SUCCESS THROUGH KNOWLEDGE

OPR ELASTOLABS
OUR KNOW-HOW. YOUR SUCCESS.

FACHAUFSATZ

Haben Dichtungen ein Verfallsdatum? –

Ein Review über Normen und Untersuchungen zur Lagerfähigkeit von Elastomerdichtungen mit Empfehlungen für die Praxis

(aus Anlass der Neuausgabe der ISO 2230 im März 2026)

Erstveröffentlichung Langersion: 11/2026

Abstract

Das Review befasst sich mit dem Thema Lagerfähigkeit von Dichtungen aus verschiedenen Blickwinkeln, beginnend mit technischem Hintergrundwissen. Darauf werden die wichtigsten technischen Normen und Vorschriften genannt und inhaltlich beschrieben (ISO, DIN, SAE,...), einschließlich einer kurzen Entstehungsgeschichte. Kapitel 4 listet zahlreiche Veröffentlichungen zur Grundlagenforschung und Langzeituntersuchungen seit den 1960er Jahren auf und fasst diese inhaltlich zusammen. Danach werden Informationen und Empfehlungen zur Lagerfähigkeit von Dichtungsherstellern vorgestellt und eingeordnet. Das abschließende praxisorientierte Fazit richtet sich an Dichtungsanwender und soll bei konkreten Fragestellungen unterstützen. Nach bestem Wissen der Autoren stellt diese Arbeit weltweit den derzeit umfassendsten und praxisorientiertesten Leitfaden zum Thema Lagerfähigkeit von Dichtungen dar.

Do seals have an expiry date? – A review of standards and technical papers on the shelf life of elastomer seals, with practical recommendations ***(to mark the publication of the new edition of ISO 2230 in March 2026)*** This review examines the topic of the shelf life of rubber seals from various perspectives, beginning with technical background information. It then lists and describes the content of the most important technical standards and regulations (ISO, DIN, SAE, etc.), including a brief history of their development. Chapter 4 lists numerous publications on fundamental research and long-term studies dating back to the 1960s and summarises their content. It then presents and categorises information and recommendations on shelf life provided by rubber manufacturers. The concluding, practice-oriented summary is aimed at seal users and is intended to provide guidance on specific issues. To the authors' knowledge, this work represents the most comprehensive and practice-oriented guide worldwide currently available on the shelf life of sealing materials.

1. Was heißt Lagerfähigkeit?

Dichtungen für Anlagen oder Maschinen sind ein häufiges Ersatzteil, das über längere Zeiträume, meist mehrere Jahre, eingelagert wird. Auf Grund immer höherer Gewährleistungspflichten möchten Anwender sicher gehen, dass eingelagerte Dichtungen einwandfrei funktionieren. Auch in der Lebensmittelbranche ist eine immer höhere Sensibilisierung der Verbraucher in Bezug auf das Haltbarkeitsdatum feststellbar, teilweise werden Menschen übervorsichtig und vertrauen nur noch auf das aufgedruckte Datum. Seit kurzem gibt es aber die Gegenbewegung *„noch länger gut"*, durch welche Verbraucher aufgefordert werden, mehr auf ihre Sinne zu achten und die tatsächliche Qualität der abgelaufenen Lebensmittel zu überprüfen. Etwas Ähnliches will dieser Artikel bewirken. Er soll Lesenden Hintergrundwissen an die Hand geben, dass sie im Zweifelsfall bei älteren Dichtungen fachlich fundiert Entscheidungen treffen können.

Autoren:
Dipl.-Ing. (FH)
Ulrich Blobner,
Consultant, OPR Group GmbH

Dipl.-Ing.
Bernhard Richter,
Geschäftsführer, OPR Group GmbH
E-Mail:
bernhard.richter@oprgroup.de

Das Internet ist voll von Empfehlungen zu Lagerzeiten und -bedingungen und es gibt relativ viele weltweite Normen zu diesem Thema. Erstaunlicherweise wird schon seit einigen Jahrzehnten intensiv zu diesem Thema geforscht, v.a. in kritischen Anwendungen (Luft- und Raumfahrt, Militär u.ä.). Bei diesen Untersuchungen an spannungsfrei gelagerten (noch nicht verbauten) Elastomerteilen bzw. Dichtungen werden einerseits Alterungseffekte gemessen (mit objektiven Ergebnissen), bei der Bewertung der Ergebnisse können aber unterschiedliche Kriterien angewendet werden (subjektive Bewertung). Der vorliegende Fachaufsatz gibt einen Überblick zu einigen interessanten Studien und soll auch helfen, diese Ergebnisse pragmatisch zu bewerten.



Abb. 1: Ideale Lagerbedingungen für Elastomerdichtungen sind v.a. eine luft- und lichtgeschützte Verpackung in einem Lager mit kontrollierter Temperatur (Bild: © sveta – www.stock.adobe.com, Modern warehouse full of cardboard boxes. 3d illustration)

2. Technisches Hintergrundwissen

Die häufige Verwendung englischer Fachbegriffe in der Technik ist mehr als nur eine Modeerscheinung. Durch ihre sprachliche Kompaktheit lassen sich Zusammenhänge oft schneller und klarer darstellen – so auch in diesem Fall:

Für Anwendende von Dichtungen sind zwei Zeiträume entscheidend:

- die maximale Lagerdauer und
- die maximale Einsatzdauer einer Dichtung.

Der deutsche Begriff „Lagerfähigkeit" wird im Englischen als „Shelf Life" bezeichnet, also die „Lebensdauer im Regal" (**Abb. 1**). Diese Formulierung macht deutlicher, dass es sich um einen klar abgegrenzten Zeitraum handelt und lässt nicht so viel Interpretationsspielraum wie der deutsche Begriff „Lagerfähigkeit".

Für die tatsächliche Nutzungsdauer einer Dichtung werden im Englischen die Begriffe „Service Life" oder „Useful Life" verwendet. Sie beschreiben die Zeitspanne, in der eine Dichtung ihre Funktion ordnungsgemäß erfüllt.

In der Elastomerbranche gibt es zwei verschiedene Arten von Lagerfähigkeit: Es muss nämlich zwischen unvernetzten Gummimischungen und vernetzten Fertigteilen bzw. Halbzeugen unterschieden werden.

Erstere haben deutlich kürzere Lagerzeiten, da das noch nicht aktivierte Vernetzungssystem sehr empfindlich auf Temperatur und Zeit reagiert. Nach einer längeren Lagerungszeit einer unvernetzten Mischung geht es um die Prüfung ihrer Verarbeitbarkeit.

Bauteile aus vernetzten Compounds *(Vulkanisate)* hingegen können – je nach Materialtyp – oft über viele Jahre gelagert werden. Nach einer sehr langen Lagerungsdauer geht es bei einer Überprüfung nicht um die Verarbeitbarkeit, sondern um die Einsatzfähigkeit/Verwendbarkeit eines Bauteiles. Dazu sind andere Herangehensweisen und Prüfmethoden notwendig.

2.1 Wichtiges – Kompakt

Während bei der Alterung von Metallen das Metallgitter zwar seine Ordnung verändert, aber grundsätzlich erhalten bleibt, so ändert sich bei Polymeren die chemische Struktur der Moleküle selbst. Die Alterung von Metallen (z.B. Korrosion) geht meist über sehr lange Zeiträume, während Polymere als organische Materialien im Vergleich zu Metallen auf molekularer Ebene und nicht im Gefüge viel schneller und plötzlicher altern können.

Bei Elastomeren sind die beiden wichtigsten Alterungsvorgänge der Bruch von Molekülketten bzw. Vernetzungsbrücken (Abbau ➔ führt zur Erweichung) und die Neu- bzw. Nachvernetzung (Zyklisierung ➔ führt zur Verhärtung). Je nachdem, welcher Effekt überwiegt, ändern sich die Eigenschaften. Bei vorherrschender Kettenspaltung zeigt sich dies häufig durch eine Zunahme der Reißdehnung, einer Abnahme der Zugfestigkeit und einer Abnahme der Spannungswerte. Bei einer Zyklisierung ändern sich diese Eigenschaften ins Gegenteil.[1]

Gerade deshalb ist es hilfreich wichtige Einflussfaktoren[2] auf die Alterung von Polymeren zu kennen (**Abb. 2**), die hier in etwa in Reihenfolge ihrer Bedeutung aufgelistet sind:

[1] BOYUM, Bruce M. und RHOADS, Jerral E.: Elastomer shelf life: aged junk or jewels? In: IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 4, Issue 2, June 1989, S. 199, Kap. IV., Abstract online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 07.03.2026): https://ieeexplore.ieee.org/document/17912

[2] Vgl. TAYEFI, Masoud et al.: Recent progress in the accelerated aging and lifetime prediction of elastomers: A review in: Polymer Degradation and Stability, Vol. 214, August 2013, S. 4, Fig.4 (Weblink zum Abstract: https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2023.110379)

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

- Oxidativer Angriff /Ozon
- Hitze
- UV-Strahlung/Licht
- Hydrolyse
- Chemikalien
- Mechanische Belastung
- Biologischer Abbau

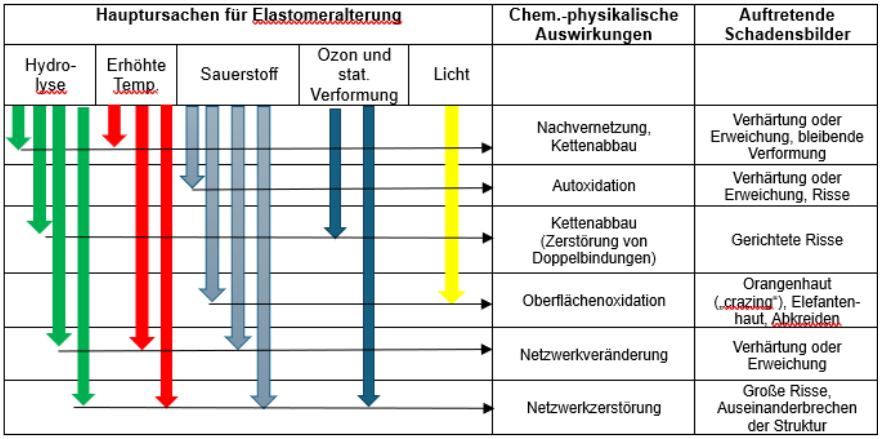


Abb. 2: Die Alterung von Elastomeren kann viele verschiedene Ursachen haben, die miteinander wechselwirken und sich mitunter verstärken können. (Bild: OPR Elastolabs nach STREIT, G. (Hrsg.): Elastomere Dichtungssysteme, 2011, S. 90, Bild 2.14)

Die meisten dieser Faktoren sind bei einer ordnungsgemäßen bzw. normgerechten Lagerung auszuschließen bzw. können durch die Verpackung stark eingeschränkt werden, so dass mehr oder weniger nur noch der oxidative Angriff bzw. die Alterung durch Wärme und Sauerstoff übrigbleiben. Das gilt in der Regel auch für die Einwirkung durch Ozon (**Abb. 3**).



Abb. 3: Beispiel für Ozonrisse an der Windschutzscheibendichtung eines Oldtimers. Oberhalb einer „kritischen Dehnung" werden Ozonrisse verstärkt ausgelöst, was hier gut erkennbar ist. (Bild: Bernhard Richter)

Nur bei wenigen Elastomeren (AU) ist auf mögliche Schädigungen durch Hydrolyse (**Abb. 4**) zu achten.
Bei einigen Elastomeren kann es auch durch die Lagerung zu einer sehr langsamen Nachvernetzung der Dichtungen kommen. Dies ist zum einen abhängig vom jeweiligen Vernetzungssystem (anfällig dafür ist eine Schwefelvernetzung), aber auch von der Verarbeitung (Reste von Vernetzungschemikalien im fertigen Elastomerprodukt). Die dadurch entstehende leichte Übervulkanisation führt zu einer Verschlechterung bestimmter mechanischer Kennwerte. Dies wird genauer in einem Fachartikel von BOYUM und RHOADS[3] aus dem Jahr 1989 beschrieben. Im Falle einer Untervulkanisation eines schwefelvernetzten Elastomers wird die Nachvulkanisation bei der Lagerung zunächst sogar zu einer Verbesserung der Eigenschaften führen.
Das Auftreten einer starken Alterung durch die Lagerung infolge von Wärme und Sauerstoff bzw. einer Nachvernetzung lässt sich zerstörungsfrei am leichtesten durch eine signifikante Härteänderung erkennen, Schäden durch Ozon durch Rissbildungen in lokal verformten Bereichen (bei nicht spannungsfreier Lagerung und freiem Luftzutritt).

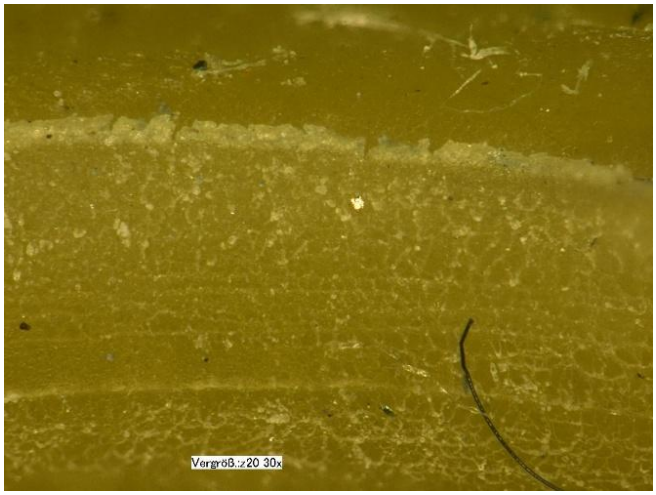


Bild 4: Infolge von Hydrolyse bilden sich bei PUR weiße, wachsartige Rückstände an der Oberfläche: Beispiel eines AU bei 30-facher Vergrößerung (Bild: OPR Elastolabs)

[3] BOYUM, Bruce M. und RHOADS, Jerral E.: Elastomer shelf life: aged junk or jewels? In: IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 4, Issue 2, June 1989, S. 197-203, Abstract online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 07.03.2026): https://ieeexplore.ieee.org/document/17912

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Ein weiterer Effekt bei der Lagerung von Elastomeren ist das Ausgasen oder die Migration von Mischungsbestandteilen.[4] Dies findet man teilweise bei weniger hochwertigen bzw. ungesättigten Elastomeren (NR, SBR, NBR und deren Verschnitte) oder bei unpolaren Elastomeren (IIR, EPDM) mit hohen und eher niedersiedenden Weichmacheranteilen.
Zur konkreten Abschätzung der Lebensdauer eines bestimmten Compounds wird heute oft der Ansatz nach Arrhenius herangezogen, da durch ihn langjährige natürliche Alterungsversuche unter Normlagerbedingungen zeitlich stark gestrafft werden können.

2.2 Vertiefung – der Ansatz nach Arrhenius[5]

Der für den Gummiwerkstoff aggressivste Bestandteil der Luft ist der Sauerstoff. In Verbindung mit Wärme nennt man die Einwirkung „thermooxidative Alterung"[6] welche an Gummiwerkstoffen durch Kettenbruch oder Nachvernetzung zu einer Veränderung der Elastizität führt:
Diese Veränderungen beruhen auf chemischen Reaktionen. Geht man davon aus, dass in der Umgebung der Gummiwerkstoffe im Einsatz bzw. in der Prüfung der Wärmebeständigkeit immer genügend Sauerstoff vorhanden ist und die Geometrie des untersuchten Körpers so beschaffen ist, dass DLO (Diffusion Limited Oxidation) – Effekte sehr gering sind, dann hängt die Reaktionsgeschwindigkeit der Alterungsreaktion im Wesentlichen nur von der Temperatur ab. Für die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von chemischen Prozessen von der Temperatur gibt es einen allgemeinen Ansatz mit zwei freien Parametern, die sogenannte Arrheniusgleichung. Da also der Verlust der Elastizität auf einer chemischen Reaktion beruht, lässt sich die Geschwindigkeit der Alterungsreaktion prinzipiell in Abhängigkeit von der Temperatur **T** auch mittels einer Arrhenius-Gleichung darstellen[7] :

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{R \cdot T}}$$

Dabei hatte Arrhenius die zwei freien Parameter als präexponentiellen Faktor **A** und als Aktivierungsenergie $\mathbf{E_A}$ definiert, **k** steht für die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante, und **R** steht für die universelle Gaskonstante.

