Berger/Kiefer (Hrsg.)

DICHTUNGS TECHNIK

JAHRBUCH 2019

ISGATEC®

Statische Dichtungen/ Formteile/Profile

>> Berger S2B® – über 85 Jahre Erfahrung in der Elastomer- und Dichtungstechnik. Technische Lösungen und Dienstleistungen für OEMs.

Das vielseitigste Dichtelement – der O-Ring

Entstehungsgeschichte und Potenzial

O-Ringe werden heute in Milliardenstückzahlen sowohl in statischen als auch dynamischen Anwendungen (z.B. Hydraulik oder als Abdichtung auf einer drehenden Welle) als Dichtung eingesetzt. Seine vielen Vorteile haben ihn zu diesem „Allrounder" in der Dichtungstechnik werden lassen. Und seine Geschichte ist noch nicht zu Ende.

Das „O" in dem Begriff O-Ring bezieht sich auf den runden Querschnitt dieses Ringes. Inzwischen hat sich diese Bezeichnung in der Technik durchgesetzt. In älteren Unterlagen finden sich auch die Begriffe Schnurring, Nullring oder Rundring. Letzteres war die offizielle Bezeichnung in der DDR [1]. Im englischen Sprachgebrauch waren vor der Bezeichnung „O-Ring" auch die Begriffe „Round Ring", „Toroid Ring", „Donut Seal" [2] und „Toroidal Sealing Ring" [3] üblich.

O-Ringe bieten viele Vorteile, die letztendlich auch ihren breiten Einsatz ermöglicht haben. O-Ring-Abdichtungen zeigen auch bei geringen Flächenpressungen – ausreichende Verformung vorausgesetzt – ein gutes Dichtverhalten, welches sich auch über sehr lange Einsatzzeiten hinweg trotz erheblicher Spannungsrelaxation bzw. Alterung des Werkstoffes nicht verschlechtert. Je nach Schnurstärke können Spalte bis ca. 0,5 mm und mehr mit O-Ringen überbrückt werden. Durch die enorm große Vielfalt an immer leistungsfähigeren Elastomerwerkstoffen, aus welchen O-Ringe gefertigt werden, lassen sie sich – je nach Elastomertyp – von -70 °C bis ca. +300 °C einsetzen. Mit O-Ringen können sowohl Ultrahochvakuum- (10^{-8} Torr) bis Hochdruckanwendungen (400 bar, Sonderfälle 2000 bar) abgedichtet werden. Neben dem guten Montageverhalten sind seine weltweite Verfügbarkeit und sein niedriger Preis weitere Vorteile, die den O-Ring zur häufigsten und vielleicht auch – nicht nur bei Einkäufern – beliebtesten Abdichtungsart aller Zeiten werden ließen. Denn die einfache Auslegung eines O-Rings hat sich auch bei vielen Konstrukteuren herumgesprochen. Und schließlich ist die Tatsache, dass vielen Anwendern gar nicht bewusst ist, wie oft sie sich tagtäglich auf die einwandfreie Funktion von

Von Dipl.-Ing. Bernhard Richter, Geschäftsführer; Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner, Consultant
O-Ring Prüflabor Richter GmbH I www.o-ring-prueflabor.de

O-Ringen verlassen, eigentlich das allerbeste Argument für die Zuverlässigkeit von O-Ringen.

Wer erfand den O-Ring?

Aufgrund der äußerst simplen Geometrie, die auch verfahrenstechnisch bereits Mitte des 19. Jahrhunderts in der damals üblichen Qualität produziert werden konnte, ist es schwierig, einen bestimmten Erfinder des O-Rings zu benennen. Jedoch gibt es Personen, die für die Einführung des O-Rings in neuartige Anwendungen bedeutend waren. Hier zeigt sich eine Analogie zur Geschichte der Entdeckung der Kautschukvernetzung und den damit verbundenen zahlreichen Forschern und Erfindern [4]. Bereits 1832 beschrieb der deutsche Chemiker Friedrich W. Lüdersdorff (1801-1886) Vulkanisationsverfahren. Das Problem klebriger Kautschuküberzüge, z.B. von Textilien, löste er durch das Bestreuen mit pulverförmigem Schwefel [5] . Eine ähnliche Entdeckung gelang dem Amerikaner Nathaniel Hayward im Jahr 1834. Jedoch gilt erst 1839 als das eigentliche Entdeckungsjahr der Vulkanisation von Naturkautschuk durch Charles Goodyear. Parallel zu Goodyear wurde die Vulkanisation auch von Thomas Hancock 1845 zum Patent angemeldet.

Doch nun zurück zu den O-Ringen: Das vermutlich früheste Patent einer dynamischen O-Ring-Anwendung stammt aus Großbritannien und wurde im Jahr 1848 erteilt. Erfinder war Alonzo Buonaparte Woodcock aus Manchester. Er arbeitete viele Jahre mit Thomas Hancock zusammen und war Betriebsleiter bei Macintosh in Manchester [6]. In seinem Patent No. 12,253 vom 22. Februar 1848 beschreibt Woodcock die mögliche Anwendung von O-Ringen in Dampfmaschinen, u.a. in deren Stopfbuchsen, in Pumpen, Ventilen oder Hahnen. Er nennt bereits die notwendige Verpressung des O-Ring-Querschnitts in eine Ellipsenform [7]. Um den Dichtungsverschleiß zu verringern und Gleitmittel wie Öl zu vermeiden, schlägt er einen sich bei Kolbenbewegung abrollenden O-Ring vor. O-Ringe als sich abrollende Dichtelemente zu verwenden, scheint die Erfinder der damaligen Zeit besonders beschäftigt zu haben. Da es vermutlich an relativ glatten Kolben- und Zylinderwänden zu keinem definierten Abrollen der elastischen Dichtungen kam, wurde im Jahr 1856 in den USA ein Patent mit einer Verbesserung vorgeschlagen **(Bild 1)**. Es ist nicht auszuschließen, dass es noch frühere Patente gibt, die eine Anwendung von O-Ringen beschreiben. Oft verbergen sich diese kleinen Dichtelemente in größeren Patenten, sodass ihr Auffinden viel detektivisches Geschick und Zeit erfordert.

