

# FACHWISSEN O-RINGE

Ein Angebot des

**O RING**  
**PRÜFLABOR**  
**RICHTER**

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

Quelle: [www.o-ring-prueflabor.de](http://www.o-ring-prueflabor.de)  
Stand der Information: 06/2022

## **Wie lange bleiben Gummidichtungen elastisch? – Über das Langzeitverhalten von O-Ringen und anderen Elastomerdichtungen in Theorie und Praxis**

Autoren:  
Dipl.-Ing. Bernhard Richter,  
Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner

### **1. Einleitung**

Elastizität, Flexibilität, das sind Schlagworte, die nicht nur bei Gummidichtungen positiv belegt sind. Ja, diese Eigenschaften machen Elastomere so wertvoll für den Anwender. Die Geburtsstunde des Werkstoffes Gummi, durch die Entdeckung der Vulkanisation Mitte des 19. Jahrhunderts, war der Beginn einer neuen Epoche. Neben dem Naturkautschuk entstanden ab Anfang des 20. Jahrhunderts synthetische Kautschuke, die in Verbindung mit neuen wertsteigernden Mischungschemikalien die Vielfalt an Anwendungsbereichen kontinuierlich erweitert haben. Heute ist es daher oft nicht das Thema, dass es nicht den richtigen Werkstoff gibt, sondern dass der ausgesuchte Werkstoff auch der richtige ist. Und von den vielen möglichen Aspekten, unter denen man Elastomerwerkstoffe betrachten kann, wie zum Beispiel Tieftemperaturflexibilität, chemische Beständigkeit, Abrieb- oder Extrusionsbeständigkeit, Preis oder Verarbeitbarkeit, soll hier der Aspekt der Lebensdauer betrachtet werden, d.h., die Alterungsbeständigkeit gegenüber Wärme und Sauerstoff bzw. Luft. „Die Kombination von Sauerstoff als Reaktionspartner und Wärme als Energiequelle ist [nämlich] ein wichtiger Faktor beim Polymerabbau.“<sup>1</sup> Und es sind äußere Einflüsse, die praktisch immer präsent sind.

<sup>1</sup> HAWKINS, W. Lincoln: Polymer Degradation and Stabilization, Springer Verlag, Berlin, 1984, S.14 mit Verweis auf: SHELTON, J.R.: Stabilization Against Thermal Oxidation, in: Polymer Stabilization (ed) Hawkins, W.L., S.29,

„Der anfängliche Effekt des oxidativen Abbaus ist oft recht subtil und schwer zu erkennen. Chemische Veränderungen treten an zufälligen Stellen in einer verschwindend geringen Anzahl von Molekülen in der Masse auf. Diese anfänglichen Reaktionen sind so selten, dass sie selbst mit den empfindlichsten Analysemethoden nicht nachgewiesen werden können. Diese anfänglichen reaktiven Stellen leiten dann jedoch während der normalen Lebensdauer weitere Oxidationen ein, bis offensichtliche Veränderungen zu erkennen sind. Daher ist es wichtig, jede Phase im Lebenszyklus eines Polymers zu erkennen, in der eine Oxidation stattfinden könnte.“<sup>2</sup>

Durch die Alterung infolge von Wärme und Sauerstoff kommt es zu Verhärtungen des Materials. (Die Vorgänge auf molekularer Ebene werden näher in Kap. 3 beschrieben.) Eine gute Wärmebeständigkeit ist also eine notwendige, aber bei weitem nicht hinreichende Voraussetzung für eine Gummidichtung, damit sie lange „durchhält“ und nicht zum Ärgernis für den Anwender wird, sondern elastisch bzw. flexibel bleibt. So wird ein Dichtungsausfall vermieden.