Leider lässt sich aber die Reaktionsgeschwindigkeit der Alterung nicht direkt messen, man kann nur deren Auswirkungen feststellen. Dies kann man tun, indem man die Zeit misst, bis ein bestimmtes Kriterium erreicht wird, z.B. eine bestimmte Änderung der Härte, der Reißdehnung oder der Zugfestigkeit oder ein bestimmter Druckverformungsrest-Wert. Führt man dann künstliche Alterungen bzw. Wärmeeinlagerungen bei unterschiedlichen Temperaturen durch, ergeben sich daraus unterschiedliche Zeiten, bis das definierte Kriterium erreicht wird. Und damit hat man indirekt die Reaktionsgeschwindigkeit gemessen. Der große Nutzen der Arrheniusgleichung ist, dass eine Proportionalität besteht zwischen dem Logarithmus der Reaktionsgeschwindigkeit bzw. der Zeit (bis zum Erreichen eines Grenz-/Lebensdauerkriteriums) und dem Kehrwert der absoluten Temperatur der stattgefundenen Reaktion. Damit lässt sich dieser Zusammenhang in einer Geraden darstellen. Kennt man mindestens zwei Punkte dieser Geraden, d.h. für zwei Temperaturen die Zeit, bis das Lebensdauerkriterium erreicht wird, kann man (theoretisch) für beliebig viele andere Temperaturen vorhersagen, wann dieses Lebensdauerkriterium eintreten wird.

Nimmt man als Grenzkriterium einen Verlust der Elastizität, der gerade noch ausreicht, damit das Gummiteil noch elastisch genug ist, kann man mit diesem Prinzip sogenannte Lebensdauergeraden erstellen.

Nach der ISO 11346[8] wird eine Extrapolation von hohen zu tieferen Temperaturen bis zu einer Temperaturdifferenz von 40K noch als belastbar eingestuft. Will man also die zulässige Lagerzeit bei max. 30°C Lagertemperatur ermitteln, so sollten für die Erstellung der Lebensdauergerade Langzeitergebnisse bei maximal 70°C vorliegen. Dies wäre zum Beispiel für NBR-Werkstoffe eine geeignete beschleunigte Prüftemperatur. So zeigt eine Lebensdauergerade eines NBR-PVC-Werkstoffes (**Abb. 5**), welche bei Temperaturen

[4] Ebd., S. 198, Kap. IV.

[5] Dieses Unterkapitel 2.2 ist zu großen Teilen aus folgendem Fachartikel der Autoren übernommen: RICHTER, Bernhard und BLOBNER, Ulrich: Wie lange bleiben Gummidichtungen elastisch? – Über das Langzeitverhalten von O-Ringen und anderen Elastomerdichtungen in Theorie und Praxis, Juni 2022, S. 3f. Internetinformation der OPR Elastolabs: https://o-ring-prueflabor.de/wp-content/uploads/2026/02/fachwissen_o_ringe_langzeitverhalten_elastizitaet-layout-neu.pdf

[6] Weiterführende Literatur: HERZIG, Alexander Kurt: Thermo-oxidative ageing of elastomers – A contribution of the experimental investigation and modelling, Dissertation, 2020 Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am 22.04.2022): https://athene-forschung.unibw.de/download/132695/132695.pdf

[7] Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Arrhenius-Gleichung (Zugriff auf Webseite: 30.05.2026)

[8] ISO 11346: 2023-06: Rubber, vulcanized or thermoplastic – Estimation of life-time and maximum temperature of use (Diese Norm beschreibt, wie man mit Hilfe der Arrheniusgleichung beschleunigte Alterungsprüfungen auswerten kann, genauer gesagt, wie man aus Kurzzeitversuchen bei hohen Temperaturen auf die Lebensdauer bei niedrigen Gebrauchstemperaturen schließen kann.)

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

zwischen 70°C und 110°C ermittelt wurden bei dem Lebensdauerkriterium einer relativen Änderung der Reißdehnung um 50% eine zulässige Lebensdauer bei 30°C von ca. 50 Jahren. Bei einer Lagerung bei 20°C – was in der Praxis realistischer wäre – erhielte man bereits eine maximale Lagerdauer von deutlich über 100 Jahren.
Liegt die unterste Prüftemperatur für die Erstellung einer Lebensdauergerade wesentlich höher als 40K über der Lagertemperatur, sollte das bei der Interpretation dieser Lebensdauergeraden als einschränkend berücksichtigt werden. Bei gesättigten Elastomeren wie EPDM, FKM, VMQ oder gar FFKM kommt man allerdings bei dieser Vorgehensweise auf zulässige Lagerzeiten bei 30°C auf ein Vielfaches von 100 Jahren. Damit findet sich selbst bei sehr kritischer Betrachtung kein Argument der Begrenzung der Lebensdauer von gesättigten Elastomeren aufgrund der Einwirkung durch Wärme und Sauerstoff.

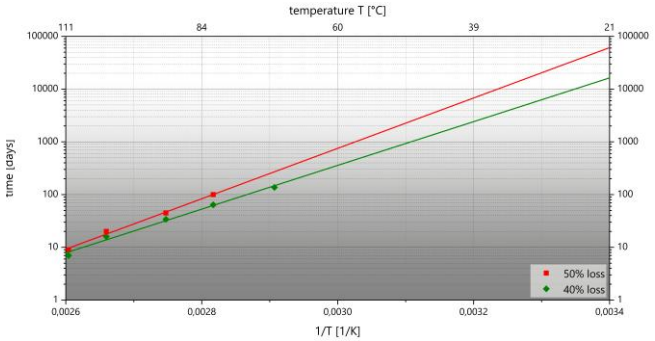


Abb. 5: Lebensdauerkurve für einen NBR/PVC-Werkstoff, basierend auf spannungsfreien Langzeitalterungen bei 70°C bis 110°C über 125 Tage (Lebensdauerkriterium: Abnahme der Reißdehnung) (Bild: OPR Elastolabs basierend auf Daten von[9])

3. Technische Normen und Vorschriften zur Lagerfähigkeit von Dichtungen

Es gibt eine Vielzahl von Normen, welche sich mit dem „Shelf Life" von Dichtungen befassen, so dass es schwierig ist den Überblick zu behalten. Besonders Dichtungshersteller bieten im Internet „Blogs" oder Informationsseiten, die sich aber dann meist nur auf eine der Normen beziehen.
Im Folgenden sollen alle bedeutenden Normen in Europa und Nordamerika der Wichtigkeit nach aufgeführt werden (aus europäischer Sicht). Am Ende des Kapitels folgt noch ein Abschnitt für den tiefer interessierten Leser, wie sich die Normung zu dieser Fragestellung entwickelt hat.

3.1 ISO 2230 (2026-03)

Diese ISO-Norm wurde 1973 erstmalig veröffentlicht und wird für industrielle Dichtungsanwendungen in Deutschland häufig herangezogen. Die letzte Aktualisierung dieser Norm erfolgte im März 2026. Da die meisten Anwender noch mit der Vorgängerversion vom April 2002[10] vertraut sind, wird besonders auf die Änderungen in der aktuellen Fassung eingegangen.
Es wird zwischen einem ursprünglichen und einem erweiterten, also verlängertem Lagerzeitraum unterschieden. Die Lagerlebensdauer ist der Zeitraum, nach welchem das Produkt nicht mehr die Anforderungen erfüllt, für welche es hergestellt wurde.
In Kapitel 4 der Norm werden Gummiwerkstoffe nach ihren Basiselastomeren in drei Gruppen (A, B und C) unterteilt. Die Gruppe A steht für Elastomere mit mäßiger Alterungsbeständigkeit, Gruppe B für eine mittlere und Gruppe C für eine hohe Alterungsbeständigkeit.
In der Ausgabe 2026[11] der Norm wurden im Vergleich zur Vorgängernorm zu den Gruppen zusätzliche Elastomerarten hinzugefügt und manche in andere Gruppen einsortiert. Diese Änderungen decken sich aber mit Erfahrungswerten aus der Prüfpraxis.

Klassifizierung	***Gruppe A***	***Gruppe B***	***Gruppe C***
Eigenschaften (Alterungsbeständigkeit)	mäßig	mittel	hoch
Basis-elastomere (Auswahl)	BR, NR, SBR, PUR (EU und AU)	ECO, CR, HNBR, NBR, NBR/PVC	ACM (war in Ausgabe 2002 in Gruppe B), AEM (neu aufgenommen), EPDM, EVM und FFKM (neu aufgenommen), FKM und Silikonkautschuke

Tab. 1: Auflistung wichtiger Elastomertypen nach ihrer Alterungsbeständigkeit gem. ISO 2230 (2026-03)

Kapitel 5 gibt Hinweise zur Verpackung und Verpackungsmaterialien. Die Dichtungen sollten idealerweise einzeln verpackt werden, wo dies nicht möglich ist, sollten sie so verpackt werden, dass der Zutritt von Frischluft verhindert wird. Dies gilt nicht für Silikondichtungen, welche sich unter Luftabschluss verschlechtern können. Die Vernetzungsreaktion von VMQ kann bei raumtemperaturvernetzenden Typen mehrere Tage andauern. Durch die Verpackung kann es bei VMQ zu einer anaeroben Kondensation kommen, wobei sich Nebenprodukte aus der Nachvernetzung akkumulieren.

[9] Das Diagramm wurden mit Daten aus folgendem Seminar erstellt: LE HUY, Mai und EVRARD, Guy: Methodologies for lifetime predictions of rubber using Arrhenius and WLF models, Seminar des LRCP in Boras/Schweden, Elastocon vom 31.10. bis 01.11.2000
[10] ISO 2230:2002-04: Rubber products – Guidelines for storage
[11] ISO 2230:2026-03: Rubber products – Guidelines for storage

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Diese können zu einer Hemmung der Vulkanisation oder einer Zerstörung der Werkstoffstruktur führen. Die Reversion tritt v.a. in feuchter und warmer Umgebung auf. Dichtungen aus VMQ sollten deshalb erst mehrere Tage nach der Produktion verpackt werden. Da das Ausmaß der oben beschriebenen Effekte stark von der jeweiligen Mischung abhängt, müssen Details beim Mischungshersteller/-verarbeiter erfragt werden.[12]
Die Verpackungsmaterialien sollten keine Weichmacher enthalten. Außerdem werden Vorgaben zur Beschriftung der Verpackung gemacht.
Im nächsten Kapitel der Norm werden die Lagerungsbedingungen aufgezählt. Die Temperatur sollte zwischen 10° und 30°C betragen. In der Vorgängernorm wurde eine Lagertemperatur von weniger als 25°C gefordert und es gab auch Hinweise, was bei einer Lagerung unterhalb von 15°C zu beachten sei, da es je nach Materialtyp zu einer Versteifung kommen kann. Dieser Zusatz zur Kälte entfiel in der aktuellen Fassung.
Die relative Luftfeuchtigkeit im Lagerraum sollte weniger als 70% betragen, bei Polyurethanen weniger als 65%. Außerdem sollte der Kontakt mit direktem Sonnenlicht, ionisierender Strahlung, Kautschukgiften (wie z.B. Kupfer oder Mangan), flüssigen oder fettigen Medien oder Geräten, welche Ozon freisetzen, vermieden werden. Pulver, wie z.B. Talkum, welche verwendet werden, um das Anhaften von Gummiformteilen zu verhindern, sollten nur sehr sparsam und wo unbedingt notwendig, eingesetzt werden. Ferner sollten Dichtungen aus unterschiedlichen Compounds nicht miteinander vermischt werden, spannungsfrei gelagert werden, bei Gummi-Metall-Bauteilen muss darauf geachtet werden, dass die Konservierungsmittel für das Metall das Elastomer nicht negativ beeinträchtigen. Bei Ein- und Auslagerung soll das FIFO-Prinzip angewendet werden.
Die Modalitäten zur Verlängerung der Lagerdauer werden in Kapitel 7 der ISO 2230 beschrieben. Prüfungen sollten im Rahmen der jeweiligen Produktspezifikation erfolgen und für Fälle, in denen dies nicht möglich ist, werden Vorgaben für eine Sichtprüfung gemacht. In der **Tab. 2** finden sich die Vorgaben aus der Norm nach den drei Elastomergruppen (siehe **Tab. 1**).

Elastomerklassifizierung	**Allgemeine Lagerdauer** [Jahre]	**Mögliche Verlängerung der Lagerdauer** nach Prüfung [Jahre]
Gruppe A (mäßige Alterungsbeständigkeit)	5	2
Gruppe B (mittlere Alterungsbeständigkeit)	7	3
Gruppe C (hohe Alterungsbeständigkeit)	10	5

Tab. 2: Zulässige Lagerzeiten für Elastomere nach ISO 2230 (2026-03)

Bei Bauteilen aus der Gruppe A reduziert sich die maximale Lagerdauer, wenn sie geschäumt sind oder Wandstärken kleiner 1,5mm aufweisen. In beiden Fällen sind sie verstärktem Sauerstoffangriff und damit höherer Alterung ausgesetzt. In der ISO 2230 (2002) wird darauf hingewiesen, dass eine Lagerung von 10K über 25°C zu einer Halbierung der maximalen Lagerdauer führt, während eine Lagerung von 10K unterhalb der Standardtemperatur eine Verlängerung der Lagerdauer von ca. 100% ergibt. Die aktuelle ISO 2230 (2026) beschreibt auch diesen Effekt, nennt aber keine konkreten Prozentwerte mehr.

3.2 DIN 7716[13]

Diese Norm erschien erstmalig im November 1955. In die aktuell gültige Normausgabe aus dem Jahr 1982 wurden die ISO 2230 (Ausgabe 1973) und noch weitere Normen und Lagervorschriften für Fördergurte, Karkassen und Arbeitsmedien für die Reifenrunderneuerung eingearbeitet. Letztere Informationen werden in der Kurzbeschreibung dieser Norm nicht aufgelistet, da sich der Artikel nur auf Fertigerzeugnisse aus Elastomeren bezieht.
Abweichungen zur aktuell gültigen ISO 2230 gibt es im Bereich der Lagertemperatur. Die DIN erlaubt einen Temperaturbereich von -10°C bis +15°C. Als absolute Obergrenze sind 25°C zulässig. Bezüglich der unteren Grenztemperatur gibt es Einschränkungen für Elastomere, welche zur Kältekristallisation neigen (z.B. CR). Diese sollten nicht kälter als +12°C gelagert werden. Sehr kalt gelagerte Gummierzeugnisse sollen vor einem Einsatz bei +20°C „aufgetaut" werden, am besten in der Verpackung, um eine Kondensation auf der Dichtung zu vermeiden.

[12] E-Mail Mitteilung vom technischen Ansprechpartner der ISO 2230, J. Havinga, vom 16.05.2026

[13] DIN 7716 (Mai 1982): Erzeugnisse aus Kautschuk und Gummi: Anforderungen an die Lagerung, Reinigung und Wartung

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Zur spannungsfreien Lagerung, v.a. von Elastomerverbundartikeln, wie z.B. Keilriemen gibt diese Norm detailliertere Hinweise als die ISO 2230 (2002).
Konkrete Jahresangaben zur Lagerdauer – gestaffelt nach den jeweiligen Elastomergruppen wie in der ISO 2230 – enthält diese DIN nicht.
Für den Bedarfsfall nennt die DIN 7716 Möglichkeiten der Reinigung für Gummiartikel. Entweder mit warmem Wasser und Seife oder einer 1,5%igen Natriumbikarbonatlösung, welche mit Wasser abgespült werden soll. Gummi-Metall-Bauteile können mit einer Glyzerin-Spiritusmischung im Verhältnis 1:10 gereinigt werden.