John Underwood beschreibt in seiner im Dezember 1856 patentierten Erfindung den Einsatz eines zylindrischen Gummiringes, der auch aus einem anderen elastischen

Material hergestellt werden kann. Die Nuten auf dem Zylinder sollen wie die Zähne einer Zahnstange wirken und der O-Ring sollte die Funktion eines Ritzels übernehmen. In diesem Patent wird ebenso auf die Wichtigkeit der ausreichenden O-Ring-Verpressung zur Erfüllung seiner Dichtfunktion hingewiesen [8]. Ein weiteres US-Patent (No. 80,066, Erfinder: John B. Gibson) mit einer nicht statischen O-Ring-Abdichtung stammt aus dem Jahr 1868. Hierin übernehmen O-Ringe Dichtfunktionen in einer verbesserten Version eines Ventilhahnes. Es handelt sich dabei um eine Konstruktion, bei welcher der Dichtring sich auf einem Kolbenstück definiert abrollen kann.

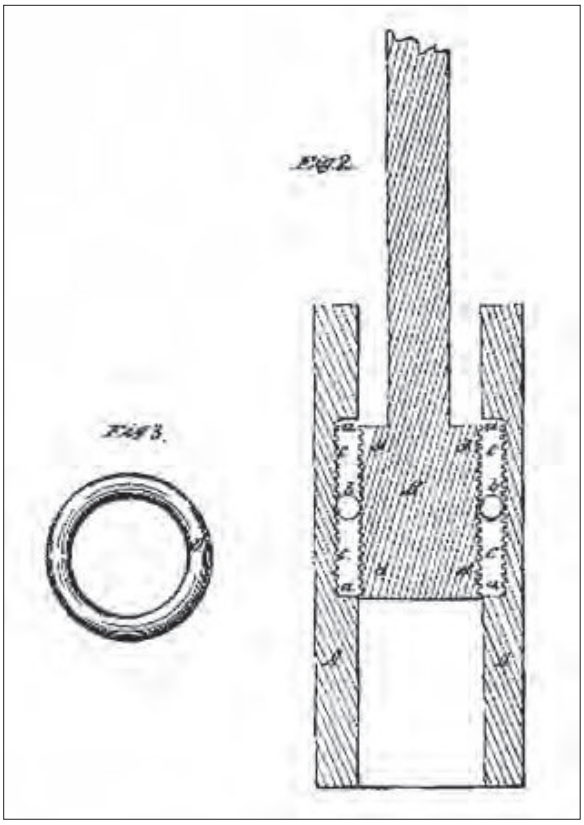

Bild 1: Ausschnitt aus dem US-Patent 16,202 vom 09.12.1856: Cylinder and Piston of Hydraulic and Steam Engines, Erfinder john Underwood

(Bild: US Patent and Trademark Office, public domain)

Da der Gummi-O-Ring zwar Bestandteil dieser Patente ist, er jedoch nicht als eigenes, vorab patentiertes Dichtelement erwähnt wird, ist davon auszugehen, dass bereits vor 1848 O-Ringe als Dichtelemente in Gebrauch waren. Die vorgestellten Patente setzten O-Ringe in für die damalige Zeit bereits gewagten dynamischen Anwendungen ein. Deswegen kann man annehmen, dass O-Ringe in einfachen statischen Abdichtungen sicherlich schon vor 1848 üblich und wohl schon ein Standarddichtelement in der Technik gewesen sind [9]. Ein Überblick über die frühen Patente mit O-Ringen, hauptsächlich in dynamischen Anwendungen, findet sich in einer Patentklage N. Christensens Erben gegen die Vereinigten Staaten aus dem Jahre 1964 [10]. Da es bei Patentklagen oft um große Geldsummen geht, ist davon auszugehen, dass die Recherche zu Vorläuferpatenten gründlich durchgeführt wurde. Die im Internet häufig zitierten frühen bzw. angeblich ersten O-Ringe-Patente, wie das Patent zum Dichtring in Th. A. Edisons Glühlampe 1882 (US Patent No. 263,878) oder das schwedische Patent No. 7679 von J.O. Lundberg aus dem Jahr 1896, sind keine Erstnennungen von O-Ringabdichtungen, sondern es gab bereits zahlreiche ähnliche statische und dynamische O-Ringanwendungen vor diesen Veröffentlichungen.

Die Entwicklung in den USA

Seinen Durchbruch erlebte der O-Ring allerdings erst durch die Erfindungen eines gewissen Niels Christensen [11]. Viele seiner Patente befassen sich mit pneumatischen oder hydraulischen Systemen. An seiner wohl bedeutendsten Erfindung arbeitete er ab 1933 in seinem Labor: Die Suche nach einer einfachen und zuverlässigen Dichtung, welche hydraulische Kolben in ihrer Bewegung nicht behinderte, aber dennoch zuverlässig abdichtete. Versuche mit O-Ringen wurden bereits vor ihm schon durchgeführt, diese Dichtungsform erwies sich allerdings als nicht lange haltbar. Er begann mit verschiedenen O-Ring- und Nutabmessungen zu experimentieren. Schließlich erzielte er seine besten Ergebnisse in Nuten mit ca. dem 1,5-fachen Wert der Schnurstärke. In sein Notizbuch schrieb er am 20. September 1933: „Dieser Dichtungsring wurde über 2.790.000 Hübe über 0,5 inch (= 12,7mm) bei 60 psi (= ca. 41bar) und über 2.790.000 Umkehrhübe bei Umgebungsdruck getestet. Dieser Dichtungsring zeigte nie eine Leckage und ist immer noch dicht und es ging keine Flüssigkeit während des ganzen Tests durch ihn hindurch. Der Ring behielt seine ursprüngliche Form und funktionierte perfekt." [12]

