung mit den Teilen der Erstbemusterung ergibt.

Eine umfangreichere Überprüfung der O-Ringe empfiehlt sich bei der Qualifikations- oder Erstmusterprüfung. So kann zum Beispiel eine Hinterlegung der Rezeptur mittels einer Thermogravimetrischen Analyse bei der Erstbemusterung in Zweifelsfällen Gewissheit bringen über eventuell stattgefundenen Rezepturänderungen bei späteren Serienlieferungen. Bei einer thermogravimetrischen Analyse können die Hauptbestandteile einer Rezeptur quantitativ ermittelt werden in Form von verdampfenden (Weichmacher, Verarbeitungshilfen, Restmonomer), pyrolysierten (Polymer), oxidierbaren (Ruß) und nicht oxidierbaren (helle Füllstoffe und sonstige Bestandteile) Stoffen.

Über weitere, je nach Anwendung sinnvolle Prüfungen zur Definition funktionsrelevanter Eigenschaften bei der Qualifikation beziehungsweise bei der Erstbemusterung gibt Tabelle 10 einen Überblick.

Härte, IRHD-Micro oder Shore A	Spezifisches Gewicht
Druckverformungsrest	Zugverformungsrest
Quellversuche mit/ohne Rücktrocknung	künstliche Alterung
Ozontests	Zugversuch
Viskoelastizitätsprüfung	Kältetests (DVR, DSC, TMA)

Quantitative Rezepturanalyse (Thermogravimetrische Analyse)	Qualitative Rezepturanalyse (IR-Spektroskopie)
--	---

Tabelle 10 zeigt eine Auswahl an möglichen Fertigteilprüfungen zur Beschreibung funktionsrelevanter Eigenschaften von O-Ringen und anderen elastomeren Dichtungen.

Bei typischen statischen O-Ring Abdichtungen sollte vor dem Einsatz das Hochtemperaturverhalten (DVR + künstliche Alterung), die Öl- und Kraftstoffbeständigkeit (Quelltests), der Weichmacheranteil (Extraktionstests) und das Kälteverhalten (z.B. DVR-Tests bei tiefen Temperaturen) untersucht werden, die Beschreibung der Rezeptur mittels Thermogravimetrischer Analysen wird zumindestens an sicherheitskritischen O-Ringen empfohlen.

Ein weiterer möglicher Ansatzpunkt zur Vermeidung von O-Ring Ausfällen ist die Optimierung der Montagesituation, die sich auf die konstruktive Auslegung bezieht, auf die Verwendung eines geeigneten Montagefettes und die Schaffung eines schmutzfreien Montageplatzes, ebenso aber sollten O-Ringe mit ähnlichen Abmessungen oder / und verschiedenen Werkstoffen vermieden werden oder farblich unterscheidbar sein. Die am häufigsten gemachten Fehler bei der Montage von O-Ringen sind in Tabelle 11 aufgelistet.

scharfkantige O-Ring Nuten schneiden den O-Ring bereits bei der Montage ein
fehlende Einführschrägen/zu stumpfe Einführschrägen/unzureichende Führungshilfen bei der Montage
verformter O-Ring Querschnitt überfährt eine scharfkantige Bohrung, entspannt sich teilweise und wird dann abgeschert
Rückstände in der Nut (Späne, Staub und Schmutz)
Verwechslung (falsche Abmessung oder falscher Werkstoff)
Beschädigung der Dichtflächen beim Austausch von O-Ringen
Verwendung von Klebstoffen oder unverträglichen Montagefetten

Tabelle 11 beschreibt die am häufigsten gemachten Fehler bei der O-Ring Montage

Bezüglich des Einsatzes von farbigen O-Ringen bietet der Markt derzeit vor allem FKM- und HNBR- und zum Teil auch EPDM-O-Ringe, bei den farbigen verfügbaren NBR-O-Ringen bedeutet der Einsatz dieser Werkstoffe oft eine Einbuße bezüglich der Hitzebeständigkeit. Prinzipiell kann nicht davon ausgegangen werden, daß farbige Werkstoffe immer so gut wie die schwarzen sind, auch wenn das meistens technisch machbar wäre, daher sollten diese nur nach gründlicher Prüfung ausgewählt werden. Problemlos ist der Einsatz von farbigen Silicon - (VMQ) oder Fluorsilicon (FVMQ)- Werkstoffen.