## 2. Definition der Elastizität

Mit den Begriffen Entropieelastizität oder Gummielastizität bezeichnet man die für Polymere charakteristische Eigenschaft, nach einer Verformung, die auf Streckung von ganzen Makromolekülen oder Molekülsegmenten beruht, wieder in den entropisch günstigeren Knäuelzustand zurück zu kehren.<sup>3</sup> Was das aber dann konkret bedeutet und auf den ersten Blick ganz simpel zu sein scheint, ist es bei genauerem Hinsehen gar nicht, nämlich den Begriff der Elastizität aus dem Blickwinkel eines Anwenders detaillierter zu beschreiben, bzw. diesen Begriff auch mit objektiven Kriterien zu definieren. Elastizität wird beim Autoreifen anders definiert als beim Schwingungsdämpfer. In diesem Artikel soll dieser Begriff unter dem Aspekt einer Gummidichtung betrachtet werden. Beispielhaft wird es hier an einem O-Ring aufgezeigt werden, in ähnlicher Weise könnte man das auch für eine Hydraulikdichtung oder aber auch für eine Formdichtung tun.

Zunächst muss ein O-Ring in einen Einbauraum montiert werden, d.h. er muss dazu häufig aufgedehnt werden. Montageaufweitungen bis zu 50% des Innendurchmessers sind in der Praxis üblich, in manchen Fällen sogar wesentlich mehr. Damit die Wahrscheinlichkeit für einen Anriss bei der Montage möglichst gering bleibt, sollte dazu die Reißdehnung des Elastomers mindestens doppelt so hoch sein wie die maximale Aufdehnung bei der Montage. Dieser Umstand führt schon zu einem wichtigen Minimalkriterium für Gummidichtungen, nämlich einer Reißdehnung von mindestens 100%. Gleichzeitig sollte eine manuelle Montage möglich sein, was zu einer Begrenzung des Spannungswertes bei 50% bzw. 100% Dehnung führt, also der Kraft, welche zu einer Dehnung von 50% bzw. 100% benötigt wird. Dies kann man indirekt über die Härte definieren. Härten von ca. 70 ShA bilden erfahrungsgemäß den besten Kompromiss bezüglich zumutbarer Montagekräfte, ausreichender Robustheit gegen Montagebeschädigungen und Widerstandsfähigkeit gegen Spalteinwanderung. Somit sind schon zwei Kriterien gefunden, wie man Gummielastizität definieren kann, nämlich mittels der Reißdehnung und der Härte, wenn man allein die Montierbarkeit betrachtet.

New York: Wiley-Interscience 1972

<sup>2</sup> HAWKINS, W.Lincoln: Polymer Degradation and Stabilization, Springer Verlag, Berlin, 1984, S.13

<sup>3</sup> Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Gummielastizit%C3%A4t> , Zugriff auf Webseite am 20.07.2019

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

Telefon 07148 / 16602-0  
Fax 07148 / 16602-299  
info@o-ring-prueflabor.de  
[www.o-ring-prueflabor.de](http://www.o-ring-prueflabor.de)

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

Sitz der Gesellschaft:  
Großbottwar  
Amtsgericht Stuttgart  
HRB 737482

Volksbank Ludwigsburg  
IBAN DE96 6049 0150 0820 5810 03  
SWIFT GENODES1LGB

Ist der O-Ring nun montiert, kann er verpresst werden, d. h. der Querschnitt wird in einer Richtung um 10 bis 35% verformt<sup>4</sup>, wodurch im Kern lokale Dehnungen auch über 50% auftreten können. Ist die Reißdehnung des Werkstoffes zu gering, kann dies unter Temperaturerhöhung zu inneren Spannungsrissen führen, da sich dabei die Belastungsgrenze (Weiterreißbeständigkeit) des Werkstoffes reduziert. So kann eine hohe relative Verformung des O-Rings unter Wärmeeinwirkung bedeuten, dass das oben genannte Minimal Kriterium für die Reißdehnung weiter erhöht werden muss, zum Beispiel auf 200%. Im verbauten Zustand wird dann vom O-Ring gefordert, dass er bei druck- oder temperaturbedingten Änderungen des Spaltmaßes dieses sicher überbrücken kann. Wird zum Beispiel ein O-Ring mit 2 mm Schnurstärke um 25% auf 1,5 mm verpresst, und ist anwendungsbedingt eine Spaltänderung um 0,05 mm möglich, so darf der O-Ring in der Anwendung maximal 0,45 mm Rückstellverhalten verlieren, damit er gerade noch den Spalt überbrücken kann. Als ausreichend elastisch würde man den O-Ring also dann bezeichnen, wenn die bleibende Verformung nicht höher als 90% (=0,45/0,50) beträgt. Somit kann man als 3. Kriterium zur Definition der Elastizität den Druckverformungsrest verwenden, das heißt die relative bleibende Verformung in %. Diese bisher genannten Definitionen der Elastizität wurden sehr anwendungsnah hergeleitet.