Christensen war ein Forscher, der sich mehr auf seine positiven Ergebnisse und praktischen Versuche stützte als auf das Ergründen einer Theorie dahinter. Durch sein unermüdliches Probieren hatte er nun eine Nut-/Ringkombination gefunden, die alle bisherigen Dichtsysteme übertraf. Die Funktionsweise dieses Dichtsystems wurde erst 1941 durch einen transparenten Zylinder in den Laboren von Vought-Sikorsky aufgedeckt: „In diesem Zylinder beobachteten die Forscher ein Rollen der Dichtung um ungefähr 20°, wenn Druck angelegt wurde und der Kolben sich zu bewegen begann. Sie beobachteten auch, dass diese Dichtung in der Nut vom Druck in einem bestimmten sich schlängelnden Muster weggleitet und dass der Druck die Dichtung in eine „D"-Form verzerrt, um so die Breite der Dichtungsoberfläche von etwa 30% der Schnurstärke auf 40 bis 60% zu vergrößern."[13] Einige Jahre später untersuchte Lockheed mit einem Farbfilm die Funktionsweise der O-Ringabdichtung. Dabei konnten wichtige Erkenntnisse über die Bewegungen des O-Ringes, wie Abrollen, Gleiten oder Wischen, gewonnen werden, aber auch Informationen über die durch den O-Ring verursachten Flüssigkeitsbewegungen. Doch zurück zu Christensen: Am 29. Dezember 1933 reichte er ein Patent über eine hydraulische Bremse **(Bild 2)** ein, welches ihm am 26. April 1938 erteilt wurde. Darin verwendet er bereits O-Ringe. Im Jahr 1937 beantragte er ein zweites Patent, das ihm am 21. November 1939 mit der Nummer 2,180,795 erteilt wurde **(Bild 3)**. Er beschreibt darin eine funktionierende O-Ring-Abdichtung, obwohl er den eigentlichen Funktionsmechanismus nicht voll verstanden hat. Er glaubte nämlich, dass die Lebensdauer der Dichtung durch das kontinuierliche

Kneten und Walken - ähnlich wie bei einem Muskel - verlängert werden würde [14]. Neuartig und wichtig für spätere Patentklagen war u.a. sein Patentanspruch Nr. 1, in welchem er fordert, dass der Ring sich nicht mehr als 180° drehen darf. Im April 1943 reichte er noch ein drittes Patent zu einer Druckdichtung („pressure seal") ein, das ihm am 5. Februar 1946 mit der Nummer 2,394,364 erteilt wurde. Anfänglich war es schwierig für Christensen, Lizenznehmer für sein Patent von 1939 zu finden. Da die Automobilindustrie die bestehenden Dichtungen in Bremszylindern nicht ersetzen wollte, ging Christensen zur Luftfahrtindustrie. Nach positiven Versuchen um 1940 erteilte er im April 1941 eine nichtexklusive Lizenz an United Aircraft Products Co.. Zur Erleichterung der Rüstung im Krieg kaufte die US-Regierung nach Pearl Harbor wichtige Patente, u.a. auch Christensens O-Ring-Patent. Für eine Zeit von fünf Jahren oder bis zum Ende der „National Emergency" konnte nun jeder für Militärflugzeuge diese Dichtung lizenzgebührenfrei nutzen. Nachteilig für Christensen war, dass Präsident Truman den Krieg nicht 1945, sondern erst 1952 für offiziell beendet erklärte, sodass Christensen nur noch vier Jahre Restnutzung seines Patentes blieben. Damals galt in den USA noch ein Patent für 17 Jahre ab "date of issue". Nach einem längeren Patentstreit wurden 1971 an seine Erben 100.000 US $ für entgangene Lizenzgebühren bezahlt. In diesem Prozess von Christensens Erben gegen die Vereinigten Staaten drohte ein britisches Patent von Stewart Robertson zu einer Toilettenspülung (No. 10,716 vom 14.10.1899) Christensens Patent zu kippen. In dieser britischen Konstruktion wurden bereits 1899 O-Ringe in einer rechteckigen

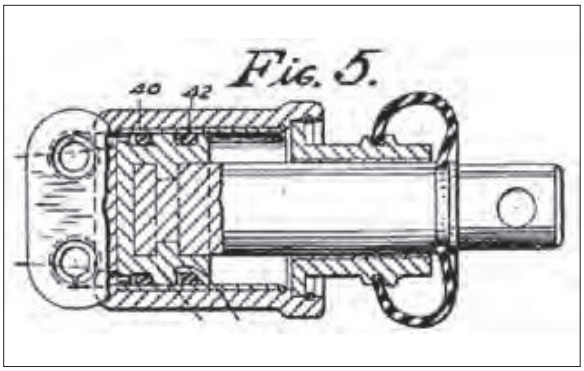

Bild 2: Ausschnitt aus US-Patent No. 2,115,383 vom 26.04.1938: Hydraulic Brake von N. Christensen (Nr. 40 zeigt einen elastischen Dichtungsring mit einem Backupring (42), falls der erstere O-Ring ausfallen sollte) (Bild: US Patent and Trademark Office, public domain)

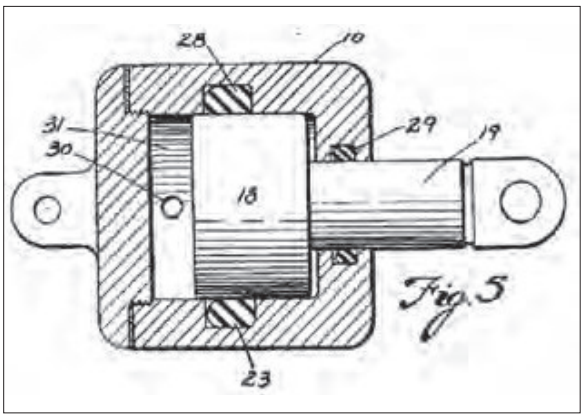

Bild 3: Ausschnitt aus dem wichtigsten O-Ring US-Patent No. 2,180,795 vom 21.11.1939: „Packing" von N. Christensen. Neben Varianten von Kolbendichtungen in diesem Patent ist auch eine Stangendichtung dargestellt: Der O-Ring Nr. 28 dichtet den Kolben außen ab und ist im Zylinder verbaut (Bild: US Patent and Trademark Office, public domain)

Nut, die nur wenig breiter als die Schnurstärke des Ringes war, eingesetzt. Der Anwalt Calhoun konnte durch den Verweis auf die genaue Formulierung Christensens, dass der Querschnitt des O-Rings in einer Art Ellipsenform verpresst sein muss [15], das Ungültigwerden des Christensen-Patentes verhindern [16].