3.3 DIN 9088[14]

Relativ unbekannt ist diese durchgängig zweisprachig (dt./engl.) gehaltene DIN-Norm, welche vom Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN erstellt wurde und im September 1985 erstmalig herausgegeben wurde. Normativ verweist sie auf die DIN 7716, bietet aber im Gegensatz zu ihr konkrete Lagerzeiten an, die in einigen Fällen deutlich länger als in der ISO 2230 sind. Dies ist verwunderlich, da es sich bei der Luft- und Raumfahrtbranche um den Industriezweig mit den üblicherweise höchsten Qualitätsanforderungen handelt. Vermutlich geschah dies in Anlehnung an US-amerikanische Normen bzw. Richtlinien aus dem Militär- und Luftfahrtbereich (siehe Kap. 3.4 ff.).
Es wird in der DIN 9088 unterschieden zwischen einer garantierten Lagerzeit, innerhalb welcher das Bauteil ohne Verlängerungsprüfung verwendet werden darf und einer erweiterten Lagerzeit. „Eine Lagerzeitverlängerung ist möglich, wenn die Verwendbarkeit nach Ende der garantierten Lagerzeit geprüft wird. Die Wiederholung der Lagerzeitverlängerung in Intervallen ist beliebig oft möglich."[15] Der Endabnehmer muss die fortgesetzte Eignung des Bauteils durch die in Kap. 7.3 der Norm beschriebenen Maßnahmen (u.a. Sichtprüfung mit Lupe) und ggf. durch zusätzliche Vorgaben aus den Techn. Lieferbedingungen sicherstellen. In Kapitel 6 werden Elastomere – wie in der ISO 2230 – nach ihren Basiselastomeren in drei Klassen unterteilt, welche mit den römischen Ziffern I, II und III (= beste Alterungsbeständigkeit, entspricht „Gruppe C" in der ISO 2230) unterschieden werden (**Tab. 3**).

Klassifizierung	***Klasse I***	***Klasse II***	***Klasse III***
Alterungsbeständigkeit	mäßig	mittel	hoch
Basiselastomere (Auswahl)	BR, NR, IR, SBR	NBR, IIR, CIIR, BIIR, CR	VMQ, PVMQ, EPM, EPDM, FVMQ, FKM, FFKM

Tab. 3: Auflistung von Elastomertypen nach ihrer Alterungsbeständigkeit gem. DIN 9088

Interessant ist, dass bei der DIN 9088 die Vorgabe der maximalen Lagerzeit nicht nur vom Basispolymer einer Mischung abhängig ist, sondern auch vom Einsatzbereich des Bauteils. So haben bspw. stark sicherheitsrelevante Bauteile wie Atemsauerstoffschläuche kürzere maximale Lagerzeiten als Dichtungen oder Formteile. Außerdem werden die Lagerzeiten nicht in Jahren, sondern in Quartalen angegeben, welche aber in **Tab. 4 und 5** der besseren Verständlichkeit halber in Jahren umgerechnet wurden.

Elastomerprodukt	**Maximale Lagerzeit [Jahre]**		
	Klasse I (mäßige Alterungsbeständigkeit)	**Klasse II** (mittlere Alterungsbeständigkeit)	**Klasse III** (hohe Alterungsbeständigkeit)
Dichtungen, Halbzeuge und Formteile	10	10	10
Schläuche	8	8	10
Atemsauerstoffschläuche	5	6	10
Aufblasbare Schwimmkörper	5	5	10

Tab. 4: Zulässige Lagerzeiten für Elastomere in Luft- und Raumfahrtanwendungen, Auszug aus der DIN 9088[16] , zur Klasse I zählen mäßig altersbeständige Elastomere wie SBR, NR oder BR, zur Klasse II gehören u.a. NBR, CR und in Klasse III sind Fluor-, Silikonkautschuke und EPDM eingruppiert

[14] DIN 9088: Luft- und Raumfahrt Lagerzeiten von Erzeugnissen aus Elastomeren, November 2002

[15] Ebd., S. 8, Kap. 7.1, Tab. 2, Bemerkung a

[16] Ebd., S. 8, Kap. 7.1, Tab. 2

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Werkstoffklasse	Maximale ursprüngliche Lagerzeit [Jahre]	Prüfungsintervall zur Erweiterung der max. Lager-zeit [Jahre]
I und II (mäßige und mittlere Alterungsbeständigkeit)	5	1
	6	1
	8	2
	10	3
III (hohe Alterungsbeständigkeit)	10	5

Tab. 5: Das Prüfungsintervall zur Verlängerung der Lagerzeit ist in der DIN 9088[17] abhängig von der Werkstoffklasse und der ursprünglichen maximalen Lagerzeit, bei Einhaltung der vorgeschriebenen Prüfungsintervalle kann bei Bestehen die Lagerzeit beliebig oft erweitert werden

3.4 SAE ARP 5316™E[18]

Da der wichtige Militärstandard MIL-STD-1523A am 30. Januar 1995 ersatzlos zurückgezogen wurde, aber nur ein Verweis auf eine Schlauchnorm (SAE-AS1933A) gegeben wurde, kam es in der Industrie und bei Anwendern zu Unsicherheiten. Diese wurden durch Einführung der SAE ARP 5316 im Jahr 1998 teilweise gelöst. Mit dem Buchstaben „E" wurde die letzte Version dieses Aerospace Recommended Practice bezeichnet, die im Oktober 2014 erschien und im Oktober 2018 zurückgezogen und durch die SAE AS5316D ersetzt wurde.

Dieses Regelwerk ist das erste bedeutende weltweit, das maximale und verbindliche Lagerzeiten in Abhängigkeit vom Basiselastomer einer Dichtung vorgibt. Die alte ISO 2230 (1973) hatte bis zur Ausgabe 2002 keine Angaben zu konkreten maximalen Lagerzeiten.

In großen Teilen decken sich die Forderungen und Erklärungen zu möglichen Schädigungsmechanismen bei der Lagerung in der SAE ARP 5316E mit denen in der ISO 2230 (2002). Allerdings erlaubt die SAE ARP 5316 eine etwas höhere Lagertemperatur (< 100°F/38°C) und relative Luftfeuchtigkeit (<75%, PUR-Elastomere < 65%). In Kapitel 8 werden maximale Lagerzeiten benannt. Diese werden den jeweiligen AMS (Aerospace Material Specifications) und Military Specifications des US-Militärs zugeordnet. In **Tab. 6** werden diese Informationen aus Kap. 8.1 der ARP auf die einzelnen Basiselastomere der in den Spezifikationen geforderten Mischungen zusammengefasst.

Basiselastomer	**Lagerzeit ab Vulkanisation [Jahre]**
SBR	3
PUR-AU oder -EU	5
CR	15
CSM	15
NBR	15
EPDM	unbegrenzt
IIR	unbegrenzt
FKM	unbegrenzt
FEPM	unbegrenzt
FFKM	unbegrenzt
FVMQ	unbegrenzt
PVMQ	unbegrenzt
Silikone Q / VMQ	unbegrenzt

Tab. 6: Maximale Lagerzeiten nach der SAE ARP5316E, „Manche Organisationen betrachten „unbegrenzt" als gleichbedeutend mit 25 Jahren."[19]

Diese Vorgaben entbinden aber nicht den Dichtungsanwender von der Verantwortung sicherzustellen, dass die Bauteile die aktuelle Spezifikation einhalten. So heißt es in der ARP 5316E: „Sofern in der Produktspezifikation oder den Anmerkungen zur Bestellung nicht anders angegeben, gelten die in den Tabellen 1, 2 und 3 [siehe **Tab. 6** oben] beschriebenen maximalen Lagerzeiten für unmontierte elastomere Dichtungselemente. Dies setzt voraus, dass die gelagerten Elastomere den aktuellen technischen Anforderungen entsprechen. Ist dies nicht der Fall, müssen sie entsorgt werden, da nur elastomere Dichtungen, die den aktuellen technischen Anforderungen entsprechen, in Anwendungen verwendet werden sollten, um die höchste Dichtungsintegrität für die aktuellen Systemanforderungen zu gewährleisten."[20]

3.5 SAE AS 5316™ [21]

Das SAE Regelwerk ARP 5316 war eine sogenannte „empfohlene Vorgehensweise/Praxis" (ARP = Aerospace Recommended Practice), also keine Norm im streng genommenen Sinne. Jedoch wurde dieses Dokument in der alltäglichen Anwendung wie eine Norm verwendet. Deshalb entstand bei der Luftfahrtindustrie das Bedürfnis die ARP 5316 in eine Norm (SAE AS 5316; AS = Aerospace Standard) zu überführen. Die AS 5316 wurde im November 2017 eingeführt, um die ARP 5316 zu ersetzen. Letztere wurde im Oktober 2018 ersatzlos zurückgezogen.

[17] Ebd., S. 10, Kap. 7.2, Tab. 3
[18] SAE ARP 5316E: Storage of Elastomer Seals and Seal Assemblies Which Include an Elastomer Element Prior to Hardware Assembly, Ausgabe: 2014-10
[19] Ebd., S. 14, Table 3
[20] Ebd., S. 7, Kap. 8.1
[21] SAE AS 5316™: Storage of Elastomer Seals and Seal Assemblies Which Include an Elastomer Element Prior to Hardware Assembly, Ausgabe: 2017-11, Reaffirmed: 2022-11

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Die empfohlenen Lagerzeiten sind identisch mit denen in der ARP 5316E, neu hinzugekommen sind Informationen über mögliche negative Einflüsse bei der Lagerung von Elastomerbauteilen, welche vermieden werden sollen.

3.6 MIL-HDBK-695E[22]

Das militärische Handbuch des US-amerikanischen DoD (Department of Defence)-Standardisierungssystems ist streng genommen keine Norm, sondern ein Leitfaden mit Empfehlungscharakter. Es ergänzt Material- und Produktspezifikation (MIL-SPEC) und technische Standards (MIL-STD). Frühere Ausgaben bezogen sich auf den MIL-STD-1523, der aber durch die beiden SAE-Normen AS 1933 und ARP5316/AS5316 ersetzt wurde. Auf diese SAE-Normen verweist nun die aktuelle Ausgabe MIL-HDBK-695E (2011).

Das Handbuch gibt Empfehlungen zu Lagerzeiten für die meisten Elastomerartikel, welche im militärischen Bereich eingesetzt werden. Ausgenommen sind aber u.a. O-Ringe, Formdichtungen und Schläuche für die Luftfahrt. Bei diesen Bauteilen soll bzgl. der Lagerfähigkeit die SAE ARP5316 bzw. AS1933 herangezogen werden.

Basiselastomer	Lagerzeit ab Vulkanisation
Silikone Fluorkautschuke (FKM, FFKM, FVMQ) Acrylatkautschuke (ACM) Butylkautschuk (IIR) EPDM, EPM	Mindestens 20 Jahre
NBR CSM CR	Maximal 15 Jahre
Polyurethane (AU und EU)	Maximal 5 Jahre
SBR NR IR	Maximal 3 Jahre

Tab. 7: Maximale Lagerfähigkeit von Dichtungen nach Empfehlungen des US-Militärs in MIL-HDBK-695E[23] : Interessant ist die Angabe von minimalen bzw. maximalen Lagerzeiten. Eine Verlängerung der Lagerfähigkeit wird den zuständigen Abteilungen nach Prüfung empfohlen.[24]

Als maximale Lagertemperatur werden 100°F (=38°C), als relative Luftfeuchtigkeit <75% angegeben. Zentral in diesem Dokument ist die Tabelle I auf S. 7, in welcher die Lagerzeiten nach den jeweiligen Basiselastomeren der Mischungen aufgelistet werden (**Tab. 7**). Es wird darauf hingewiesen, dass die Zeiten und Einflussfaktoren auf die Alterung von gelagerten Elastomeren mit Hilfe der SAE-Norm ARP 5316 entwickelt wurden.[25]

Der Großteil dieses Handbuchs besteht aus Tabellen, die unzählige militärische oder US-Bundesspezifikationen und Normen verschiedener Institutionen auflisten, welche sich mit Elastomeren befassen. Für die darin vorkommenden Werkstoffe wird deren maximale Lagerzeit tabellarisch angegeben.

3.7 SAE AS 1933B[26]

Diese SAE-Norm erschien erstmalig im Februar 1985. Die aktuell gültige Version stammt vom September 2024 (Rev. B). Seit 2024 ist sie im Modus „stabilized", was bedeutet, dass sie nicht mehr regelmäßig auf Aktualität überprüft wird. Sie befasst sich mit zulässigen Lagerzeiten von Schläuchen für die Luft- und Raumfahrt.

In dieser Norm werden keine maximalen Lagerzeiten für Schläuche bzw. konfektionierte Schläuche vorgeschrieben, folglich gibt es auch keine Differenzierung nach Elastomerarten. Es wird lediglich das maximale Alter vorgeschrieben, welches ein Schlauch ab dem Vulkanisationsdatum bis zur Abnahme durch den Anwender haben darf. Dieses ist auf 32 Quartale, also 8 Jahre begrenzt. Die tatsächliche Lagerdauer über den Akzeptanzzeitpunkt hinaus wird meist in anderen Kunden-/OEM-Spezifikationen festgelegt. Üblich in der Praxis ist oft eine maximale Lagerzeit (ab Vulkanisationsdatum) von 12 Jahren.[27] Die max. zulässigen Lagertemperaturen sind in dieser Norm außergewöhnlich hoch. Sie sollen 125°F (ca. 52°C) nicht überschreiten.

3.8 Kurze Entstehungsgeschichte und wichtige Vorläufernormen

In älterer deutscher und englischsprachiger Fachliteratur (vor 1950) konnten zur Lagerfähigkeit keine Informationen gefunden werden. Das Problem, dass länger eingelagerte Gummierzeugnisse unbrauchbar, z.B.

[22] MIL-HDBK-695E: Department of Defense Handbook Rubber Products: Recommended Shelf Life, 20 October 2011, Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am: 07.03.2026): https://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0600-0699/MIL-HDBK-695E_38675/

[23] Vgl. Ebd., S. 7, Table I

[24] Vgl. Ebd., S. 2, Kap. 1.3

[25] Vgl. Ebd., S. 4, Kap. 4

[26] SAE 1933B: Age Controls for Hose Containing Age-Sensitive Elastomeric Material,
Ausgabe: 2024-09-17 (Stabilized)

[27] Weiterführende Erklärungen siehe Internetinformation der Fa. WMT Maintenance Technik AG, St. Augustin: Haltbarkeit – Zeitbegrenzungen für Schläuche und Schlauchleitungen, Link zur Webseite (zuletzt aufgerufen am 07.03.2026): https://www.wmtonline.eu/schlauchleitung/schlauchleitungen-haltbarkeit/

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

klebrig oder rissig wurden, war den Anwendern bereits seit dem 19. Jhdt. sehr bewusst, da bis in die 1940er Jahre fast ausschließlich Naturkautschuk eingesetzt wurde, der eine der schlechtesten Lagerfähigkeiten aufweist. Es ist davon auszugehen, dass damals die Entscheidung über einen Einsatz bspw. einer Dichtung nach Lagerung auf empirischen Erfahrungswerten der Anwender beruhte. Nach dem zweiten Weltkrieg wurden immer mehr unterschiedliche synthetische Elastomere eingesetzt, auch in kritischen Bereichen wie der Flugzeughydraulik oder Kraftstoffversorgung. Besonders in der Luftfahrt und Raketentechnik wurden immer höhere Anforderungen an Dichtungen und deren Funktionsfähigkeit über längere Zeiträume gestellt. Um eine Lagerhaltung planen zu können, mussten konkrete reproduzierbare Versuchsergebnisse über die Lagerfähigkeit von Elastomeren gesammelt und ausgewertet werden.

In Deutschland gab es bereits im Oktober 1954 einen ersten Normentwurf zum Thema Lagerfähigkeit mit dem Titel „Gummi-Erzeugnisse – Lagerung und Wartung", aus welchem 1955 die DIN 7716 hervorging.