Darüber hinaus kann man eine allgemeine, materialbezogene Definition von Elastizität anwenden, wie dies häufig bei Polymerherstellern und in Werkstoffspezifikationen getan wird. Man betrachtet nur die relativen Änderungen der Reißdehnung oder der Zugfestigkeit als Maß für den Grad des Polymerabbaus (Degradation) durch Wärme, d.h., ein Gummiwerkstoff wird noch als „elastisch“ für die Anwendung als brauchbar eingestuft, solange er nicht mehr als 50% der ursprünglichen Eigenschaften verloren hat. Bei den meisten Elastomeren nimmt man die Reißdehnung als Kriterium, bei FKM-Werkstoffen die Zugfestigkeit. Was im einzelnen Fall Sinn macht, hängt von den jeweiligen Reaktionen im Polymer/Netzwerkgefüge ab, welche durch die hohen Temperaturen und den Luftsauerstoff ausgelöst werden. Eine genaue Beschreibung weiterer möglicher zu untersuchender Parameter, wie z.B. Spannungsrelaxation oder dynamische Spannungs-/Dehnungseigenschaften eines Werkstoffes findet sich in der Fachliteratur.<sup>5</sup> Wenn man also die Frage stellen will, wie lange eine Dichtung „elastisch“ bleibt, sollte man anwendungsspezifisch festlegen, auf welche Art der Elastizität es ankommt, und wie hoch die Minimalanforderungen seitens der Anwendung sind. Man spricht dann von einer Definition des sogenannten Lebensdauerkriteriums.

<sup>4</sup> Vgl. ISO 3601-2 Fluidtechnik – O-Ringe – Teil 2: Einbauräume für allgemeine Anwendungen, Ausgabedatum: 2016-07

<sup>5</sup> Vgl. BROWN, Roger P.: Practical Guide to the Assessment of the Useful Life of Rubbers. Rapra Technology Ltd., Shawbury, 2001, chapter 8: Parameters to Monitor Degradation, S. 31-42

### 3. Die Theorie hinter einer Lebensdauergeraden

Der für den Gummiwerkstoff aggressive Bestandteil der Luft ist der Sauerstoff. In Verbindung mit Wärme nennt man die Einwirkung „thermooxidative Alterung“<sup>6</sup> welche an Gummiwerkstoffen im Wesentlichen auf zwei Arten zu einer Veränderung der Elastizität führt:

1. Durch eine Nachvernetzung, d.h. es bilden sich neue Vernetzungsbrücken zwischen den Polymerketten, welche zu einer Abnahme der Reißdehnung führen
2. Es kommt zu einer Segmentierung der langen Polymerketten, was zu einer Abnahme der Zugfestigkeit führt.

Beides bewirkt einen Rückgang der wichtigsten Eigenschaft von Elastomeren, der Elastizität bzw. Rückstellfähigkeit. Teilweise kann es darüber hinaus auch zu einem Abbau von vorhandenen Vernetzungsstellen kommen.

Diese Veränderungen beruhen letztlich 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 letztlich auf einer chemischen Reaktion beruht, lässt sich die Geschwindigkeit der Alterungsreaktion prinzipiell in Abhängigkeit von der Temperatur **T** auch mittels einer Arrhenius-Gleichung darstellen<sup>7</sup>:

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

Dabei hatte Arrhenius die zwei freien Parameter als präexponentiellen Faktor **A** und als Aktivierungsenergie **E<sub>A</sub>** 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,

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

<sup>7</sup> Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Arrhenius-Gleichung> (Zugriff auf Webseite: 20.7.2019)

der gerade noch ausreicht, damit das Gummiteil noch elastisch genug ist, kann man mit diesem Prinzip sogenannte Lebensdauergeraden erstellen.