O-Ringe in Deutschland

In Deutschland sind O-Ringe unter der Bezeichnung Schnurringe schon vor 1937 hergestellt worden, wie ein Blick in die Literatur beweist. So schreibt Paul Kluckow 1935 in einem Aufsatz über Technische Gummiwaren über den Einsatz von „Schnurringen für Nähmaschinenspulen, Separatoren, Honigschleudermaschinen, Kinderwagen- und Spielzeugräder (Roller)“ [17]. Dies sind allerdings alles Anwendungen, in denen O-Ringe keine höherwertige Dichtfunktion übernommen haben. Schon 1931 ist es bekannt, dass die Produktion von guten O-Ringen keine leichte Produktionsaufgabe ist: „Schnurringformen werden nur von Spezialfabriken angefertigt, da die Herstellung Präzisionsarbeit erfordert“ [18]. Gestoßene O-Ringe wurden damals auch schon gefertigt, so heißt es weiter in der Gummi-Zeitung: „Größere Schnurringe in schwachen Schnurstärken werden aus gespritzter Schnur zugeschnitten und zusammengesetzt.“

In einer US-amerikanischen Analyse der deutschen Flugzeughydrauliksysteme während des Zweiten Weltkrieges aus dem Jahr 1946 wurde nur in einem Fall und dazu nur bei wenigen Einheiten die Verwendung von O-Ringen gefunden (V.D.M. Luftfahrtwerke GmbH, Großauheim). In den anderen Fällen wurden hauptsächlich damals übliche Stangendichtungen („U-cups“) mit Variationen (z.B.„half U-cups“) verwendet [19]. Ab den 1950er – spätestens ab den 1960er –Jahren hält der O-Ring auch in großem Umfang Einzug in die industrielle Anwendung als Dichtelement in Deutschland. Ein weiterer wichtiger, aber auch tragischer Meilenstein für die Weiterentwicklung von O-Ringen war die Challenger Katastrophe vom 28. Januar 1986, bei welcher es aufgrund einer relativ niedrigen Starttemperatur und einer fehlerhaften Dichtungskonstruktion 73 s nach dem Start zur Explosion der Raumfähre kam. Die in der Folge dieses Unfalls durchgeführten Untersuchungen und unzähligen Veröffentlichungen führten zu einem noch tieferen Verständnis des Potenzials dieses Dichtungstyps, aber auch der Risiken bei fehlerhafter Anwendung von O-Ringen und Elastomermaterialien.

Inzwischen ist der O-Ring und seine Auslegung immer mehr Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen, u.a. mithilfe von FEM-Simulationen. Außerdem werden immer bessere Modelle zur Alterung und Lebensdauervorhersage von O-Ringen entwickelt und erforscht [20].

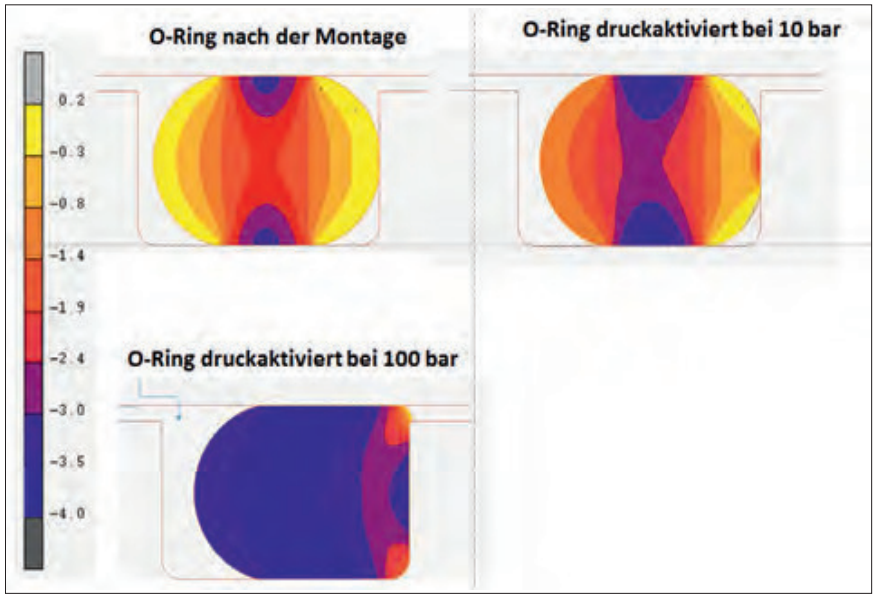

Bild 4: Infolge der weitgehenden Inkompressibilität, der hohen inneren Festigkeit und der druckabhängigen Walkarbeit sind O-Ringe in der Lage, Drücke in erhöhte Dichtflächenpressungen umzuwandeln
(Bild: Dr. Manfred Achenbach, www.gutach-ten.de)

Funktionsweise des O-Rings

Die Dichtwirkung des O-Rings ergibt sich aus der Verformung seines runden Querschnitts um ca. 10 - 35%, je nach Anwendung und Schnurstärke. Je größer die Verpressung, umso größer ist die Dicht- bzw. Kontaktfläche. Die Ausführung der Dichtflächen sowohl des O-Rings als auch der Gegenfläche haben einen bedeutenden Einfluss auf die Dichtwirkung. In Anwendungen mit erhöhten Drücken wird eine O-Ring-Abdichtung zusätzlich noch durch den Systemdruck aktiviert. Je höher der Druck, umso höher ist die an den Dichtflächen erzeugte Flächenpressung, gleichzeitig legt sich der O-Ring durch die Walkarbeit besser an die Dichtfläche an **(Bild 4)**. Dies basiert auf der weitgehenden Inkompressibilität des Werkstoffes. Elastomere verhalten sich ähnlich wie eine Newtonsche Flüssigkeit, d.h. sie haben eine belastungsunabhängige Viskosität. Außerdem wird durch die Druckaktivierung noch die (druckabhängige) Walkarbeit des O-Rings begünstigt. In Niederdruckanwendungen hingegen, „lebt“ der O-Ring ausschließlich aus dem Rückstellpotenzial des jeweiligen O-Ringwerkstoffes.