Das Air Force-Navy Aeronautical Bulletin ANA 438[28] ist eines der frühesten US-Dokumente aus dem Luftfahrtbereich, welches 1958 erstmalig veröffentlicht wurde und sich mit Altersüberwachung von kritischen Elastomeren auseinandersetzte. Die Einführung entsprechender Vorgaben zur Altersüberwachung führte bei Anwendern von Elastomerbauteilen zunächst zu Unsicherheiten und war teilweise mit erhöhten Kosten bei der Beschaffung von Dichtungen verbunden. Vor diesem Hintergrund wurden in mehreren Forschungsprogrammen die Alterungs- und Lagerungseigenschaften elastomerer Werkstoffe systematisch untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind unter anderem im Bericht der US-Luftwaffe (AFML-TR-67-235) dokumentiert. Die damaligen Auswertungen zeigten, dass sich die Eigenschaften von Elastomermaterialien infolge materialtechnischer Fortschritte über die Jahre hinweg verbessert haben. Dadurch wurden die Altersbegrenzungen für Elastomere nicht mehr so streng ausgelegt.[29] [30]

Die ANA 438 wurde im September 1973 durch MIL-STD-1523 ersetzt. In diesen Militärstandard flossen auch die Ergebnisse dieser Untersuchungen ein. Die letzte Ausgabe dieses MIL-STD erschien im Februar 1984. Darin wurden die Lagerzeiten im Vergleich zur ersten Ausgabe nochmal verlängert. Inzwischen ist dieser Standard zurückgezogen und wird seit 1999[31] durch die beiden SAE-Normen AS 1933 und ARP/AS 5316 ersetzt.

Die Industriezweige Luft- und Raumfahrt und Elektrotechnik (insbesondere Nukleartechnik) haben Anforderungen an Werkstoffe, die oft an und auch über deren bekannte Grenzen gehen (z.B. Dichtungen in Behältern für die Endlagerung von Nuklearbrennelementen). So gab es in den USA Ende der 1980er Jahre wegweisende Untersuchungen und Veröffentlichungen zur Lagerfähigkeit unter dem Dach der IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)[32] und EPRI (Electric Power Research Institute)[33], die auch die weitere Forschung und Normung zum Thema beeinflusst haben. Leser, welche noch tiefer an der Entstehungsgeschichte des Fachgebietes „Lagerfähigkeit von Elastomeren" interessiert sind, seien auf das Kapitel 3 (S. 3-1 bis 3-6) des zuletzt genannten EPRI-Report NP-6608 und auf die einleitenden Ausführungen in der SAE-Norm ARP 5316 (Kap. 3) verwiesen.

3.8.1 MIL-STD-1523A[34]

Diese inzwischen ersatzlos zurückgezogene Norm war für Elastomerbauteile in militärischen Luftfahrzeugen und Raketen und für Raumfahrzeuge bestimmt. Sie galt für Schläuche und O-Ringe. Nach einleitenden

[28] ANA-BUL-438C NOT1 : Age Controls Of Age-Sensitive Elastomeric Items, U.S. Department of Defence, Document Status: Cancelled

[29] Vgl. Internetinformation der Fa. Apple Rubber, Lancaster, NY: How to Calculate Shelf Life of Elastomers, Category „Materials", March 18, 2015, Info online verfügbar (Webseite zuletzt aufgerufen am: 06.03.2026): https://www.applerubber.com/hot-topics-for-engineers/how-to-calculate-shelf-life-of-elastomers/

[30] Vgl. SAE Aerospace Recommended Practice SAE ARP5316E: Storage of Elastomer Seals and Seal Assemblies Which Include an Elastomer Element Prior to Hardware Assembly, Revised 2014-10, Cancelled 2018-10, S. 3f., Kap. 3

[31] MIL-STD-1523A (Notice 2 vom 16.November 1999): siehe Information auf folgender Webseite (zuletzt aufgerufen am 06.03.2026) https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1500-1599/MIL-STD-1523A_NOTICE-2_23485/

[32] BOYUM, Bruce M. und RHOADS, Jerral E.: Elastomer shelf life: aged junk or jewels? in: IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 4, Issue 2, June 1989, S. 197-203, Abstract online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 07.03.2026): https://ieeexplore.ieee.org/document/17912

[33] BOYUM, Bruce M.; RHOADS, Jerral E. und DAVIS, C.M.: Shelf Life of Elastomeric Components, EPRI Report NP-6608, May 1994, Dokument online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 07.03.2026): https://www.epri.com/research/products/np-6608

[34] MIL-STD-1523A: Age Controls of Age-Sensitive Elastomeric Materials (for Aerospace Applications), 1 February 1984, zurückgezogen am 30. Januar 1995, Dokument online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 07.03.2026): https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1500-1599/MIL-STD-1523A_NOTICE-1_23486/

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Erklärungen und Definitionen von Fachbegriffen, werden Bedingungen für die Annahme eines Elastomerartikels von einem Lieferanten durch eine Regierungsstelle aufgelistet. Neben der genauen Kenntnis des Vulkanisationsdatums, sollte auch sichergestellt sein, dass die Artikel nicht bei Temperaturen größer als 125°F (ca. 52°C) gelagert wurden. Eine Angabe über maximal zulässige Lagerzeiten in Abhängigkeit vom Basiselastomer eines Elastomerwerkstoffes gab es in dieser Norm nicht. Es wurden nur Zeitangaben für das Alter eines Bauteils am Akzeptanzzeitpunkt, also an der Übernahme durch eine Regierungsstelle vom Lieferanten gemacht. Ein Schlauch durfte nicht älter als 32 Quartale (8 Jahre) und ein O-Ring nicht älter als 40 Quartale (10 Jahre) sein. Für die meisten Werkstoffe war dieser Zeitraum ohne starke Eigenschaftseinbußen möglich, dass er auch von NR, SBR oder PUR-AU bei maximal möglichen Lagertemperaturen von ca. 50°C eingehalten werden konnte, ist allerdings sehr unwahrscheinlich.
Bei einer Analyse der SAE-AS 1933B ist relativ leicht erkennbar, dass einige Elemente aus dieser MIL-STD übernommen wurden.

4. Tiefergehende Informationen aus der Fachliteratur

Nach einer Vorstellung wichtiger Grundlagenforschung, folgt noch ein Unterkapitel zu neueren Untersuchungen ab den 1990er Jahren zur Lagerfähigkeit von Dichtungen.

4.1 Grundlagenforschung und Langzeituntersuchungen

Ab den 1950er Jahren wurde viel Grundlagenforschung zur Lagerfähigkeit durchgeführt. Im Folgenden werden ausgewählte Untersuchungen kurz vorgestellt, die auch für heutige Dichtungsanwender noch von Interesse sein können.

4.1.1 Study of O-ring Aging Characteristics (1963)[35]

Eine der frühesten systematischen Untersuchungen zur Lagerfähigkeit von Dichtungen wurde von der kalifornischen Firma Rocketdyne durchgeführt, welche Raketentriebwerke entwickelte und baute, u.a. auch für das Saturn-Programm.
Seit 1957 untersuchte Rocketdyne die Alterung von synthetischen Elastomeren und anderen flexiblen Materialien in Flüssigkeitsraketentriebwerken, um deren maximale Einsatzdauer festzulegen. Damals mussten Dichtungen nach 42 Monaten ausgetauscht werden. Dies basierte auf dem damals begrenzten Wissensstand über Alterungseffekte. Frühere Studien an verschiedenen Triebwerken sowie allgemeine Forschungen zeigten jedoch, dass diese Materialien wahrscheinlich länger halten – möglicherweise fünf Jahre oder mehr.
Da hohe Zuverlässigkeit bei militärischen Raketen entscheidend ist und regelmäßiger Dichtungsaustausch sowie Wartung kosten- und zeitintensiv sind, bestand großes Interesse, die tatsächliche Lebensdauer zu bestimmen, um fundierte Empfehlungen geben zu können, wie lange in Flüssigkeitsraketentriebwerken verbaute Dichtungen, zuverlässig funktionieren werden.

Untersucht wurden verschiedene Aspekte der Alterungsprozesse nur von BUNA-N, also NBR, das damals sehr häufig in militärischen Anwendungen eingesetzt wurde.
Im Fokus stand die Alterung relevanter physikalischer Eigenschaften wie Härte, Dehnung und Druckverhalten (10% „compressive stress"). Daten von drei Herstellern wurden statistisch ausgewertet; es zeigten sich gute Zusammenhänge zwischen der Alterungszeit und den oben genannten physikalischen Eigenschaften, jedoch ließen sich die angewandten mathematischen Modelle nicht gleich gut auf alle drei Hersteller anwenden.
Zudem wurde geprüft, wie gut beschleunigte Laboralterung die natürliche Alterung widerspiegelt. Teilweise konnten gute Übereinstimmungen festgestellt werden, allerdings traten auch deutliche Unterschiede zwischen Herstellern auf, was auf variierende Materialqualität hinwies.
Weiterhin wurden kleine, aber messbare Veränderungen von unter Spannung stehenden O-Ringen durch zyklische Belastung in sehr kalten Umgebungen (10 Zyklen: 30 Minuten bei ca. -195°C in Flüssigstickstoff, gefolgt von jeweils 45 Minuten bei Raumtemperatur) festgestellt, vermutlich durch Weichmachereffekte und nicht durch Kältekristallisation verursacht.
Beachtenswert an diesem Bericht ist die ausführliche Literaturrecherche zum Thema Alterung und Lagerfähigkeit von Dichtungen, welche einen guten Überblick durch Kurzzusammenfassungen über den damaligen Wissensstand bietet.

[35] Rocketdyne Engineering (Hrsg.): Final Report R-5253: Study of O-ring Aging Characteristics, Canoga Park, California, 1963, Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am 16.04.2026): https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/AD0426505.pdf

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

4.1.2 Effect of Shelf Aging on MIL-P-5516 O-Rings (1964)[36]

Dieser Bericht entstand im Elastomerlabor der ersten Werft der US-amerikanische Marine, der Mare Island Naval Shipyard in Kalifornien. Untersucht wurde die Lagerfähigkeit von O-Ringen, welche die Militärspezifikation MIL-P-5516 erfüllten. Die den Autoren vorliegende Version C[37] aus dem Jahr 1967 ist noch eine Spezifikation im „alten Stil", welche zwar die Anforderungen formuliert (Dichtungen öl- und hydraulikflüssigkeitsbeständig für Temperaturen von ca. -50°C bis ca. +70°C), aber keine Werkstoffe und so gut wie keine Sollwerte für physikalische Eigenschaften vorschreibt. Die Sollwerte wurde vermutlich projektbezogen festgelegt. Vorgegeben werden allerdings Toleranzfenster z.B. für die Dichte, sowie prozentuale Abweichungen zu den Erstmusterwerten der jeweiligen Hersteller.

Die Untersuchung der Naval Island Shipyard untersuchte zwar Dichtungen, welche der MIL-P-5516 entsprachen, nennt aber im öffentlich einsehbaren Teil der Studie weder verwendete Werkstoffe noch Hersteller. Auf Grund der Dichte der untersuchten O-Ringe ist davon auszugehen, dass es sich um NBR-O-Ringe handelte. Diese hatten damals eine maximale Lagerzeit von 4 Jahren. Diese wurde für die Studie nochmals um 5, also auf insgesamt 9 Jahre verlängert. Während der ursprünglichen Lagerzeit von 4 Jahren waren die Dichtungen in Umschlägen verpackt. In den zusätzlichen 5 Lagerjahren wurden drei verschiedene Gruppen gebildet:

a) Weiterhin Lagerung in den ursprünglich versiegelten Umschlägen
b) Lagerung mit Luft- und Lichtkontakt
c) Lagerung nur mit Luftkontakt

„Es wurden keine signifikanten Veränderungen der physikalischen Eigenschaften im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit nach einer Lagerung von weiteren 5 Jahren unter den oben genannten Bedingungen beobachtet. Es wird der Schluss gezogen, dass O-Ringe, die die Anforderungen der Spezifikation MIL-P-5516 erfüllen, nach mindestens 9 Jahren Lagerung bei moderaten Raumtemperaturen zufriedenstellende Gebrauchseigenschaften aufweisen."[38]

Wie bereits oben angedeutet, kann diese Aussage nach heutigen Standards nur als Orientierung dienen, da sie sich nicht explizit auf geforderte Grenzwerte und Werkstoffe bezieht.

4.1.3 Standardization Program on Shelf Aging of Natural and Synthetic Rubber Materials (1965)[39]

In dieser Untersuchung wurden die vier Werkstoffe SBR, NBR, NR und CR miteinander verglichen. Nach 7-jähriger Lagerung wurden die Zugfestigkeit, Reißdehnung, das Produkt aus Zugfestigkeit und Reißdehnung, der Spannungswert bei 300% Dehnung, die Quellrate, der Druckverformungsrest und die Spannungsrelaxation ermittelt. Am aussagekräftigsten in Bezug auf die Alterung waren das Produkt aus Zugfestigkeit und Reißdehnung, der Spannungswert bei 300% und Quellversuche. Die Werte wurden auch mit Probekörpern verglichen, welche im Heißluftofen bei ca. 60°C gelagert wurden. Bei NBR und SBR zeigte sich nach einer 10-wöchigen Heißluftalterung eine größere Verschlechterung der physikalischen Eigenschaften wie nach einer natürlichen Alterung unter Lagerbedingungen nach 5 Jahren, für CR und NR wie nach 6 Jahren.

Dieser Bericht ist ein frühes Beispiel für konkrete Empfehlungen für eine maximale Lagerdauer, aufgegliedert nach Basiselastomeren:

NR:	6 Monate
NBR und SBR:	5 Jahre
CR:	6 Jahre

4.1.4 Literature Survey on the Effects of Long-Term Shelf Aging on Elastomeric Materials (1968), Air Force report, AFML-TR-67-235[40]

Diese Literaturübersicht verarbeitet zehn Literaturquellen, die meisten von militärischen Forschungseinrichtungen, aber auch einen wegweisenden großen Forschungsbericht der RMA (Rubber Manufacturer's Association), auf welchen detailliert eingegangen wird.

[36] Rubber Laboratory of Mare Island Naval Shipyard (Hrsg.), BARRETT, A.E.: Effect of Shelf-aging on MIL-P-5516 O-rings, Fifth Progress Report N. 92-18, Vallejo, California, 1964, Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am 16.04.2026): https://apps.dtic.mil/sti/citations/tr/AD0430759

[37] MIL-P-5516C: Military Specification: Packing, Preformed, Petroleum Hydraulic Fluid Resistant, 160°F, 5 January 1967, Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am 16.04.2026): https://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-P/MIL-P-5516C_53876/

[38] Rubber Laboratory of Mare Island Naval Shipyard (Hrsg.), BARRETT, A.E.: Effect of Shelf-aging on MIL-P-5516 O-rings, Fifth Progress Report N. 92-18, Vallejo, California, 1964, Abstract S.5 pdf-Zählung: Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am 16.04.2026): https://apps.dtic.mil/sti/citations/tr/AD0430759

[39] Die folgenden Informationen stammen aus dem Abstract dieses Artikels: U.S. Naval Applied Science Laboratory Naval Base (Hrsg.): Standardization Program on Shelf Aging of Natural and Synthetic Rubber Materials, Lab. Project 5974, R007 03 04 Supplementary Report, Idnetification No. 30-909-1, S.2, 1965, New York, frei abrufbar unter: https://discover.dtic.mil/ bzw. https://dtic.minsky.ai/

[40] BELLANCA, Carmen L. und HARRIS, Jay C.: Literature Survey on the Effects of Long-Term Shelf Aging on Elastomeric Materials, Air Force report AFML-TR-67-235, Monsanto Research Corp., Dayton, OH, März 1968, Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am 17.04.2026): https://apps.dtic.mil/sti/html/tr/AD0831119/index.html

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Die Ergebnisse der meisten Studien zeigten, dass viele Elastomere unter normalen Lagerbedingungen deutlich länger funktionsfähig blieben als damals angenommen. Die meisten untersuchten Materialien behalten ihre ursprünglichen physikalischen Eigenschaften über lange Zeiträume (bis zu 10 Jahre) relativ gut bei. Die stärksten Veränderungen betreffen den Zugmodul (Steifigkeit), während die Reißdehnung meist abnimmt und die Zugfestigkeit gleichbleibt oder sogar zunimmt. Allerdings wird betont, dass Änderungen in den Spannungswerten kein zuverlässiger Indikator für die tatsächliche Alterung sind. Stattdessen erweist sich die Bruchdehnung als empfindlichster Parameter. Weitere relevante Alterungsindikatoren sind der Druckverformungsrest sowie die Messung von Spannungsänderungen unter konstanter Last.
Auf Basis der Ergebnisse wurde empfohlen, die bisherigen Altersgrenzen zu überdenken und ggf. zu verlängern. Zudem sollten zusätzliche Prüfmethoden eingeführt werden, da klassische Kennwerte wie Härte oder Spannungswerte die Alterung nicht vollständig beschreiben.
Weitere wichtige Erkenntnisse in den Studien waren, dass Materialien mit einem geringeren Anteil an ungesättigten Ketten langsamer altern (z.B. Butylkautschuk, IIR). Beschleunigte Tests können die relative Alterungsbeständigkeit verschiedener Elastomere vergleichen, aber keine exakte Lebensdauer vorhersagen. Rezepturbestandteile (Antioxidantien etc.) beeinflussen das Alterungsverhalten stark. Außerdem wurde begonnen die Arrhenius-Gleichung auf die Elastomeralterung anzuwenden.
Aus der großangelegten Studie der RMA[41] , deren Ziel es war Langzeitalterungen im Bereich von 10 Jahren oder länger zu untersuchen, ergaben sich folgende zentralen Ergebnisse:

- Der Spannungswert (100 % Dehnung) zeigt die größten Änderungen (teils +50 % bis >100 %) und reagiert besonders empfindlich auf Alterung.
- Die Reißdehnung nimmt generell ab, jedoch meist moderat (typisch −4 % bis −35 % über ~7 Jahre). Nach einer Anfangsphase stabilisiert sich die Abnahme oft.
- Die Zugfestigkeit bleibt relativ konstant oder ändert sich nur gering; größere Änderungen treten früh auf und nivellieren sich.
- Die Härte steigt meist leicht an (typisch +5 bis +10 Punkte), vor allem in den ersten Jahren.