Am schwierigsten sind natürlich Fehler zu vermeiden, die in nicht genau bekannten Einsatzbedingungen begründet sind. Wird der Temperaturbereich nur vage definiert oder sind nicht alle Medien bekannt, mit denen der O-Ring in Berührung kommt, ist eine solide Auslegung nicht machbar. Da kann nur ein hartnäckiges Nachfragen beim Endanwender weiterhelfen. Auf alle Fälle sollten Temperaturgrenzen zusammen mit gewünschten Standzeiten genannt werden, da die Temperaturgrenzen von Gummiwerkstoffen in der Literatur sich auf 1000 Stunden beziehen, bei längeren Betriebszeiten sind Abschläge bei der Hochtemperatureinsatzgrenze zu machen. Bild 8 zeigt Lebensdauergrenzen, die an guten NBR-Standard O-Ringen gewonnen wurden.

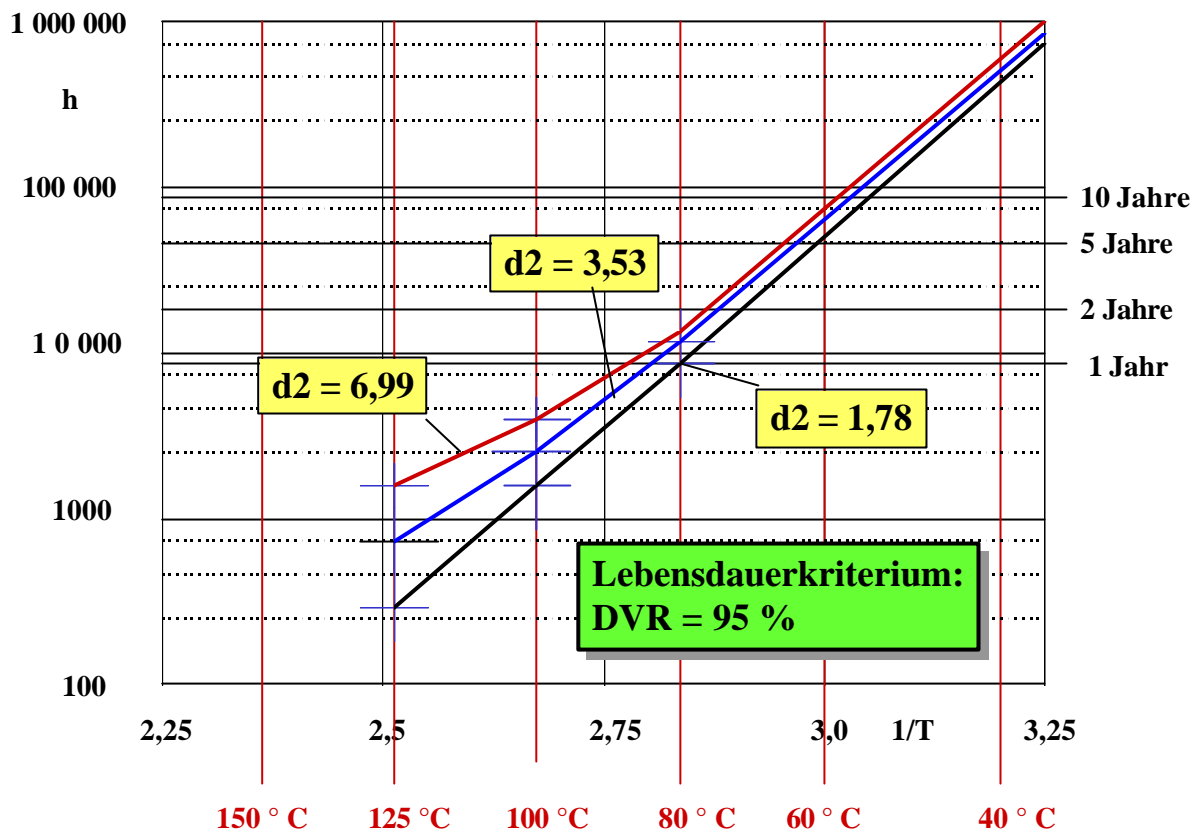


Bild 8 zeigt Lebensdauergeraden, die an guten Standard- NBR O-Ringen ermittelt wurden.