Arrheniusgeraden werden auch „in der Vulkanisationskinetik<sup>8</sup> zur Erfassung der Abhängigkeit der Inkubations- und Vulkanisationszeit von den Vulkanisationstemperaturen herangezogen.“<sup>9</sup>

## 4. Erstellung von Lebensdauergeraden

Wie das Ganze praktisch aussehen kann, soll an Beispielen gezeigt werden:

### 4.1 Lebensdauergerade mit Hilfe von DVR-Messungen (FKM O-Ring, Rezeptur 1)

Für einen speziellen FKM-O-Ring Werkstoff soll eine Lebensdauergerade für O-Ringe erstellt werden. Um mit den Versuchen zu erkennen, ob die Temperaturabhängigkeiten nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch dem von Arrhenius beschriebenen exponentiellen Verlauf folgen - d.h., ob sich bei entsprechender Darstellung (siehe oben) auch tatsächlich annähernd eine Gerade ergibt – muss das Lebensdauerkriterium mindestens für 3 Temperaturen ermittelt werden. Dies wurde im vorliegenden Fall bei 175°C, 200°C und 225°C durchgeführt. Da es um eine O-Ring Anwendung ging, wurde als Kriterium für die Elastizität der Druckverformungsrest (DVR) verwendet, als Schnurstärke wurden 2,5 mm ausgewählt. **Abb. 1** zeigt den gewonnenen Zeitverlauf, zusätzlich die ermittelten Best-Fit-Funktionen (Wurzelansatz, linearer Zeitmaßstab). Mit diesen gewonnenen Zeitfunktionen wurden die Zeiten bis zum Erreichen des angesetzten Lebensdauerkriteriums von 90% Druckverformungsrest durch Interpolation (225°C und 200°C) sowie Extrapolation (175°C) ermittelt, siehe **Abb. 2**. Das Ergebnis einer Druckverformungsrest-Messung kann auch über 100% liegen, wenn bei Prüftemperatur bereits ein Wert von 100% erreicht wird und die Messung erst 30 Minuten nach Entspannung durchgeführt wird. In dieser Zeit kühlt der Probekörper weiter ab und schwindet dadurch, so kommt es zu Ergebnissen über 100%.

RICHTER

<sup>8</sup> Vgl. DIN 53529-1 bis 3: Prüfung von Kautschuk und Elastomeren; Vulkametrie; Ausgabejahr: 1983

<sup>9</sup> SCHNETGER, Jochen: Lexikon Kautschuktechnik, Hüthig Verlag, Heidelberg, <sup>3</sup>2004, S. 47, Stichwort: Arrheniusgleichung