Voraussetzungen für eine gute Dichtfunktion

Folgende drei Bereiche sind wichtig für eine problemfreie Dichtfunktion: Nutgestaltung, Eigenschaften des O-Rings und Montage.

Die Nut sollte so bemessen sein, dass auch bei ungünstigen Toleranzlagen eine ausreichende Verpressung sichergestellt ist. Dies wird i.d.R. über eine Worst-Case-Betrachtung mithilfe von Auslegungs-Apps der O-Ring-Lieferanten oder Normen zur Nutberechnung(z.B. DIN ISO 3601-2) sichergestellt. Neben ausreichenden Oberflächengüten sollten zusätzlich zur Rauheit auch das Bearbeitungsverfahren bzw. die

Oberflächenstruktur definiert werden. Außerdem ist darauf zu achten, dass keine scharfen Kanten den O-Ring verletzen können. Ferner sind zu große Spaltmaße zu vermeiden. Ein zu großer Spalt kann bei außermittiger Lage der abzudichtenden Bauteile zu einer unzulässig starken lokalen Reduktion der O-Ring-Verformung führen, zudem können Systemdrücke ab ca. 50 bar den O-Ring bei zu großen Spaltmaßen in Abhängigkeit von der O-Ring-Härte durch Spaltextrusion zerstören.

Der O-Ring selbst sollte die vorgeschriebenen Maßtoleranzen einhalten, er darf keine unzulässigen Oberflächenfehler aufweisen (siehe DIN ISO 3601-3) und er sollte gute Werkstoffeigenschaften besitzen. Die O-Ring-Qualität lässt sich am einfachsten als eine multiplikative Verknüpfung von „Rezepturqualität x Fertigungsqualität" darstellen. „Geht ein Faktor gegen Null, geht das ganze Produkt gegen Null. Noch so gute Datenblätter bzw. Rezepturqualitäten sind nutzlos, wenn die Werkstoffe schlecht verarbeitet, d.h. hier, schlecht vulkanisiert sind. Andererseits nützen die besten Qualitätsabläufe eines O-Ring-Produzenten nichts, wenn dieser Rezepturen verarbeitet, die nicht dem Stand der Technik entsprechen, weil die verwendeten Rezepturen z.B. nur auf die Verarbeitbarkeit hin optimiert wurden. Um einen guten Stand der Technik von O-Ringen abzusichern, muss also beides definiert werden: die Rezeptur (über Werkstoffeigenschaften) und die Vulkanisation (über Druckverformungsrestanforderungen für die O-Ringe)" [21]. Es ist schon verwunderlich, dass es bis 2015 gedauert hat, bis endlich die funktionswichtigen Werkstoffeigenschaften von O-Ringen genormt wurden (ISO 3601-5 Ausgabe: 2015-04). So wird leicht verständlich, dass sich eine konsequente und gut geplante Wareneingangsprüfung von Dichtungen bezahlt macht und die Anwendungssicherheit von O-Ringen verbessern kann.

Schließlich spielt die Montage noch eine bedeutende, aber gerade bei O-Ringen häufig unterschätze Rolle. So müssen Verunreinigungen auf den Dichtflächen vermieden werden, ebenso muss eine Verwechslung mit anderen O-Ring-Werkstoffen oder –Abmessungen ausgeschlossen werden. Außerdem darf der O-Ring nicht über scharfe Kanten gezogen werden, die ihn verletzen könnten. Letztlich fordert dies ein hohes Maß an Sorgfalt und i.d.R. auch die Verwendung von Gleitmitteln wie Montagefette oder -öle oder Beschichtungen.

Der O-Ring als statische und dynamische Dichtung

In statischen Dichtungen ist der O-Ring aufgrund seiner einfachen Geometrie, Verfügbarkeit und seines Preises fast unschlagbar. Er „eignet sich als Dichtelement von ruhenden Flächen besonders gut, weil er durch die Vorspannung den Dichtvorgang einleiten und sich bei Druckerhöhung die Anpressung an die Dichtflächen erhöht" [22].

Elastomertyp	Vernetzungssystem	Härte [IRHD°, CM]	Beständig gegen
NBR	Schwefel	70, 90	Mineralöle, Kaltwasser
NBR	Peroxid	75, 90	Mineralöle, Kaltwasser
HNBR		75, 90	Motoröle, Kühlwasser
FKM		70, 75, 80, 90	Öle, Kraftstoff und viele auch aggressive Chemikalien
VMQ		70	Heißluft, mäßige Ölbeständigkeit
EPDM	Schwefel	70, 80	Bremsflüssigkeit, Kühlwasser
EPDM	Peroxid	70, 80	Bremsflüssigkeit, Kühlwasser
ACM		70	Motoröle, Getriebeöle

Tabelle 1: Häufig verwendete Elastomere und Härtegrade in Industrieanwendungen nach ISO 3601-5 [23]

Während statisch verbaute O-Ringe bis zu einem erstaunlich hohen Maße gut mit dynamischen Druck- und Spaltänderungen zurechtkommen, stößt der O-Ring als Dichtung zwischen zwei bewegten Flächen schnell an seine Grenzen. Hier gibt es jedoch für die meisten dynamischen Anwendungen bessere technische Lösungen in Bezug auf Reibung, Spaltüberbrückungsvermögen und Laufleistung.