Es wurden O-Ringe aus NBR, CR und IIR untersucht. Außerdem auch O-Ringe nach bestimmten US-Militärspezifikationen. Die Aussagekraft bei diesen militärischen Dichtungen war aber begrenzt, da sie stark rezepturabhängig war. Dichtungen aus NBR zeigten eine geringe Gesamtdegradation nach 7 Jahren, die Eigenschaften stabilisierten sich nach frühen Änderungen. Bei CR gab es stärkere Modul- und Dehnungsänderungen, aber ebenfalls eine stabile Zugfestigkeit. Butylkautschuk (IIR) zeigte stark variierende Ergebnisse je nach Rezeptur; insgesamt aber eine gute Alterungsbeständigkeit.

4.1.5 NASA TM78150: Effect of Shelf Aging on O-Ring Materials (1978)

Im Auftrag der NASA wurden 13 verschiedene Gummimischungen im Anlieferungszustand und nach 7 und 12 Jahren Lagerung untersucht und miteinander verglichen. Die Compounds besaßen folgende Basiselastomere: NBR, IIR, CR, VMQ und FKM. Die O-Ringe wurden 1962 – alle individuell verpackt und in Tüten verschweißt – von der Firma Parker Seal Company gekauft. Die Dichtungen wurden in einem Lagergebäude aufbewahrt, in welchem jahreszeitbedingt die Temperatur zwischen 15° und 32°C variierte.
Geprüft wurden Zugfestigkeit, Reißdehnung, Härte und DVR. Die Autoren kamen zu folgenden Erkenntnissen: „Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie und einer Sichtprüfung der getesteten O-Ringe wird der Schluss gezogen, dass alle getesteten O-Ring-Mischungen nach 12 Jahren Lagerung unter den beschriebenen Bedingungen für den Einsatz geeignet sind. Auch wenn sich die Dehnung mit der Zeit etwas verändert, ist diese Eigenschaft bei O-Ringen von keiner signifikanten Bedeutung, und die geltenden Materialspezifikationen für O-Ringe enthalten keine Anforderungen hinsichtlich der Dehnung. Die Unterschiede in den Druckverformungseigenschaften sind nicht größer als diejenigen, die normalerweise zwischen verschiedenen Chargen von O-Ringen aus derselben Mischung auftreten.“[42]

[41] Rubber Manufacturers' Association: Long-Term Shelf Aging Tests Data Report, March 1966

[42] WOOD, T.E. und STONE, W.P.: Effect of Shelf Aging on O-ring Materials, NASA Technical Memorandum TM 78150, George C. Marshall Space Flight Center Marshall Space Flight Center, Alabama, January 1978, S. 2, Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am 17.04.2026): https://ntrs.nasa.gov/citations/19780009213

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

4.1.6 Elastomer Shelf Life: Aged Junk or Jewels (1989)[43]

Sehr häufig wird beim Thema Lagerfähigkeit von Dichtungen dieser Artikel von BOYUM und RHOADS genannt und zitiert. Die Autoren stammen aus dem Energiesektor. Nach dem Militär und der Raumfahrt war die Atomenergie der dritte Bereich, in welchem die Zuverlässigkeit von Dichtungen besonders untersucht wurde.

In der Einleitung gehen sie von den Vorgaben der damals gültigen Versionen des Handbuches MIL-HDBK-695C und der Spezifikation MIL-STD-1523A aus. Letztere gab 1989 für O-Ringe eine maximale Lagerzeit von 10 Jahren und für Schläuche von 8 Jahren vor. Außerdem wurde noch nicht nach Werkstoffen unterschieden, sondern sie war für Dichtungen für Kontakt mit ölbasierten Medien geschrieben, meistens handelte es sich hierbei um NBR. Das Handbuch hingegen gab schon Lagerzeiten – nach einigen Basiselastomeren sortiert – vor. Außer FKM hatte kein Werkstoff eine längere Lagerzeit als 10 Jahre. Die Autoren des Artikels konnten nicht direkt herausfinden, wie es zu diesen Zeitfestlegungen kam, stellten aber fest, dass zur Zeit der Erstellung des Handbuches (vor 1964) nur Ergebnisse von 5- und 7-jährigen Einlagerungen vorlagen. Da sich nach dieser Lagerzeit bereits Änderungen der Eigenschaften zeigten, hielt man sich in diesen Zeiträumen auf.

Als Grundlage der Analyse von BOYUM und RHOADS dienen die Ergebnisse der RMA (Rubber Manufacturer's Association)-Untersuchung aus dem Jahr 1966, welche bereits in Kap. 4.1.1 kurz erwähnt wird. In der Studie, welche in den 1950er Jahren begann, wurden Dichtungen von sieben Herstellern über 10 Jahre gelagert. Compounds mit folgenden Basiselastomeren wurden untersucht: CR, NBR, FKM, IIR, SBR, PUR, EPDM, VMQ, ACM. Die Dichtungen wurden sowohl lose in Schachteln als auch einzeln in PE-Beutel eingeschweißt und bei einer Durchschnittstemperatur von ca. 24°C gelagert. Es wurde keine signifikante Verbesserung bei den verschweißten O-Ringen festgestellt. Nach 10 Jahren wurden die Dichtungen noch als akzeptabel eingestuft und die Studie der RMA offiziell beendet. Jedoch wurden 1987 von zwei Herstellern (Parker Seals und Precision Rubber Products), welche die ursprünglichen O-Ringe noch aufbewahrten, weitere Untersuchungen durchgeführt. Die Dichtungen waren nun 24 bzw. 31 Jahre alt. Untersucht wurden Härte, Zugfestigkeit, Spannungswert bei 100% Dehnung, Reißdehnung und Druckverformungsrest. In der Analyse der Daten wurden besonders die Werkstoffe NBR, CR und SBR betrachtet, da sie die größten Änderungen aufwiesen. Die meisten anderen Werkstoffe, wie z.B. FKM oder EPDM zeigten nur geringe Änderung. Bei den erstgenannten R-Kautschuken kam es meist zu einer Zunahme von Härte, Zugfestigkeit und DVR und einer Abnahme der Reißdehnung. „Alterungstests zeigen, dass wesentliche Veränderungen der Eigenschaften eines Polymers in der Regel innerhalb der ersten fünf bis zehn Jahre nach der Vulkanisation auftreten. Dies scheint in erster Linie auf die Fortsetzung des Vulkanisationsprozesses zurückzuführen zu sein. Die Materialveränderungen, die nach diesem Zeitraum auftreten, vollziehen sich sehr langsam und werden der Materialalterung zugeschrieben."[44]

Werkstoffe mit einer Schwefelvernetzung zeigten die größten Änderungen. Auch bei anderen Vernetzungssystemen kann es zu einer Nachvernetzung kommen, wenn noch Vernetzungschemikalien im fertigen Produkt enthalten sind, jedoch nicht im Umfang wie bei Schwefel.

Hilfreich in diesem Artikel sind die Überlegungen und Argumentationen zur Bewertung der Änderungen der Eigenschaften durch Lagerung. Die Autoren weisen darauf hin, dass die untersuchten Werkstoffkennwerte bei Elastomeren weniger Aussagen über die ingenieurtechnische Verwendungsfähigkeit liefern als vergleichbare Kennwerte bei Stahl. Auch gibt es bei Gummi keine einfachen Verbindungen zwischen den einzelnen Kennwerten, wie z.B. bei Stahl zwischen Härte und Zugfestigkeit.[45] BOYUM und RHOADS nehmen als erste Orientierung Werkstofftoleranzbereiche für einen in einer Spezifikation vorgegebenen Wert, die von einem großen Dichtungshersteller vorgeschlagen wurden, wie z.B. ±5 Punkte Härteabweichung oder ±15% Abweichung vom Zugfestigkeitswert. Sie betrachten diese jedoch in der Praxis als zu eng und gehen individuell auf die einzelnen Parameter ein:

Härte: Ein härteres Material wird bevorzugt, weil es weniger anfällig gegenüber Spaltextrusion und Spiralrissen ist. Nachteilig an einem härteren Werkstoff ist die erhöhte Gefahr einer Leckage, welche aber für die meisten Anwendungen nicht so kritisch ist wie oben genannte Schadensmechanismen.

Spannungswerte: Höhere Spannungswerte, so wie sie bei den meisten Elastomeren entstanden sind, helfen einer Spaltextrusion vorzubeugen.

[43] BOYUM, Bruce M. und RHOADS, Jerral E.: Elastomer shelf life: aged junk or jewels? in: IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 4, Issue 2, June 1989, S. 197-203, Abstract online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 07.03.2026): https://ieeexplore.ieee.org/document/17912

[44] Ebd., S. 199, Kap. IV.

[45] Vgl. Ebd., S. 198, Kap. III.

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Reißdehnung: Diese sei vor allem für die Montage von Bedeutung. Einschlägige Empfehlungen fordern bei der Montage keine größeren Dehnungen als 5%, so dass mit den verbleibenden Dehnungswerten noch sehr viel Spielraum zur Verfügung steht.
Zugfestigkeit: Die meisten Werkstoffe zeigten keine größeren Abweichungen als ±15%. Nur NBR-Werkstoffe zeigten eine Zunahme von bis zu 30%. Zugfestigkeitswerte sind für normale Konstruktionen nicht von Bedeutung, sofern sie über ca. 7N/mm² liegen.
Druckverformungsrest: Fast alle Werkstoffe blieben in dem Test (70h bei 120°C) deutlich unter 100%. Die einzigen Ausreißer waren IIR und PUR, für welche aber diese Prüftemperatur eigentlich zu hoch war.
Fazit dieser Untersuchung ist, dass deutlich längere Lagerzeiten als im Handbuch MIL-HDBK-695C und der Spezifikation MIL-STD-1523A angegeben, möglich sind.

Es muss noch erwähnt werden, dass dieses Fazit sich auf Mischungsformulierungen der 1950er Jahre bezieht. Hinzu kommt, dass manche Werkstoffe damals noch sehr jung (z.B. FKM oder ACM) waren und deswegen relativ wenig Wissen in deren Mischungsentwicklung vorhanden war. Es wird insbesondere bei den geprüften schwefelvernetzten Elastomeren davon ausgegangen, dass die oben beschriebene Nachvernetzung in den ersten 5-10 Jahren auf einen Überschuss an Beschleunigern zurückgeführt werden kann und dies bei weitem nicht mehr dem heutigen Stand der Technik entspricht. Daher wird angenommen, dass vergleichbare Werkstoffe nach dem aktuellen Stand der Technik noch deutlich besser in ähnlichen Lagerungsversuchen abschneiden würden. Auswertungen bei OPR-Elastolabs an NBR 70 O-Ringen, die 30 Jahre lang bei Temperaturen unter 50°C eingesetzt waren, haben gezeigt, dass diese keine signifikanten Härtezunahmen aufwiesen noch kritisch bleibend verformt waren (<50%).

4.1.7 EPRI NP-6608: Shelf Life of Elastomeric Components (1994)

Im Mai 1994 wurde von EPRI (Electric Power Research Institute) die fast 300-seitige Studie „Shelf Life of Elastomeric Compounds" herausgebracht, an welcher u.a. die Autoren von der Untersuchung aus Kap. 4.1.3 BOYUM und RHOADS teilnahmen. Es wurden die Dichtungen aus der RMA-Studie von 1966 ein weiteres Mal untersucht. Diesmal waren sie 25 bis 32 Jahre alt.
Um Aussagen über die beschleunigte Heißluftalterung im Verhältnis zur natürlichen Alterung treffen zu können, wurden künstlich gealterte Dichtungen mit Dichtungen aus dem RMA-Versuch verglichen. Außerdem wurden 20 Jahre alte verbaute Dichtungen aus dem Marshall Space Flight Center der NASA untersucht.
Es wurden Ermüdungstests (Ermüdungslebensdauer/"Fatigue Life") an O-Ringen durchgeführt. Diese wurden in einer Apparatur vorgespannt und dann mit einer zusätzlichen dynamischen Belastung beaufschlagt. Es wurde die Zeit bis zum Reißen der O-Ringe gemessen. Verglichen wurden produktionsfrische mit natürlich (25 Jahre) und künstlich gealterten O-Ringen.
Es ergaben sich folgende Ergebnisse:
„Die Lagerfähigkeit von Dichtungen aus Nitril [NBR], Neopren [CR], Butyl [IIR], Viton [FKM], SBR, Silikon [VMQ], Ethylen-Propylen [EPDM], Acrylat [ACM] und Urethan [PUR] kann für die meisten Dichtungsanwendungen auf mindestens 32 Jahre verlängert werden. Bei besonderen Dichtungsanwendungen, beispielsweise bei niedrigen Temperaturen, ist unter Umständen eine weitere Bewertung durch den Anwender erforderlich, bevor die Lagerfähigkeit festgelegt werden kann. Die Lagerfähigkeit von Elastomeren, die in einem Bauteil gelagert werden, muss nicht begrenzter sein als die von separat gelagerten Elastomeren. Die Lagerung von Elastomeren in versiegelten Umschlägen bietet keinen zusätzlichen Vorteil gegenüber der Lagerung in handelsüblichen Kartons. Bei Lagerungsprogrammen für Elastomere sollte der Schwerpunkt eher auf den Lagerbedingungen als auf einer begrenzten Lagerfähigkeit liegen.
Natürlich gealterte O-Ringe aus Neopren [CR] und Ethylen-Propylen [EPDM] wiesen im Vergleich zu neuen O-Ringen eine deutlich erhöhte Ermüdungslebensdauer auf, während natürlich gealterte O-Ringe aus Acrylat [ACM] und SBR eine verringerte Ermüdungslebensdauer zeigten. Neopren [CR]-O-Ringe, die einer beschleunigten Alterung unterzogen wurden, wiesen im Vergleich zu neuen O-Ringen aus demselben Material eine verringerte Ermüdungslebensdauer auf. Da die natürlich gealterten O-Ringe eine erhöhte Ermüdungslebensdauer aufwiesen, lieferte die beschleunigte Alterung Ergebnisse, die genau das Gegenteil der bei der natürlichen Alterung erzielten Ergebnisse waren.
Bei den drei NBR-Werkstoffen, die einer beschleunigten Alterung unterzogen wurden, um die Aussagekraft der beschleunigten Alterung für die Vorhersage der natürlichen Alterung zu bewerten, zeigte sich nur eine geringe Korrelation zwischen natürlicher und beschleunigter Alterung. Im Allgemeinen fielen die durch die beschleunigte Alterung vorhergesagten Langzeitveränderungen im Vergleich zur natürlichen Alterung eher konservativ aus. In einigen Fällen waren die durch die

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

beschleunigte Alterung vorhergesagten Veränderungen nicht sehr genau."[46]
Hier ist anzumerken, dass die Vergleichbarkeit der 25 Jahre alten Dichtungen mit den neuen künstlich gealterten Dichtungen eingeschränkt ist, da selbst bei „gleicher" Rezeptur alle Rohstoffe bezüglich der Herstellung und Verarbeitung einem neueren Stand der Technik entsprechen.