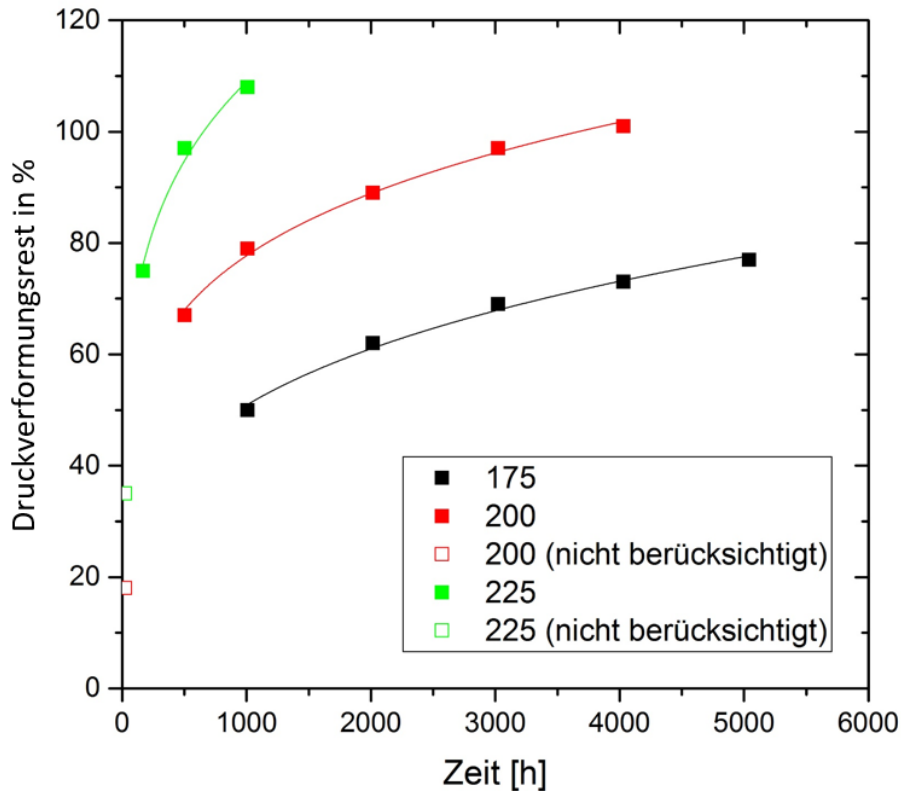


Abb. 1: Eingepasste DVR-Zeitverläufe eines FKM-O-Rings für drei unterschiedliche Temperaturen

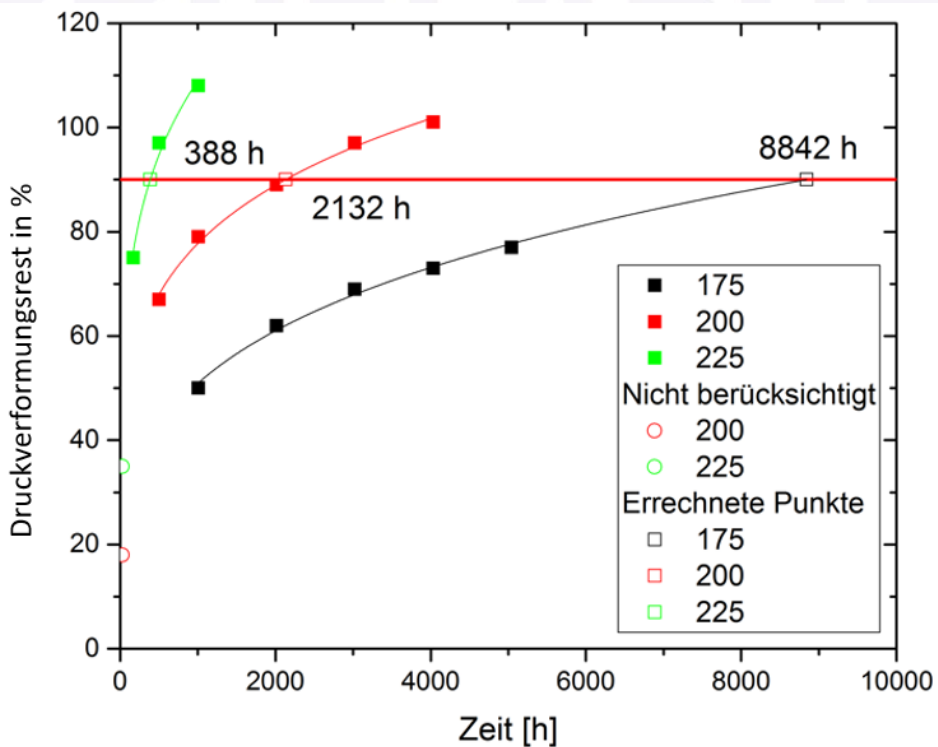
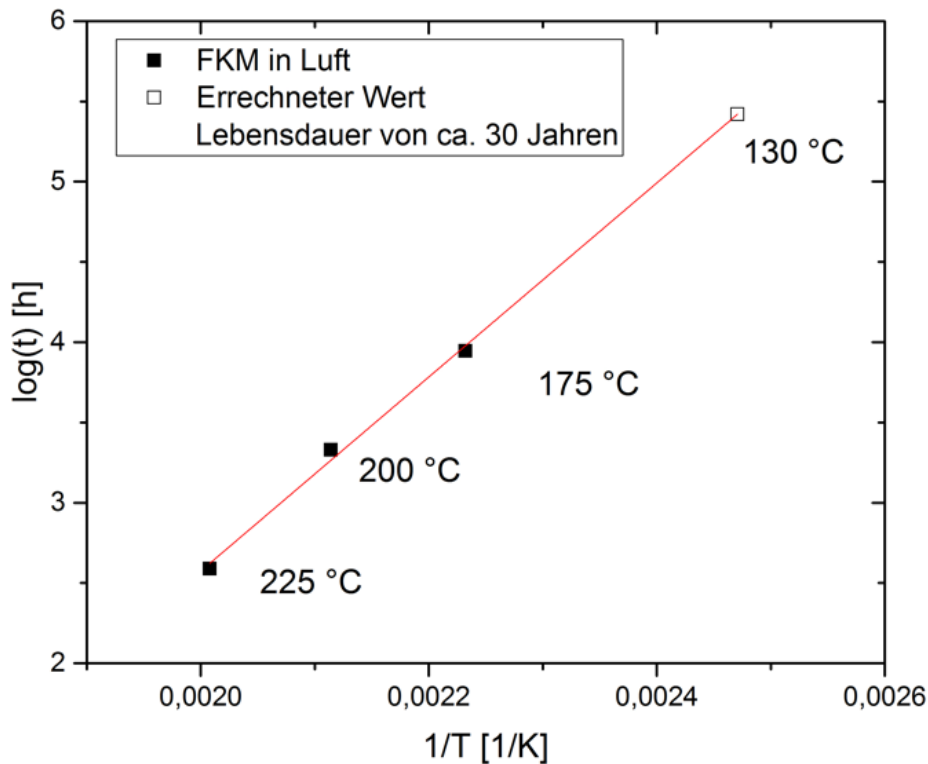