Die Vielfalt an elastomeren Werkstoffen – das Erfolgsgeheimnis des O-Rings

O-Ringe können aus praktisch jeder Elastomermischung gefertigt werden, die im Press- oder Spritzverfahren verarbeitet werden kann. Jedoch haben sich bestimmte Elastomertypen – sei es wegen ihrer chemischen und thermischen Beständigkeit und/oder ihres günstigen Preises – in größerem Umfang durchgesetzt. Einen guten Einblick bietet die ISO 3601-5 mit ihrer **Tabelle 1** zu häufig gebrauchten Elastomeren und Härten für O-Ringe in Industrieanwendungen.

O-Ring-Beschichtungen

Bis zu 10% aller Dichtungsausfälle gehen auf eine fehlerhafte Montage zurück, davon die meisten Fälle auf eine fehlende oder mangelnde Gleitintensivierung. Neben dem Zweck der Montageerleichterung können Beschichtungen von O-Ringen auch andere Ziele verfolgen, wie z.B. Vermeidung von Stick-Slip-Effekten, Geräuschreduzierung, Erhöhung der Abriebfestigkeit oder eine farbliche Kennzeichnung zur Vermeidung von Verwechslungen.

Der Nutzen von Montagebeschichtungen kann in der Vermeidung von Verklebungen und in der störungsfreien automatischen Zuführung von O-Ringen und in der Reduktion von Steckkräften liegen. Sind die O-Ringe einmal beschädigungsfrei montiert,

kann je nach Beschichtung der weitere Vorteil darin liegen, die Losbrechkräfte oder Gleitreibungskräfte zumindest für eine begrenzte Anzahl an Zyklen zu reduzieren. Es werden mehrere verschiedene Arten von Oberflächenbehandlungen angeboten:

- Nasse Beschichtungen (z.B. Pasten, Fette, hydrogecrackte Mineralöle (Molykote®), synthet. Flüssigkeiten (PAO))
- Trockene Beschichtungen/Gleitlacke (in Form von Coatings oder Dispersionen)
- Pulverförmige Beschichtungen (z.B. Graphitpulver)

Durch die Einführung von Plasmaverfahren zur Vorbehandlung der O-Ringe und durch die Entwicklung neuer Gleitlacke hat sich das Angebot an hochwertigen Beschichtungen kontinuierlich erweitert und damit auch die Einsatzbereiche von O-Ringen. Trockene Beschichtungsverfahren verhindern z.B. eine Verschleppung von Gleitmittel, wie z.B. Siliconöl, und tragen damit erheblich zur Verbesserung der Qualität verschiedenster Produktgruppen bei.

Wichtige O-Ring-Kenndaten (Normung, O-Ring-Fertigteilprüfungen)

Lange Zeit wurden O-Ringe nur von großen Firmen in ihren Hausnormen spezifiziert, sodass sich eine Vergleichbarkeit verschiedener O-Ringe schwierig gestaltete. Außerdem war unklar, ob diese firmeninternen Spezifikationen immer das volle Potenzial der jeweiligen Mischung und der möglichen Verarbeitungsqualität forderten oder sich mehr an die Möglichkeiten eines bestimmten Lieferanten anpassten.

Es gab schon vor einigen Jahrzehnten Versuche, über einzelne Hersteller feststehende Normen zur Rezepturqualität von Elastomeren zu etablieren. Ein bekanntes Beispiel dafür ist die ASTM D 2000, die aber in Europa als zu kompliziert und nicht praxisgerecht empfunden wurde und sich deshalb nicht durchsetzen konnte [24]. Außerdem sind diese Vorgaben sehr herstellerfreundlich, d.h., die Grenzwerte sind teilweise großzügig für die Lieferanten festgelegt und beziehen sich ausschließlich auf ideal vulkanisierte Prüfplatten und sie machen keinerlei Vorgaben für den Vulkanisationsgrad an Fertigteilen. Schließlich steht nun dem Anwender mit der ISO 3601-5, die im April 2015 erschien, ein leistungsfähiges Werkzeug zur Verfügung. Zum ersten Mal werden darin sowohl O-Ring-Materialien als auch Eigenschaften an dem fertigen Erzeugnis O-Ring spezifiziert. Bei Bestellungen nach dieser Norm hat nun der Anwender die Sicherheit, einen O-Ring nach einem guten Stand der Technik sowohl in Mischungs- als auch Verarbeitungsqualität zu bekommen. Ebenso hilfreich für den Praktiker sind die Teile 1-4 der ISO 3601:

- Fluidtechnik-O-Ringe – Teil 1: Innendurchmesser, Schnurdurchmesser, Toleranzen und Bezeichnungsschlüssel (Ausgabe 2012-07)

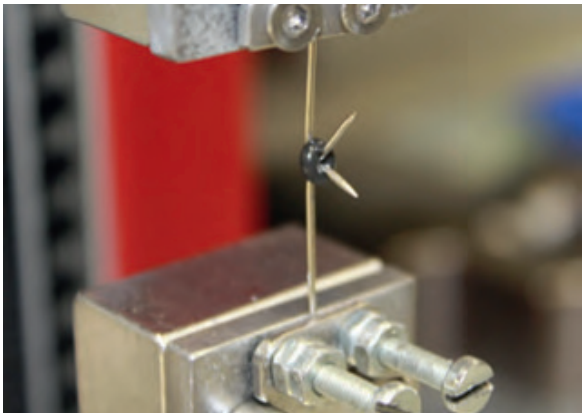

Bild 5: Zugversuch eines Mikro-O-Ringes mit speziellen Nadeln als Probehalter
(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

Bild 6: Härteprüfung an einem O-Ring (Methode IRHD, CM) (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

- Fluidtechnik-O-Ringe –T eil 2: Einbauräume für allgemeine Anwendungen (Ausgabe 2016-07)
- Fluidtechnische Anlagen-O-Ringe – Teil 3: Qualitäts-Annahmebedingungen (Ausgabe 2005-11)
- Fluidtechnik-O-Ringe – Teil 4: Stützringe (Ausgabe 2008-06)