### Neu: Prüfen als Dienstleistung

Da angemessene Qualifikations- und Serienprüfungen an O-Ringen und natürlich auch an anderen Gummi-Dichtungen zur Lebensdauerabsicherung des Gesamterzeugnisses wichtig sind, diese aber hohe Kosten für Prüfgeräte und qualifiziertes Prüfpersonal bedeuten, bietet hier ein erfahrener O-Ring-Spezialist seine unabhängige Prüf- und Fachkompetenz als Dienstleistung an. Denn gerade der hohe erforderliche Spezialisierungsgrad bei der Prüfung von Gummi-Teilen macht diese Tätigkeit zu einem typischen Dienstleistungssektor. Durch die breite Nutzung dieser Dienstleistung ergeben sich dabei zusätzliche Kostenvorteile für die Anwender. So haben seit der Gründung des O-Ring Prüflabors Richter im Jahr 1996 bereits über zweihundert Firmen dieses Dienstleistungsangebot in Anspruch genommen, sei es in Form von Prüfungen, Schulungen,



Beratungen oder Schadensanalysen. Die Inanspruchnahme dieser Dienstleistung versetzt jeden Dichtungsanwender in die Lage, unabhängig vom Lieferanten und von der Abnahmemenge zuverlässig die Qualität von O-Ringen und anderen Gummi-Dichtungen zu beurteilen.

### Literaturverweise

- [ 1 ] DIN 3771 Teil 5, O-Ringe, Berechnungsverfahren und Maße der Einbauräume
- [ 2 ] Peter Weidner, Dichtverhalten von O-Ring-Nebendichtungen unter hohem Absolutdruck bei niedrigen abzudichtenden Druckdifferenzen, Sonderdruck der Fa Burgmann
- [ 3 ] inPHorm, PC-Programm zur Berechnung und Auswahl von O-Ringen, Parker Hannifin , O-Ring Division, Pleidelsheim
- [ 4 ] SimCat, der Katalog, Freudenberg Dichtungs- und Schwingungstechnik, Weinheim
- [ 5 ] Dr. K. Nagdi, Gummi-Werkstoffe, ein Ratgeber für Anwender, Vogel- Verlag
- [ 6 ] DIN 53 517 Bestimmung des Druckverformungsrestes nach konstanter Verformung
- [ 7 ] K. Nagdi, Correlation between Laboratory Tests and Service Performance of Elastomeric Seals at low Temperature, Kautschuk+Gummi, 7/88
- [ 8 ] Robert J. Weston, Perfluoroelastomers in Extreme Environments, Dupont
- [ 9 ] Dr. G. Streit, Perfluorierte Elastomere, chemische Struktur und physikalisches Verhalten, Gummi, Fasern, Kunststoffe 9/94
- [ 10 ] Dupont, Kalrez® Perfluorelastomerteile, Hinweis zur O-Ring Auswahl und Gestaltung der Einbaunuten
- [ 11 ] Gummiwerkstoffe in der Dichtungstechnik, Seminar, O-Ring Prüflabor Richter
- [ 12 ] Mehr Sicherheit beim Einsatz von O-Ringen, Seminar, O-Ring Prüflabor Richter

### Übersicht

O-Ring Prüflabor Richter, Kleinbottwarer Str. 1, 71723 Großbottwar,  
Tel. 07148-922037, Fax 07148-92 2038  
[Bernhard.Richter@o-ring-prueflabor.de](mailto:Bernhard.Richter@o-ring-prueflabor.de)

[designed by rolffs webdesign](#)