Abb. 2: Ermittelte Lebensdauerzeiten für 3 Temperaturen aus den Zeitverläufen von Abb. 1 für einen DVR-Wert von 90%

Diese gewonnenen Lebensdauerzeiten trägt man in einem Diagramm so auf, dass die Lebensdauer logarithmisch auf der Y-Achse aufgetragen wird und auf der X-Achse die absolute inverse Temperatur. Liegen die gewonnenen 3 Punkte auf einer Geraden, lässt sich daraus mit hoher Belastbarkeit die Lebensdauer bei deutlich niedrigeren Temperaturen ermitteln, siehe **Abb. 3**. Zum Beispiel lässt sich für 30 Jahre Lebensdauer daraus eine zulässige Dauertemperatur von 130°C ableiten.



**Abb. 3:** Die gewonnene DVR-Lebensdauergerade für die untersuchten FKM O-Ringe (Lebensdauerkriterium ist ein DVR-Wert von 90%)

#### 4.2 Lebensdauergerade mit Hilfe von Zugfestigkeitsmessungen (FKM O-Ring, Rezeptur 2)

In einem zweiten Beispiel für eine andere FKM-Rezeptur soll als Kriterium für die Elastizität die Zugfestigkeit herangezogen werden. Die Wärmealterungen wurden an S2-Zugprüfstäben durchgeführt, wie üblich im spannungsfreien Zustand. Als Prüftemperaturen wurden 160°C, 180°C und 200°C ausgewählt und es wurde bis zu 2500h in Heißluft gealtert. Die Ergebnisse dazu finden sich in **Abb. 4**. Hier wurde zur Anpassung des Zeitverlaufes eine Geradengleichung im logarithmischen Zeitmaßstab verwendet, die allerdings bei 180°C den Geraden für 160°C und 200°C angepasst werden musste. Als Lebensdauerkriterium wurde ein relativer Abfall der Zugfestigkeit um 50% des Ausgangswertes angesetzt. Diese ermittelten Lebensdauerzeiten wurden dann wieder in Form einer Lebensdauergerade aufgetragen, siehe **Abb. 5**. Da die drei ermittelten Messpunkte wieder auf einer Gerade liegen, wird die daraus abgeleitete zulässige Lebensdauer für eine Temperatur von 130°C von ca. 50 Jahren als gut belastbar eingestuft.