O-Ringe sind nicht nur in der Anwendung sehr vielseitige Dichtelemente, auch im Bereich der Elastomerprüfung eignen sie sich zur Durchführung der meisten Prüfmethoden ohne eine lange Vorbehandlung der Probekörper. Vielen Anwendern ist bekannt, dass es mitunter eine große Diskrepanz von Materialeigenschaften an Prüfplatten im Vergleich zum Fertigteil gibt. Bei den meisten O-Ring-Abmessungen lassen sich problemlos Härte, Zugversuch [25] oder Druck- bzw. Zugverformungsrestprüfungen [26] durchführen. Allerdings können die Ergebnisse nicht eins zu eins mit an Prüfplatten gemessenen Werten verglichen werden.

Zur Prüfung von O-Ringen gibt es eine eigene ASTM-Norm. Die ASTM D 1414 (Standard Test Methods for Rubber O-Rings) normiert Zugversuche **(Bild 5)**, DVR-Prüfungen, Tieftemperatureigenschaften, Dichtemessung, Medieneinlagerung, Heißluftalterung und Härtemessungen an O-Ringen **(Bild 6)**.

O-Ringe für Hightech-Anwendungen

Der Fortschritt der Technik in vielen Bereichen war schon immer sehr eng mit dem Fortschritt der Dichtungstechnik verknüpft. Eine der frühesten Anwendung von O-Ringen ist die Sanitärtechnik. Nach wie vor spielen O-Ringe hier eine wichtige Rolle. Die komplette Hausinstallation, Heizungs- und Solartechnik baut heute auf hochleis-

tungsfähige O-Ringe, eine Lebensdauer von deutlich mehr als 50 Jahren unter typischen Einsatzbedingungen ist mit einem guten Stand der Technik möglich.

Ab den 1930er Jahren revolutionierte der O-Ring Hydraulikanwendungen in Flugzeugen. Von dort aus machte man sich den O-Ring auch in der Industriehydraulik zunutze. Moderne Hydraulik wird heute, z.B. zur Nachstellung von Sonnenkollektoren, in Solar-Kraftwerken eingesetzt oder für den Betrieb von Windkraftanlagen, auch in vielen hochleistungsfähigen Baufahrzeugen baut man auf den O-Ring in der Hydraulik, die stetig kleiner und leistungsfähiger wird. Eine konkrete O-Ring-Anwendung, die Leben rettet, ist bspw. eine hydraulische Rettungsschere, wie sie von der Feuerwehr bei Unfällen eingesetzt wird.

Ebenso sind die O-Ringe fast immer dabei, wenn es darum geht, den Schadstoffausstoß von Verbrennungsmotoren immer weiter zu reduzieren oder den Wirkungsgrad von Motoren zu verbessern, z.B. durch Turbolader. Auch viele Komfort- und Sicherheitsfunktionen (Heizung/Klima, ASR, ESP) sind erst durch den Einsatz von hochqualitativen und 100% fehlerfreien (z.B. ABS-Systeme) O-Ringen möglich. O-Ringe in modernen Dieseleinspritzsystemen werden heute unter Reinstbedingungen gefertigt, manchmal vor der Montage nochmals gereinigt und schließlich verbaut. Sicherlich wird die Einführung von Elektrofahrzeugen bestimmte Arten von O-Ringen überflüssig machen, jedoch erfordern moderne Batterien ebenso viele O-Ringe, und komfortabel und sicher soll die zukünftige Mobilität auch sein, wozu O-Ringe einiges beitragen werden.

In der Prozesstechnik haben sich durch den Einsatz von Mikroprozessoren bzw. computergesteuerten Fertigungsabläufen ganz neue Möglichkeiten aufgetan, welche allerdings darauf angewiesen sind, dass zuverlässig die Prozesszustände (Druck, Temperatur, Durchfluss, pH-Wert etc.) angezeigt werden. Dazu sind Sensoren erforderlich, die mit O-Ringen auch in einer sehr aggressiven Umgebung sicher arbeiten müssen. Der Fortschritt bei der Chip-Herstellung basiert auch auf immer höheren Einsatztemperaturen der O-Ringe, verknüpft mit höchsten Ansprüchen bezüglich Reinheit bzw. der Verhinderung der Auswaschung von Metallionen. Auf die Reinheit kommt es auch bei der Herstellung von Medikamenten an, auch hier ist die Werkstofftechnik nicht stehen geblieben, moderne Analyseverfahren, wie z.B. GC-MS-Analysen, ermöglichen es, auch kleinste Mengen an Schadstoffen zu finden und Werkstoffe bezüglich der Abgabe von kritischen Chemikalien zu verbessern.

Ausblick

Auch wenn dieses einfache Dichtelement schon über 150 Jahre alt ist, ist es keineswegs überholt und aus unserem heutigen Alltag nicht mehr wegzudenken. In Milliarden Anwendungen erfüllen O-Ringe ihren Dienst. Innovation in der Technik ist ohne O-Ringe kaum vorstellbar und wäre wohl nur schwer bezahlbar. Auch für die Zukunft werden sie daher ein wichtiger Baustein für effektive und schnelle Produktentwicklung sein. Macht man sich die Fortschritte in der Werkstofftechník, der Prozesstechnik, der Normung, der Automationstechnik und der Prüftechnik zunutze, so kann man davon ausgehen, dass man mit O-Ringen auch weiterhin den kommenden Herausforderungen in der Dichtungstechnik begegnen kann. Die Frage wird sein, ob es gelingt, die vorhandenen Potenziale auch auszuschöpfen. Und hier können und müssen sicherlich spezielle Know-how-Träger dazu beitragen, dass Firmen nicht „abgehängt" werden und wichtige Entwicklungen verschlafen.