4.2 Neuere Forschung zur Lagerfähigkeit

Auch heute wird noch intensiv am Thema der Lagerfähigkeit von Elastomeren geforscht, allerdings werden aktuell v.a. Detailaspekte der Alterungsreaktion bei der Lagerung oder exaktere Alterungsmodelle als die einfache Verwendung der Arrheniusgleichung behandelt. Forschende Institutionen sind nach wie vor meist dem Militär oder der Raketentechnik zuzuordnen. Ein Großteil der neuesten Veröffentlichungen stammt aus China. Den Autoren dieses Fachartikels sind seit Mitte der 1990er Jahre keine größeren natürlichen Lagerungsversuche mehr bekannt, da dieser Bereich bereits seit den 1950er Jahren mit einer Vielzahl von Werkstoffen intensiv durch RMA, NASA und EPRI empirisch untersucht wurde.
Die im Folgenden vorgestellten Artikel erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern sollen nur einen Ausblick auf das aktuelle Forschungsgeschehen geben.

4.2.1 TUVAL et al.: The shelf life of rubber compounds (1997)[47]

Die Autoren untersuchten die Lagerfähigkeit von Gummikomponenten, die in Militärfahrzeugen verwendet werden, unter verschiedenen Lagerbedingungen. Ziel war es, die Lagerdauer zu bestimmen, nach der die Qualität der Gummiteile so weit abnimmt, dass ihre Funktion im Einsatz gefährdet wäre. Dazu wurden Alterungstests bei erhöhten Temperaturen durchgeführt und die Ergebnisse mathematisch (Arrhenius-Gleichung) ausgewertet.
Wichtigste Erkenntnisse:

- Die Alterung von Gummi lässt sich gut durch die Abnahme der Reißdehnung beschreiben. Für flexible Elastomere wurde als Kriterium für die maximale Lagerfähigkeit meist ein Unterschreiten der Reißdehnung von 150% gewählt.
- Die Alterung folgt einer linearen Beziehung, wenn die Reißdehnung gegen die Quadratwurzel der Alterungszeit aufgetragen wird. Mittels linearer Regression wurden Geraden ermittelt (siehe Appendix B des Artikels).
- Die geschätzte Lagerdauer (bei optimaler Lagerung) variiert stark je nach Gummityp: CR (Chloropren-Kautschuk) ca. 15,5 Jahre, EPDM ca. 363 Jahre, IIR ca. 40 Monate, NBR ca. 54 Monate. Allerdings ist die Prognose für NBR bei hohen Temperaturen unsicher und vermutlich zu niedrig.
- Die Alterung während der Lagerung wirkt sich negativ auf die spätere Einsatzdauer aus. Ein gelagertes Teil startet mit einer gewissen Vorbelastung in den Einsatz, da es bereits gealtert ist.
- Die Verpackung hat Einfluss: Aluminiumfolie mit Packpapier schützte am besten. Korrosionshemmer für Metallteile (bei Gummi-Metallteilen) hatten kaum Einfluss auf die Gummialterung.

Neue oder überraschende Erkenntnisse:

- Die starke Abhängigkeit der Alterungsgeschwindigkeit von der Temperatur, insbesondere bei NBR, war überraschend und führte zu Unsicherheiten bei der Prognose.
- Die Tatsache, dass die Lagerung einen erheblichen Einfluss auf die spätere Einsatzdauer hat, wurde als besonders relevant erkannt.

Es wurden folgende Schlussfolgerungen gezogen:

- Die Lagerdauer von Gummiteilen sollte so gewählt werden, dass die Funktion im Einsatz nicht gefährdet wird. Lagerrotation und rechtzeitige Erneuerung sind entscheidend.
- Die Verpackung kann die Haltbarkeit deutlich verlängern.
- Für Teile, die im Freien gelagert werden, ist zusätzlicher Schutz (z.B. aluminiumbeschichteter Stoff) sinnvoll.
- Die Autoren empfehlen, die Lagerdauer nicht allein nach Literaturwerten, sondern anhand eigener Tests und spezifischer Lagerbedingungen festzulegen.

4.2.2 TUVAL et al.: Packaging for Rubber Parts (2000)[48]

Diese Untersuchung wurde in den Laboren des israelischen Militärs durchgeführt. Es wurden Prüfstäbe aus

[46] BOYUM, B.M.; RHOADS, J.E. und DAVIS, C.M.: Shelf Life of Elastomeric Components, EPRI NP-6608, Mai 1994, S. 2f. (PDF-Zählung), Dokument online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 20.04.2026): https://www.epri.com/research/products/NP-6608

[47] TUVAL, Eran; THURM, Asher und RIGBI, Zvi: The shelf life of rubber compounds in: Polymer Degradation and Stability, Vol. 58, Issue 3, December 1997, S. 291-295, Abstract online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 23.04.2026): https://doi.org/10.1016/S0141-3910(97)00060-8

[48] TUVAL, E.; MA'AYAN, H.; THURM, A. und RIGBI, Z.: Packaging for Rubber Parts in: KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe, 53. Jg., Nr. 5, 2000, S.266-267

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

NR, SBR, NBR, EPDM und CR in verschiedene Beutel verpackt und bei 70° bzw. 90°C im Heißluftofen gealtert. Die Alterung wurde nach 60, 120 und 150 Tagen beendet. Als Kriterium zur Bewertung des Materialabbaus wurde die Änderung der Reißdehnung herangezogen. Als Kriterium für die maximale Lagerdauer wurde der Zeitpunkt festgelegt, an welchem die Reißdehnung auf die Hälfte ihres Ausgangswertes zurückgefallen war.
Folgende Verpackungsmaterialien wurden untersucht: PE/Aluminium-Laminat, Packpapier/PE-Laminat, PE-Folie, Polyesterfolie, Packpapier und gar keine Verpackung. Der Abfall des Reißdehnungswertes war bei allen Verpackungen relativ ähnlich, außer beim PE/Aluminium-Laminat, bei welchem der Abfall der Reißdehnung deutlich geringer war.
Bei relativ gut beständigen Elastomeren wie EPDM und CR hatte die Verpackung wenig Einfluss auf die Alterung, jedoch umso mehr bei den anderen empfindlicheren Elastomeren. Hier konnte durch die richtige Verpackung die maximale Lagerzeit deutlich verlängert werden.

4.2.3 PORTER et al.: A critical examination ot the shelf life of nitrile rubber O-Rings (...) (2022)[49]

Diese am QETE (Quality Engineering Testing Establishment) des kanadischen Department of National Defense 2022 durchgeführte Studie untersuchte NBR O-Ringe, welche zwischen 40° und 85°C für bis zu 50 Wochen gealtert wurden. Durch die Untersuchungen sollte u.a. auch überprüft werden, ob die in der SAE AS5316 maximal erlaubte Lagerzeit für NBR haltbar ist.
Da NBR nach wie vor häufiger in technischen Anwendungen eingesetzt wird, aber – je nach Formulierung – auch relativ schnell altern kann, ist es hilfreich seine Alterungsprozesse zu verstehen. Die Butadien Einheiten im NBR können durch allylische Wasserstoffatome leichter abgebaut werden. Dies geschieht durch Radikale, welche diese Art von Wasserstoffatomen leichter abspalten können. Durch Wärme ausgelöste Oxidation erzeugt sauerstoffhaltige funktionelle Gruppen. Außerdem kommt es zum Verbrauch bestimmter Butadieneinheiten. „Die Geschwindigkeit der oxidativ induzierten Vernetzung ist im Verlauf eines Oxidationsprozesses bei höheren Temperaturen größer als die der Kettenspaltungsreaktionen. (...) Reaktionen bei niedrigen Temperaturen unter 60 °C während der thermischen Alterung können eine Kombination aus Schwefel-Umlagerungen und anschließenden Rückbildungsreaktionen, Alkylradikal-Rekombinationen sowie den Anstieg der Wasserstoffperoxidkonzentrationen umfassen. Letztendlich hängt die Lagerfähigkeit von Nitrilkautschuken in erster Linie von ihrem Grad der Ungesättigtheit ab, was dazu führt, dass NBR-Compounds mit niedrigerem ACN-Gehalt eine kürzere Lagerfähigkeit aufweisen, während NBR-Compounds mit höherem ACN-Gehalt eine längere Lagerfähigkeit besitzen."[50]
Üblicherweise wird die Lagerfähigkeit von Elastomeren mit Hilfe beschleunigter Alterung (verschiedene Temperaturen über verschiedene Zeiten) bestimmt. Mit Hilfe des Arrheniusansatzes und der Aktivierungsenergie E_a wird dann der Abbauprozess berechnet. Es ist schwierig die richtige Aktivierungsenergie zu ermitteln, da sie von vielen Faktoren wie z.B. dem ACN-Gehalt, dem Temperaturbereich u.v.m. abhängt. „Bei der Alterung bei höheren Temperaturen auftretende Effekte der diffusionsbegrenzten Oxidation (DLO) können zu einer Verfestigung der Oberflächen führen, was einen Sauerstoffmangel im Inneren der Probe zur Folge hat und zu Prüfergebnissen führt, die nicht den homogenen Alterungsprozess bei niedrigen Temperaturen widerspiegeln, der für die Vorhersage der Lagerfähigkeit erforderlich ist. DLO-Effekte tragen zu einem nicht-Arrhenius-Verhalten bei, was zu falschen linearen Extrapolationen der Verschiebungsfaktoren auf Umgebungstemperatur führt."[51]
Deswegen wurden im Versuch auch keine Heißluftalterungen oberhalb von 85°C durchgeführt, um DLO-Effekte gering zu halten. Um die Prüfbedingungen der künstlichen Alterung möglichst nahe an die natürliche Alterung im Lager anzugleichen, wurden die Dichtungen im eingeschweißten Beutel im Ofen gealtert. Dadurch erhielt man niedrigere Aktivierungsenergien für die Arrheniusgleichung als erwartet. Im Versuch konnten die Autoren zeigen, dass sowohl die Härte als auch die Spannungswerte bei 50% Dehnung mit zunehmender Einlagerungszeit im Ofen zunahmen. Dies deuteten sie auf eine homogene Alterung, da die Versteifung sowohl an der Oberfläche (Härte) als auch im Innern des Materials (Spannungswert) ähnlich bei steigender Temperatur zunahm.
Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Härte, die Zugfestigkeit, der Spannungswert bei 50% Dehnung und die Netzwerkdichte mit zunehmender Alterung stiegen, während die Reißdehnung und die Löslichkeit

[49] PORTER, Christopher; ZAMAN, Badruz; PAZUR, Richard: A critical examination of the shelf life of nitrile rubber O-Rings used in aerospace sealing applications in: Polymer Degradation and Stability, Vol. 206, December 2022: Abstract online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 23.04.2026): https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.110199
[50] Ebd., S. 1f.
[51] Ebd., S. 2

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

von Toluol (Quellversuche zur Überprüfung der Netzwerkdichte) abnahmen. Neben dem Schwefelvernetzungssystem und dem hohen Weichmachergehalt wirkte sich auch der niedrige ACN-Gehalt des untersuchten NBR-Compounds negativ auf die Alterungseigenschaften aus. Die Autoren kommen zu einer maximalen Lagerfähigkeit von 7 Jahren für den untersuchten NBR, da er ab diesem Zeitpunkt die geforderte Reißdehnung von 200% aus einer US-amerikanischen Militärmaterialspezifikation nicht mehr erfüllt. Als Kriterium für die Lagerfähigkeit nahmen die Autoren die Einhaltung von Grenzwerten aus der SAE AMS -P-5315B (April 2013).

4.2.4 GUO et al.: Storage Life Prediction (...) Based on Step Stress Accelerated Aging (2023)[52]

Diesen Artikel habe ich jetzt nicht ganz gelesen, sondern mit Hilfe von KI und dem Abstract zusammengefasst, da er meiner Meinung nach einen schönen Ausblick gibt, wie man Methoden weiterentwickeln kann.
Dieser Artikel ist ein Ausblick, wie die beschleunigte Alterung verbessert und wie die Arrhenius-Gleichung modifiziert werden kann. Er behandelt die Lebensdauerprognose von Gummiprodukten, speziell von Polyurethan, durch eine beschleunigte Alterungsmethode, dem sogenannten Step-Stress Test. Dabei wird die Belastung (hier die Temperatur) in mehreren Stufen erhöht. Es wird bei einer niedrigen Temperatur gestartet (70°C) und konstant eine Eigenschaft des Materials überwacht, im vorliegenden Fall ist es die Erhaltungsrate der Zugfestigkeit („tensile strength retention rate"). Sobald diese Leistungskennzahl um einen vorgegebenen Wert gefallen ist, hier um 10 % vom Anfangswert bei der aktuellen Temperatur, wird die Belastung (Temperatur) auf die nächste Stufe erhöht, hier auf 82,4 °C, dann 95,6 °C und schließlich 110 °C. Das Testverfahren wird fortgesetzt, bis eine bestimmte Leistungsverschlechterung erreicht ist (z. B. 40 % der Zugfestigkeit im Vergleich zum Anfang).
Im Gegensatz zu traditionellen Beschleunigungstests, wo das Material lange Zeit bei einer konstanten hohen Temperatur gehalten wird, steigt hier die Belastung schrittweise mit dem Fortschreiten der Alterung. So lässt sich die gesamte Lebensdauer in kürzerer Zeit ermitteln.
Das neue Verfahren kombiniert diese schrittweise Belastungssteigerung mit einem intelligenten Algorithmus (Artificial Bee Colony), um die Daten effizient und fehlerfrei auszuwerten. Deswegen kommt es auch zu den ungeraden und unüblichen Prüftemperaturen. So werden Beschleunigungsfaktoren (wie stark sich das Alterungsverhalten durch Temperaturänderung verändert) als Optimierungsproblem gelöst, was die Genauigkeit bei der Vorhersage verbessert.
Wichtigste Erkenntnisse:

- Der Step-Stress Test verkürzt die Testdauer im Vergleich zum konstanten Belastungstest signifikant.
- Bei der konventionellen Arrhenius-Gleichung wird die Aktivierungsenergie als konstant angenommen, unabhängig von der Temperatur, was in einigen Fällen zu ungenauen Lebensdauerprognosen führen kann, insbesondere bei großen Temperaturbereichen. Bei der modifizierten Arrhenius-Gleichung mit einem Potenzfaktor ist die Aktivierungsenergie eine Funktion der Temperatur, was bedeutet, dass sie sich mit der Temperatur ändert.
- Der Einsatz eines intelligenten Algorithmus zur Identifikation der Beschleunigungsfaktoren (Übersetzungsfaktoren zwischen den Temperaturen) verhindert die Fehlerakkumulation bei separaten Anpassungen der Daten für jede Temperaturstufe.
- Die Lebensdauerprognosen anhand des Step-Stress Tests stimmen sehr gut mit den Ergebnissen des traditionellen konstanten Belastungstests überein (Streuungskoeffizient zwischen 0,9 und 1), was die Validität der Methode bestätigt.

5. Empfehlungen zur Lagerfähigkeit von Dichtungsherstellern

Aus der Industrie gibt es unzählige Empfehlungen zur Lagerfähigkeit von Dichtungen in sehr unterschiedlicher fachlicher Tiefe. Die folgenden zitierten Beiträge erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern sollen nur exemplarisch einen groben Eindruck vermitteln auf welcher Normen- und Literaturgrundlage die Informationen erstellt wurden.