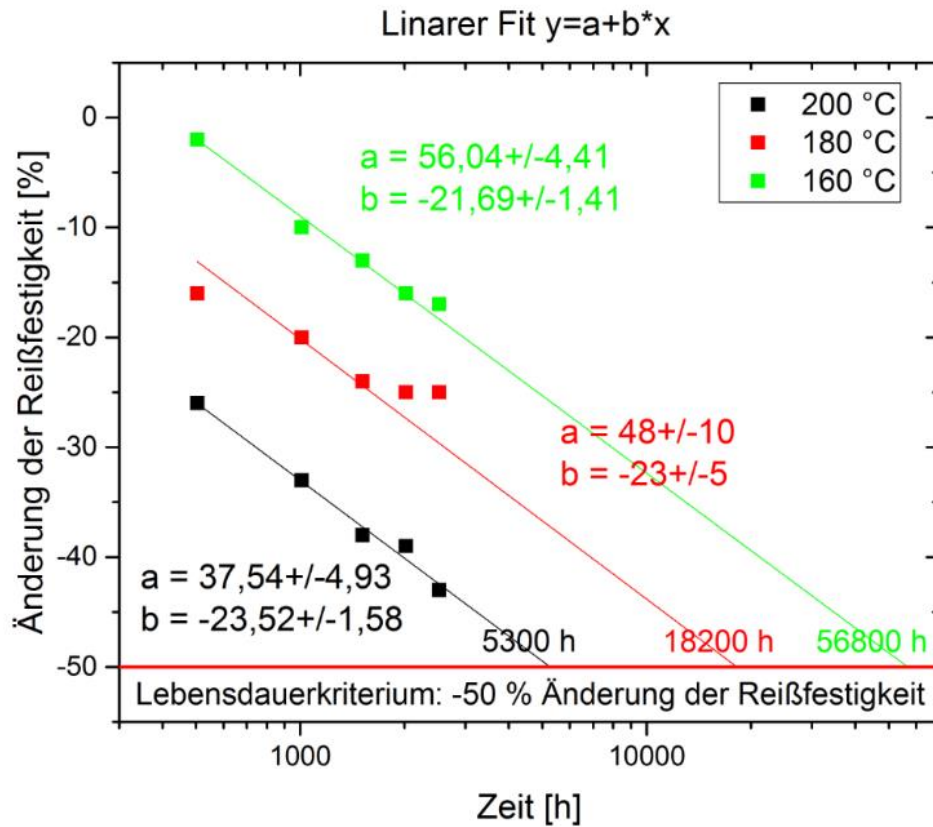


Abb. 4: Prüfergebnisse einer Heißluftalterung eines FKM-Werkstoffes

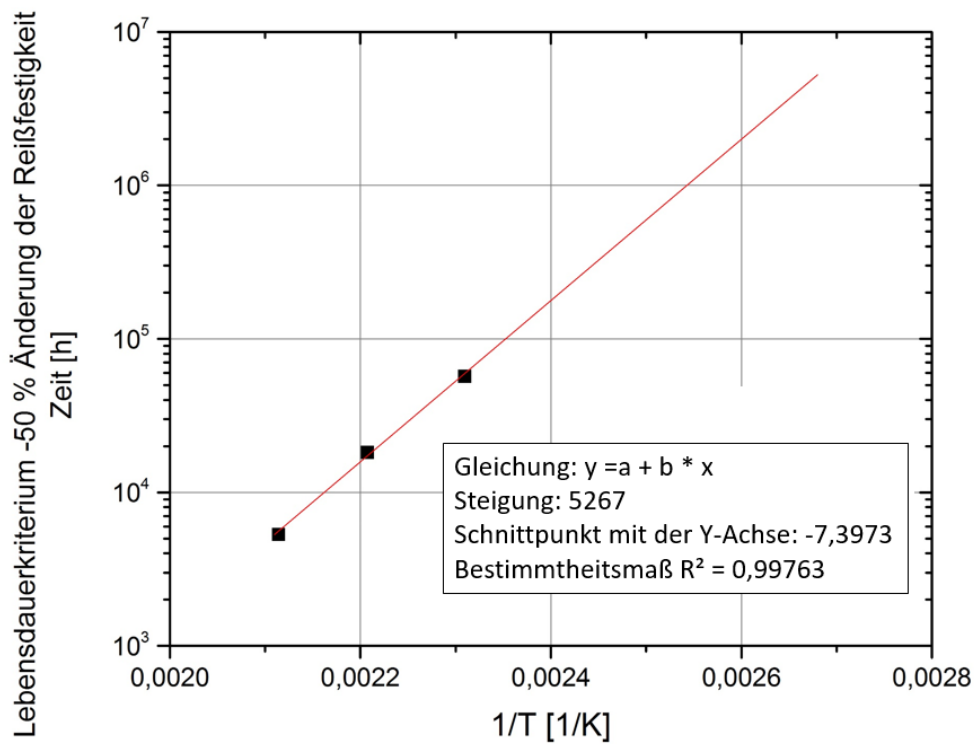


Abb. 5: Ermittelte Heißluftalterung-Lebensdauergerade für einen FKM-Werkstoff



### 4.3 Lebensdauergerade mit Hilfe von DVR-Messungen (NBR O-Ring)

Während unter 4.1 das Lebensdauerkriterium mit 90% angesetzt wurde, wurde es bei diesem