Literatur

[1] TGL 6365: Dichtungen Rundringe (Ausgabe Oktober 1976, online abrufbar: https://www.bbr-server.de/bauarchivddr/archiv/tglarchiv/tgl2500bis10000/tgl6001bis6500/tgl-6365-okt-1976.pdf)
[2] ALLEN, Robert E.: "O" Rings Make History, Otterbein Publishing Co., Dayton, Ohio, 1969, S. 8
[3] British Standard 1806 / 1951: Dimensions of Toroidal Sealing Rings, British Standards Institution, London, 1951
[4] RÖKER, Klaus-D.: Vulkanisation – chemische Reaktion oder Adsorptionsvorgang? Eine Kontroverse zu Beginn des 20. Jahrhunderts in: Mitteilungen, Gesellschaft Deutscher Chemiker/ Fachgruppe Geschichte der Chemie, Frankfurt/Main, Bd 20, 2009, S. 68
[5] SCHNETGER, J.: Lexikon der Kautschuktechnik, Hüthig-Verlag, Heidelberg, 1991, S. 370
[6] LOADMAN, John und JAMES, Francis: The Hancocks of Marlborough: Rubber, Art and the Industrial Revolution: A Family of Inventive Genius, Oxford University Press, 2010, S. 117
[7] GB-Patent No. 12,253 vom 22. Februar 1848, Erfinder: Alonzo B. Woodcock: Steam Engines, and Apparatus for Raising and Forcing Water, &c., S.3
[8] "…the diameter of the piston is such that it will fill the ring when in the chamber of the cylinder and give the ring a proper pressure." in: US-Patent No. 16,202, dated December 9, 1856: Inventor: John Underwood: Cylinder and Piston of Hydraulic and Steam Engines, S.2
[9] Resilient round sealing rings were used at least as early as the mid 1800's with mixed success" in: http://logwell.com/tech/O-ring/index.html
[10] 339 F.2d 665 Jo. C. CALHOUN, Jr., and Esther C. Young, Executors of the Estate of Niels A. Christensen (Deceased) v. The UNITED STATES No. 432-55. (Online verfügbar: https://openjurist.org/339/f2d/665/calhoun-v-united-states#fn-s oder https://law.resource.org/pub/us/case/reporter/F2/339/339.F2d.665.432-55.html)
[11] Weiterführende biographische Angaben: WISE, George: Ring Master in: American heritage's invention & technology, Bd. 7, Spring/Summer 1991, S.58-63
[12] ALLEN, Robert E.: "O" Rings Make History, Otterbein Publishing Co., Dayton, Ohio, 1969, S. 3 [13] Ebd.
[14] US-Patent No. 2,180,795 vom 21. November 1939, Erfinder: Niels Christensen: Packing, S.4

[15] "…when the ring is in the groove in operative position, it is compressed into somewhat ellipsoidal cross-section,.." US-Patent No. 2,180,795 vom 21. November 1939, Erfinder: Niels Christensen: Packing, Patentanspruch 5, S.5
[16] WISE, George: Ring Master in: American heritage's invention & technology, Bd. 7, Spring/ Summer 1991, S. 63
[17] KLUCKOW, Paul: Technische Gummiwaren in: HAUSER, E.A.: Handbuch der gesamten Kautschuktechnologie, Union Deutsche Verlagsgesellschaft, Berlin, 1935, Bd. 1, S.441
[18] Ohne Autorenangabe: Die Fabrikation technischer Formartikel in: Gummi-Zeitung, Band 46, 1931, S. 116
[19] DAVIES, R.H.: German Aircraft Hydraulic Systems and Their Components in: SAE Journal (Transactions), Vol. 54, No. 8, August, 1946, S. 419
[20] z.B. KÖMMLING, Anja: Alterung und Lebensdauervorhersage von O-Ring Dichtungen, Dissertation, TU Berlin, 2017
[21] RICHTER, Bernhard: O-Ring wird zum Normteil in: BERGER, Karl-Friedrich und KIEFER, Sandra: Dichtungstechnik Jahrbuch 2016, Mannheim, 2015, S.200
[22] PARKER-PRÄDIFA: O-Ring Handbuch, Ausgabe 07/2015, S.9 (Online verfügbar: https://www.parker.com/literature/Praedifa/Catalogs/Catalog_O-Ring-Handbook_PTD5705-DE.pdf)
[23] Nach ISO 3601-5: 2015-04: Fluid power systems - O-rings – Part 5: Specification of elastomeric materials for industrial applications, S.2, Table 1
[24] NAGDI, Khairi: Gummi-Werkstoffe – Ein Ratgeber für Anwender, Gupta-Verlag, Ratingen, 2002, S. 365
[25] BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Fachwissen Prüfverfahren für Elastomere: Zugversuch von Ringen (O-Ringe / Rechteckringe) – Prüftechnische Grundlagen und wissenswerte Besonderheiten, Ausgabe 12/2014 (Onlineveröffentlichung: http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen-zugversuchringe_12_2014.pdf)
[26] BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Fachwissen Prüfverfahren für Elastomere: Zugverformungsrestprüfung (ZVR): Prüftechnische Grundlagen und Abgrenzung zur DVR-Prüfung, Ausgabe 06/2014 (Onlineveröffentlichung: http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_zugverformungsrestpruefung_06_2014.pdf)

Jetzt anmelden und netzwerken!

In unseren Fachseminaren und -foren zeigen Ihnen Experten Lösungsalternativen auf – auch Inhouse

- → Polymere Werkstoffe: Eigenschaften und Grenzen (Silikon, TPE, PU, Elastomere etc.)
- → Spezifikation von Werkstoffen
- → Schadensanalysen von Dichtungen
- → Statische und Dynamische Dichtsysteme
- → Klebetechnik, DIN 2304
- → Flüssigdichtsysteme, Dosiertechnik
- → Qualitätsmanagement
- → u.v.m.

www.isgatec.com > Akademie
Ihre Fragen beantwortet Stefanie Wüst
Tel.: 0049 (0)621-71 768 88-2

ISGATEC® AKADEMIE