5.1 Empfehlungen vorrangig für europäische Kunden

Im EMG Report vom Juli 2018[53], einem Kundenmagazin der **Parker** Engineered Materials Group Europa werden

[52] GUO, Xiaohui; YUAN, Xiaojing; LIU, Guangyong; HOU, Genliang und ZHANG, Ze: Storage Life Prediction of Rubber Products Based on Step Stress Accelerated Aging and Intelligent Algorithm in: polymers, 15 (1), 2023, Artikel online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 23.04.2026): https://doi.org/10.3390/polym15010157

[53] Parker Hannifin GmbH (Hrsg.): EMG report Magazin für Kunden der Engineered Materials Group Europa, Bietigheim-Bissingen, Juli 2018, S. 16-19, Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

in einem Fachartikel die Einflussfaktoren bei der Lagerung von Elastomererzeugnissen detailliert beschrieben. Die Informationen zu Temperatur, Feuchtigkeit, Licht/Strahlung, Lösemittel/Fette, Deformation, Lagerzeit und Sauerstoff/Ozon stützen sich auf die DIN 7716 und ISO 2230. Außerdem wird auch auf die DIN 9088 verwiesen, an deren Entstehung in den 1980er Jahren auch Mitarbeiter der Fa. Parker beteiligt waren.[54]

Empfehlungen für maximale Lagerdauer nach Parker	
TPU	4 Jahre
HNBR, NBR, CR	6 Jahre
EPDM	8 Jahre
FKM, VMQ, FVMQ	10 Jahre
FFKM	13 Jahre

Tab. 8: Maximale Lagerzeiten, gelistet nach Basis-elastomeren, empfohlen von Parker Prädifa.[55]

Interessanterweise decken sich die in **Tab. 8** empfohlenen Lagerzeiten nur teilweise mit den Vorgaben in den zitierten Normen. Auch liefert der Artikel keine Hinweise, wie diese Zeitvorgaben entstanden sind. Verwunderlich ist die Angabe von 13 Jahren bei FFKM, während FKM nur 10 Jahre „haltbar" sein sollte, obwohl diese Materialien werkstofftechnisch große Ähnlichkeiten aufweisen und auch in der aktuellen ISO 2230 (2026-03) in ein und dieselbe Gruppe eingeteilt sind. Generell zeigt sich bei Herstellern oft die Tendenz ihren Kunden eher kürzere Lagerzeiten zu empfehlen. So schreibt Parker am Ende des Unterkapitels Lagerzeit: „Vorzugsweise sind Elastomerdichtungen innerhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Haftungsdauer von 24 Monaten einzusetzen."[56] Diese Haltung ist aus betriebswirtschaftlichen Gründen nachvollziehbar, aber technisch in den meisten Fällen nicht notwendig.

Im Technical Handbook O-rings[57] des niederländischen Unternehmens **ERIKS N.V.** finden sich sehr umfangreiche Informationen zur Lagerfähigkeit von Dichtungen. Das Kapitel 11 „Storage and Age Control of Elastomers" beginnt mit den Inhalten aus der SAE-ARP5316 (1998-11) und des MIL-HDBK-695C. Gegen Ende des Artikels werden noch die maximalen Lagerzeiten nach ISO 2230 aufgelistet und es wird ausführlich beschrieben, in welchen Punkten sich die ISO-Norm von den erstgenannten US-amerikanischen Dokumenten unterscheidet.
Für Anwender hilfreich ist die kurze und prägnante Zusammenfassung der Fa. ERIKS von wichtigen Lagerparametern:
„• Umgebungstemperatur (vorzugsweise nicht höher als 25 °C (77 °F))
• Trockene Umgebung und Vermeidung von Verunreinigungen
• Vor direkter Sonneneinstrahlung schützen
• Vor Strahlung schützen
• Vor künstlichem Licht oder anderen Lichtquellen, die UV-Strahlung enthalten, schützen (**Abb. 6**)
• Vor elektrischen Geräten schützen, die Ozon erzeugen
• Teile spannungsfrei lagern (O-Ringe niemals aufhängen)"[58]

Die britische Firma **BARNWELL**[59] erklärt auf Ihrer Webseite ausführlich die Altersberechnung von gelagerten O-Ringen in Quartalen gemäß den Vorgaben in den SAE Aerospace Standards. Die Empfehlungen zur Lagerung und maximale Lagerzeiten sind aber der BS ISO 2230:2002 entnommen. Am Ende werden die Begriffe „Cure Date", „Shelf (Storage) Life" und „Service Life" genauer erklärt und voneinander abgegrenzt.

Ebenso auf den Empfehlungen der BS ISO 2230 basiert die zweiseitige Kundeninformation der englischen **SEP Specialised Engineering Products**.[60]

Auf der Webseite der Fa. **Kofler Dichtungen** aus Österreich findet sich ein längerer Artikel zu Lagerung und Haltbarkeit von Dichtungen. Es werden Empfehlungen aus der ISO 2230 und der DIN 7716 zitiert. Zwar wird darüber informiert, dass Dichtungen bei korrekter Lagerung – je nach Elastomertyp – jahrelang verwendet werden können, dennoch heißt es weiter, dass

01.04.2026): https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Praedifa/EMG-Report/2018-07_EMG-Report_DE.pdf
[54] Mündliche Mitteilung von Bernhard Richter
[55] Parker Hannifin GmbH (Hrsg.): EMG report Magazin für Kunden der Engineered Materials Group Europa, Bietigheim-Bissingen, Juli 2018, S.19, Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am 01.04.2026): https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Praedifa/EMG-Report/2018-07_EMG-Report_DE.pdf
[56] Ebd., S.19
[57] ERIKS N.V.: Sealing Elements, Technical Handbook O-rings, 2010, S. 127ff. Dokument online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 01.04.2026): https://eriks.de/content/dam/de/pdf/downloads/archiv/o-ringe/ERIKS_Technical-Handbook-O-Ringe_eng.pdf
[58] Ebd., S. 129
[59] BARNWELL: Storage & Shelf Life Of An Elastomer – Guide Lines, Internetinformation online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 26.03.2026): https://barnwell.co.uk/storage-shelf-life/
[60] SEP Specialised Engineering Products: Guidance: Storage and Shelf-life of Elastomers, Kundeninformation online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 01.04.20026): https://www.specialisedengineering.co.uk/downloads/sep-guidance-storage-and-shelf-life-of-elastomer.pdf

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

„Dichtungen (…) auf jeden Fall innerhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Haftungsdauer von 24 Monaten zum Einsatz kommen“[61] sollten.

5.2 Empfehlungen vorrangig für US-amerikanische Kunden

Kompakt und doch äußerst informativ ist der Artikel „Storage & Elastomer Shelf Life of Compounds“ der nordamerikanischen Firma **Daemar**. Der erste Teil des Artikels bezieht sich auf die SAE AS5316. Darauf folgt eine Erklärung der Lagerzeitberechnung nach Quartalen, welche auf alten US-Militärspezifikationen und älteren SAE Normen beruht. Es ist verwunderlich, warum dieses System noch erklärt wird, zumal es in der aktuellen SAE AS 5316 (Ausgabe 2022) nicht mehr auftaucht. Gegen Ende des Internetartikels werden noch die Besonderheiten / Unterschiede zur ISO 2230 erklärt. Interessant ist der Hinweis, dass „…es sehr schwierig ist unter realen Bedingungen die richtigen Lagerbedingungen zu gewährleisten und alle erforderlichen Kriterien zu erfüllen. Nehmen wir das Beispiel verpackter Lebensmittel. Auch wenn verpackte Lebensmittel ein festgelegtes Verfallsdatum haben, können sie schon viel früher oder sogar erst nach Ablauf des Verfallsdatums verderben. Dabei spielen viele Umweltfaktoren eine Rolle, die sich oft nicht kontrollieren lassen. Diese Verfallsdaten werden nach internen Tests des Herstellers festgelegt. In der Praxis ist es nicht möglich, genau dieselben Bedingungen zu erzielen.“[62]

Dieser Argumentation können sich die Autoren dieses Fachartikels nicht in dieser Schärfe anschließen. Die einschlägigen Normen wie die SAE AS 5316 und die ISO 2230 geben eindeutige Rahmenbedingungen für die Lagerung vor, die auch von den meisten Industriebetrieben und Dichtungsanwendern eingehalten werden können, da es sich um Extremwerte z.B. bzgl. Temperatur oder Luftfeuchtigkeit handelt. Die Normen sind so konzipiert, dass sie Bereiche vorgeben, in welchen unkritisch gelagert werden kann. Deswegen ist es auch nicht entscheidend, dass die Lagerbedingungen zwischen unterschiedlichen Lagerorten identisch sind. Kritisch zu betrachten sind nur Werkstoffe mit kürzeren Lagerdauern, wie z.B. Polyurethane (Hydrolyse auf Grund zu hoher Luftfeuchtigkeit) oder R-Kautschuke, wie z.B. NR oder SBR (zu hohe Temperaturen oder Ozonkonzentrationen).

Aus den fast vollständigen inhaltlichen Kopien von Norminhalten, den die meisten Firmen zu diesem Thema bieten, sticht die Präsentation der Fa**. ESP Engineered Seal Products** heraus.[63] In einem Kurzvideo stellt eine Mitarbeiterin nicht die überall verfügbaren Norminhalte vor, sondern erklärt fünf Methoden, wie die maximale Lagerdauer eines Elastomers ermittelt werden kann. Sie bezieht sich dabei auf die EPRI-Studie NP-6608:

- Methode A: Empfehlungen des Herstellers
- Methode B: Natürliche Alterung über Jahre bei Raumtemperatur (dauert sehr lange und wenig praktikabel)
- Methode C: Berechnung nach Arrhenius
- Methode D: Beschleunigte Alterung bis die Bauteile bei ausgewählten Eigenschaften unterhalb bestimmter Grenzwerte fallen, damit kann die Alterung berechnet werden
- Methode E: Verwendung und Orientierung an den Ergebnissen in Anhang B der zitierten EPRI-Studie, in welcher ca. 70 Materialien nach den Methoden A bis C untersucht wurden.

Außerdem erläutert dieser Artikel die Einstufung der maximalen Lagerdauer „unlimited“ in der ARP 5316 aus Sicht von ESP näher: „Manche Materialien werden als unbegrenzt haltbar angegeben, *doch „unbegrenzt“ bedeutet nicht „für immer“*. Bei manchen Unternehmen gilt eine Haltbarkeit von 25 bis 30 Jahren als unbegrenzt.“[64]

In einem Blogbeitrag auf einer zur Zeitschrift Fluid Power World gehörenden Webseite, beschrieb Danny Nghieu[65] von der Fa. **Colonial Seal** Alterungseffekte bei

[61] Kofler Dichtungen GmbH: Lagerung und Haltbarkeit in der Dichtungstechnik, Internetinformation (zuletzt aufgerufen am 01.04.2026): https://kofler-dichtungen.at/dichtungswissen/lagerung-haltbarkeit-dichtungstechnik

[62] Daemar Inc.: Storage & Elastomer Shelf Life of Compounds, Internetinformation online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 26.03.2026): https://daemar.com/elastomers_shelf-life_115.html/

[63] NGUYEN, Hanna: Obtaining Elastomer Shelf Life, ESP Engineered Seal Products, März 2020, Internetinformation online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 26.03.2026): https://www.espint.com/esp-blog/obtaining-elastomer-shelf-life

[64] SEP Specialised Engineering Products: Guidance: Storage and Shelf-life of Elastomers, Kundeninformation online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 01.04.20026): https://www.specialisedengineering.co.uk/downloads/sep-guidance-storage-and-shelf-life-of-elastomer.pdf

[65] NGHIEU, Danny (Colonial Seal) and GANNON, Mary (Fluid Power World): Effects of aging on elastomer seals, Blogbeitrag auf der Webseite Sealing & Contamination Control Tips – A Fluid Power World Resource, February 26, 2021, Artikel online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 01.04.2026): https://www.sealingandcontaminationtips.com/effects-of-aging-on-elastomer-seals/

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Elastomerdichtungen. Neben allgemeinen Informationen zu Mechanismen der Elastomeralterung berichtet der Autor von einer firmeninternen Untersuchung an einem Standard RWDR aus NBR für Ölanwendungen. Es wurde eine produktionsfrische Dichtung im Dauerlauf mit einer 6 Jahre alten Dichtung verglichen. Die Lagerung erfolgte verpackt, unter kontrollierten Bedingungen in einem klimatisierten Lagerhaus. Die RWDRs wurden auf Prüfständen bei 2.000 U/min. und einer Temperatur von 93°C (200°F) und einem Druck von ca. 0,5 bar (7psi) so lange untersucht, bis eine erste Leckage auftrat. Die Lebensdauer der älteren Dichtungen wurde im Vergleich zu den fabrikneuen um ca. 13% reduziert.

Die US-amerikanische Firma **APG aus Houston** nennt in einem Blogbeitrag[66] zuerst die Einflussfaktoren auf die Alterung von Elastomeren, wie z.B. Temperatur, Licht, Strahlung u.v.m. Als Richtlinien- bzw. Normengrundlage für konkrete max. Lagerzeiten nach Basispolymeren verweisen sie auf MIL-HDBK-695 und die SAE AS 1933.

Vereinzelt findet man neben den Lagerempfehlungen aus den einschlägigen Normen auch eine Auflistung der Entstehungsgeschichte dieser Normen, wie z.B. bei **Apple Rubber**.[67] Die Informationen sind aber aus dem einleitenden Teil der SAE ARP 5316[68] übernommen.

5.3 Empfehlungen vorrangig für russisch-asiatische Kunden

Die Fa. **Bigness**, ein Elastomerverarbeiter aus Aktobe in Kasachstan, verweist in ihrer Information zur Lagerung von Elastomerbauteilen interessanterweise nicht auf die ISO 2230, sondern auf die Lagerungsbedingungen in der DIN 7716. Sie empfehlen als maximale Lagerdauer für NBR ca. 5 Jahre, für EPDM und HNBR 8Jahre und für FKM und MVQ-Mischungen ca. 10 Jahre.[69]
Die ISO 2230:2002 gibt es auch als russische Ausgabe GOST ISO 2230-2013.[70] Deswegen ist davon auszugehen, dass die Empfehlungen zur Lagerung auch in Russland und angrenzenden Staaten bei hochwertigeren und sicherheitsrelevanten Elastomerartikeln angewandt werden.



Abb. 6: Beispiel einer licht- und luftgeschützten Verpackung von O-Ringen eines europäischen Herstellers

5.4 Fazit

Bei der Durchsicht vieler Empfehlungen von Elastomerherstellern zur Lagerfähigkeit ihrer Produkte konnten folgende eindeutigen Trends festgestellt werden:

- Firmen, die vorrangig US-amerikanische Kunden ansprechen beziehen sich meist auf Forderungen des US-Militärs und die Luftfahrtnorm SAE ARP bzw. AS5316, welche auch in nicht Luftfahrtanwendungen zum Einsatz kommt.
- Wenn ein europäischer oder asiatischer Kundenkreis angesprochen werden soll, wird in der Regel die ISO 2230 herangezogen, mitunter auch die Forderungen der DIN 7716
- Es ist im Interesse von Dichtungsherstellern möglichst kurze maximale Lagerzeiten zu empfehlen, idealerweise innerhalb der zweijährigen Gewährleistungspflicht. Manche Firmen empfehlen dies auch konkret trotz anderslautender Normen zur Thematik.
- Generell beziehen sich fast alle Hersteller auf Normen und Regelwerke zu dieser Fragestellung. Firmeninterne Untersuchungen oder eigene maximale Lagerzeiten werden nur in Ausnahmefällen vorgestellt.
- Es gibt vermutlich kaum Elastomer-Normen, deren Inhalte so vollumfänglich und auf so vielen verschiedenen Webseiten wiedergegeben wird, wie die zur Lagerfähigkeit von Elastomeren. Die

[66] apg: The Shelf Life Of Elastomers: How Long Do Elastomers Last?, Dez. 2023, Internetinformation online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 26.03.2026): https://callapg.com/how-long-do-elastomers-last
[67] Apple Rubber: How to Calculate Shelf Life of Elastomers, March 18, 2015, Internetinformation der Fa. Apple Rubber, Lancaster, NY, Webseite zuletzt aufgerufen am 01.04.2026: https://www.applerubber.com/hot-topics-for-engineers/how-to-calculate-shelf-life-of-elastomers/
[68] SAE ARP 5316™ E: Storage of Elastomer Seals and Seal Assemblies Which Include an Elastomer Element Prior to Hardware Assembly, Ausgabe: 2014-10, S. 3f.
[69] Bigness: Wie berechnet man die Haltbarkeit von Gummiprodukten (maschinell aus dem Russischen übersetzt: Как рассчитать срок хранения резинотехнических изделий?), Webseite zuletzt aufgerufen am 01.04.2026: https://bigness.kz/a37316-kak-rasschitat-srok.html
[70] GOST ISO 2230-2013, Onlinebestellmöglichkeit für die russische Variante der ISO 2230 (Webseite zuletzt aufgerufen am 05.11.2026): https://runorm.com/catalog/1004/843909/

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Normung in diesem Bereich ist folglich sehr gut angenommen und wird in der Praxis gelebt.

6. Fazit für Dichtungsanwendende

Zum Thema der Lagerung von Dichtungen gibt es unzählige leicht öffentlich verfügbare Informationen, so dass es manchmal Lesende überfordern kann. Dieses Fazit soll die wichtigsten Informationen für die praktische Dichtungsanwendung zusammenfassen. Da es sich bei diesem Artikel um ein sehr ausführliches Review handelt, werden auch Sonderfälle beschrieben und wie QS-Abteilungen konkret Verlängerungen der Lagerdauer nach ISO 2230-chapter 7 und DIN 9088 versuchstechnisch absichern können.

6.1 Allgemeine Informationen

Da es sich bei Elastomerwerkstoffen um organische Materialien handelt, kommt es durch die Lagerung – auch unter Normbedingungen – zu einer Werkstoffalterung und einer Verschlechterung der Materialeigenschaften. Entscheidend ist aber das Ausmaß der Alterung. Bei sehr hitzebeständigen Elastomeren ist dieses nach vielen Jahren so gering, dass es kaum messbar ist bzw. innerhalb typischer chargen- und messtechnisch bedingter Streuungen liegt.
Wie oben erklärt, stellt eine lange Lagerzeit nicht prinzipiell ein Problem für Elastomerdichtungen dar, wenn auf angemessene Lagerbedingungen geachtet wird (siehe **Tab. 8**)

Lagerparameter	**Empfehlung**	**Anmerkung**
Temperatur	Im Bereich 10°C bis 30°C, in Ausnahmefällen auch kälter, allerdings nur für Werkstoffe, die nicht zur Kältekristallisation neigen, vor Einsatz müssen kalt gelagerte Dichtungen aufgewärmt werden	Die Alterung durch Wärme und Sauerstoff unterliegt einer progressiven Temperaturabhängigkeit. Kurzzeitige Überschreitungen der genannten Temperaturgrenzen sind unkritisch
Feuchtigkeit	Relative Luftfeuchte <65%, Kondensation vermeiden	Gefahr der Hydrolyse bei manchen Werkstoffen: AU und EU-Elastomere sollten in möglichst trockener Umgebung gelagert werden
Licht	UV-Licht allgemein vermeiden	UV-lichtundurchlässige Tüten (**Bild 6**) verwenden (Unzulässige UV-Einwirkung hinterlässt Oberflächenrisse, die leicht zu erkennen sind.) Dichtungen aus Silikonen sollten erst einige Tage nach der Produktion verpackt werden, damit Nebenprodukte aus der Nachvernetzung ausgasen können.
Strahlung	Wärmestrahlung wie auch sonstige Strahlungen (z.B. radioaktive) vermeiden	Obige Temperaturgrenzen beachten, umwelttypische natürliche Radioaktivität ist unkritisch
Kontaktmedien	Lösungsmittel, Öle, Fette und sonstige Betriebsstoffe können mit Elastomeren reagieren ➔ vermeiden Kautschukgifte kennen und vermeiden (Cu, Mangan), PVC mit Weichmachern vermeiden (v.a. keine Verpackungen aus diesen Materialien)	Wo ein Kontakt nicht vermieden werden kann, können Verträglichkeitstests durchgeführt werden. Kontakt mit Konservierungsfetten und Ölen können auch zur Lebensdauerverlängerung führen
Deformation/ Verformungen	spannungsfrei lagern bzw. Verformungen weitmöglichst reduzieren	Eine Nachvernetzung kann zu einer bleibenden Formänderung führen, kontinuierliche Frischluftzufuhr kann bei ungesättigten Elastomeren Ozonrisse erzeugen.
Sortenreine Lagerung	Unterschiedliche Werkstoffe nicht mischen	Unerwünschte Migration von Mischungsbestandteilen möglich
Ozon	Luftgeschützte Verpackungen	Ozonrisse können nur unter kontinuierlicher Luftzufuhr und lokalen Verformungen an ungesättigten Elastomeren entstehen

Tab. 8: Wichtige Lagerbedingungen für Elastomere

Es ist unbestritten, dass Elastomere bei einer längeren Lagerzeit Veränderungen unterworfen sind. Diese Veränderungen wurden in der Vergangenheit nach unterschiedlich langen Zeiten, teilweise über 30 Jahre, gemessen und bewertet. Bei den betrachteten Dichtungswerkstoffen wurden dabei in keinem Fall der dargestellten Studien Änderungen festgestellt, die ein klares K.o.-Kriterium darstellen. Allerdings wurden die gefundenen Unterschiede unterschiedlich bewertet. Als typischer Anwender von Elastomerdichtungen lässt sich

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

das Thema so zusammenfassen, dass es wichtig ist, richtig zu lagern. Dann kommt man bei Lagerzeiten zwischen 10 und 20 Jahren noch nicht in einen kritischen Zustand. Gestützt wird diese Empfehlung auf über 3000 durchgeführten Schadensanalysen bei den OPR Elastolabs. Dabei zeigten sich zwar mitunter Probleme bei der Lagerung in Form von Ozonrissen, diese konnten aber in jedem Einzelfall auf eine nicht luftgeschützte Lagerung zurückgeführt werden. Auch bei regelmäßig durchgeführten Überwachungsprüfungen an abgelaufenen Dichtungen konnten bisher keine signifikanten Veränderungen gefunden werden, wenn die Dichtungen korrekt gelagert wurden.
Liegen dagegen erhöhte Sicherheitsstandards wie zum Beispiel in der Nukleartechnik oder der Luft- und Raumfahrt vor, werden die oben beschriebenen Normen bezüglich der Lagerzeitüberwachung wie zum Beispiel die SAE AS 5316 oder ISO 2230 zur Anwendung empfohlen. Die Anwendung dieser Normen setzt allerdings voraus, dass eine Rückverfolgbarkeit der Dichtungen mit dem Herstellungsdatum möglich sein muss und dass eine Chargentrennung erfolgt, was zusätzlich einen Mehraufwand bedeutet.

6.2 Verlängerung der Lagerdauer

Die ISO 2230 beschreibt in Kap.7 die Möglichkeit einer Verlängerung der Lagerdauer. Am Ende der ursprünglichen Lagerzeit soll Elastomerbauteile entnommen werden und mindestens einer Sichtprüfung (**Abb. 7**) unterzogen werden, welche in Kap. 7.2.2 beschrieben ist. Ist eine Produktspezifikation vorhanden, soll nach dieser geprüft werden. Die Verlängerung ist nur einmalig möglich. Die mögliche Lagerzeitverlängerung wird in Tab. 2 dieses Reviewartikels wiedergegeben.
Die DIN 9088 erlaubt auch die Möglichkeit der Lagerzeitverlängerung. Dies wird in Kap.7 der Norm beschrieben. Im Gegensatz zur ISO 2230 kann die Lagerzeit beliebig oft durch entsprechende Prüfungen verlängert werden. Die Verlängerungszeiträume werden in Tab. 5 dieses Reviewartikels aufgelistet. Die DIN 9088 beschreibt einen interessanten Aspekt, nämlich dass Anwender „Technische Lieferbedingungen zur Lagerzeitverlängerung" erstellen können. Dieses Vorgehen ist gerade bei kostspieligen Dichtungen oder komplexen Anwendungen sinnvoll. Sehr oft besteht nämlich das Problem, dass Dichtungen am Ende ihrer Lagerzeit zwar nicht mehr alle Spezifikationsforderungen wie im Anlieferungszustand erfüllen, aber dennoch Werte aufweisen, welche eine sichere Funktion gewährleisten. Außerdem kommt noch das Problem hinzu, dass Spezifikationsvorgaben in der Regel an Prüfplatten ermittelt werden, nicht aber an Fertigteilen, an welchen die Ergebnisse mitunter schlechter (andere Produktionsbedingungen als wie bei Prüfplatten, Einfluss der Bauteilgeometrie) sind. Für eine QS-Abteilung ist es nun schwierig fachlich fundiert über eine Lagerzeitverlängerung zu entscheiden, da dort verständlicherweise keine tieferes Elastomerfachwissen, noch eine detaillierte Kenntnis der konstruktiven Einsatzbedingungen einer Dichtung vorhanden ist. Abhilfe kann hier eine Technische Lieferbedingung zur Lagerzeitverlängerung liefern, die konkrete Prüfungen und Sollwerte an Fertigteilen vorschreibt.
Da aber in der Praxis solche klaren Vorgaben die Ausnahme bilden, sollen die folgenden Ausführungen QS-Verantwortliche in ihrer Entscheidungsfindung über eine Lagerzeitverlängerung unterstützen. Zusätzlich empfiehlt sich eine interne Abstimmung mit der zuständigen Konstruktions- und Werkstofffachabteilung.

Gängige Praxis für die Lagerzeitverlängerung von Dichtungen in typischen O-Ring Anwendungen:

- Zeigen die Dichtungen alterungsbedingte Risse? Dazu sollten Dichtungen verformt werden und unter gutem Licht mit mindestens 2-facher Vergößerung in Anlehnung nach ISO 3601-3 auf Risse geprüft werden.
- Liegt die Härte noch im spezifizierten Bereich?

➔Ist beides der Fall, können die meisten O-Ringe in typischen O-Ring-Anwendungen bedenkenlos eingesetzt werden.



Abb. 7: In vielen Fällen kann die maximale Lagerzeit von Dichtungen nach sorgfältiger Prüfung verlängert werden (Bild: KI-generiert)

Bei Unsicherheiten in der Bewertung können zusätzlich zur Sichtprüfung unter Verformung physikalische Prüfungen durchgeführt werden. Außerdem können Experteneinschätzungen durch den Dichtungshersteller oder Fachlabore herangezogen werden.

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de

Physikalische Prüfungen
In den meisten wissenschaftlichen Untersuchungen zur Lagerfähigkeit hat sich die Änderung der Reißdehnung als das aussagekräftigste Kriterium über den Alterungszustand von Dichtungen herauskristallisiert.
Ebenso empfiehlt sich auch eine Überprüfung des Druckverformungsrestes, da man dadurch eine Aussage über mögliche Nachvernetzungen erhält. Die Werte sollten mit den Ergebnissen vom Zeitpunkt der Lieferung der entsprechenden Dichtungen verglichen werden.
Für andere wichtige Prüfparameter und deren Bewertung sei auf die Erklärungen von BOYUM und RHOADS verwiesen, gegen Ende des Kap. 4.1.6

6.3 Ausblühungen

Ein häufiges Thema bei der Bewertung von länger gelagerten Elastomerbauteilen sind Ausblühungen an der Oberfläche. In der Regel sind Ausblühungen harmloser Natur und haben keine negativen Auswirkungen auf die physikalischen Eigenschaften der Elastomerprodukte. In manchen Fällen sind sie sogar gewünscht, wenn Alterungsschutzmittel auf die Produktoberfläche migrieren, um sie so vor Sauerstoffangriff zu schützen.
In seltenen Fällen können Ausblühungen aber auch ein Zeichen einer schlechten (z.B. zu viel Schwefel) oder einer unvollständigen Vulkanisation sein. Dadurch wandert der unverbrauchte Schwefel an die Oberfläche. Ebenso können Beschleuniger an die Oberfläche gelangen, wenn sie schlecht eingemischt wurden. In diesen Fällen zeigen sich die Ausblühungen aber meist kurz nach der Herstellung.
Wird die Ausblühung als unkritisch eingestuft und muss die Dichtung aber aus optischen Gesichtspunkten gereinigt werden, kann auf die Reinigungsmöglichkeiten in der DIN 7716 verwiesen werden: entweder mit warmem Wasser und Seife oder einer 1,5%igen Natriumbikarbonatlösung. Manchmal genügt auch schon eine Reinigung mit Wasser und einem sauberen und möglichst fusselfreien Tuch. Reste der Reinigungsmittel sollen mit Wasser abgespült werden. Gewebeverstärkte Dichtungen hingegen sollten nicht mit Wasser gereinigt werden.[71] Bei Gummi-Metallteilen kann eine Glyzerin-Spiritusmischung im Verhältnis 1:10 verwendet werden.[72]
Lösemittel wie Benzin, Benzol, Terpentin o.ä. dürfen nicht zur Reinigung verwendet werden, da sie bestimmte Werkstoffe anquellen können. Ebenso sind alle Reinigungsverfahren zu vermeiden, welche die Oberfläche der Dichtungen verändern oder beschädigen könnten.

6.4 Lagerung von Dichtungen im verbauten Zustand

Es gibt immer wieder Anwendungen, bei denen Dichtungen vormontiert gelagert werden. Die Bewertung solcher Dichtungen ist nicht Gegenstand dieses Artikels, da durch die Vorspannung und die jeweilige Einbausituation andere und teilweise beschleunigte Alterungsprozesse stattfinden können (z.B. Ozonrisse bei R-Kautschuken) als bei einer korrekten Lagerung nach den oben beschriebenen Normen.

7. Ausblick

In der Ausfallstatistik von Schadensanalysen zeigt sich ein Trend bei Dichtungen, dass Ausfälle durch Alterung und chemischen Angriff zurückgehen, da die Qualität der Werkstoffe zunimmt. Heutzutage werden immer mehr gesättigte Werkstoffe (z.B. EPDM, VMQ, FKM, ACM u.ä.) als ungesättigte (z.B. NR, SBR, CR) eingesetzt, so dass bei Nicht-Reifenanwendungen das Thema Alterung bei Raumtemperatur inzwischen eine untergeordnete Rolle spielt.
Durch viele rezepturspezifische Lebensdauergeraden nach Arrhenius ist das Alterungsverhalten durch die Einwirkung von Wärme und Sauerstoff untersucht worden. Diese heute verfügbaren zahlreichen Informationen ermöglichen belastbare Rückschlüsse auf die Lagerfähigkeit.
Außerdem wurde durch eine Vielzahl an Studien (siehe oben) mit Werkstoffen, die deutlich schlechter waren als heutige Compounds, empirisch teilweise über Jahrzehnte nachgewiesen, welche Auswirkungen Lagerung auf Gummi hat. Deswegen sind hier keine bahnbrechenden neuen Erkenntnisse mehr zu erwarten. Die Fragestellungen sind heute meist gelöst, da das Wissen und die Erfahrung in diesem Bereich inzwischen sehr groß sind.

[71] Vgl. Parker Hannifin GmbH (Hrsg.): EMG report Magazin für Kunden der Engineered Materials Group Europa, Bietigheim-Bissingen, Juli 2018, S. 19, Dokument digital verfügbar (zuletzt aufgerufen am 01.04.2026): https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Praedifa/EMG-Report/2018-07_EMG-Report_DE.pdf
[72] DIN 7716 (Mai 1982): Erzeugnisse aus Kautschuk und Gummi: Anforderungen an die Lagerung, Reinigung und Wartung, S. 3, Kap. 5

© by OPR Group GmbH www.oprgroup.de :
OPR Elastolabs www.o-ring-prueflabor.de /OPR Technical Services www.elastomer-institut.de / OPR Training www.elastomer-training.de