NBR O-Ring mit 95% angenommen. Je nach Einbauraum (radial oder axial abdichtend, eher großes oder kleines Spaltmaß) und Beanspruchung (statisch oder dynamisch) können als Lebensdauerkriterium 80-100% realistisch sein.

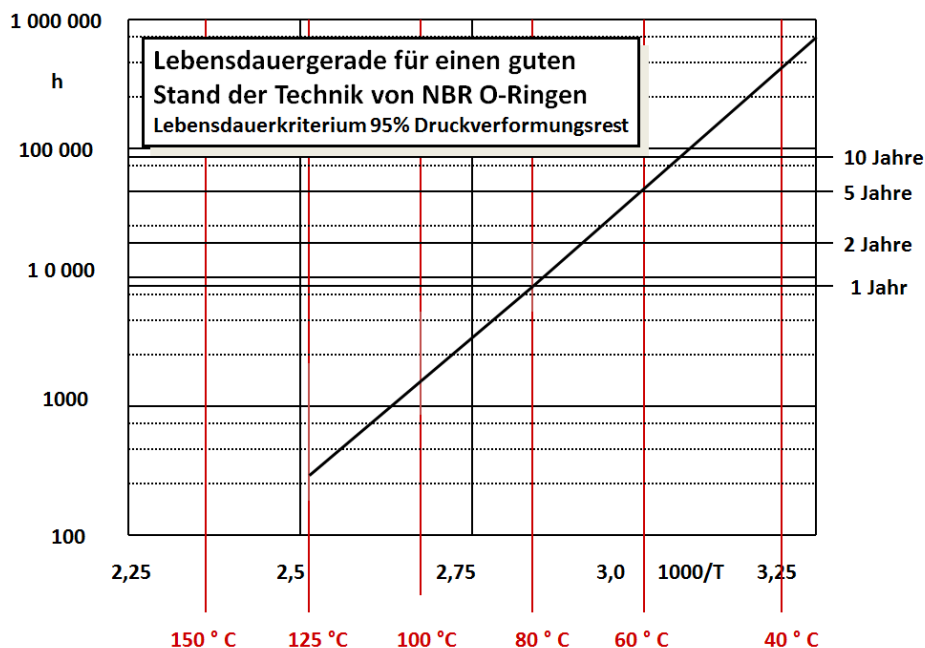


Abb. 6: : Lebensdauergerade für NBR O-Ringe

### 4.4 Lebensdauerberechnungen mit Hilfe von DVR- bzw. Reißdehnungsmessungen (verschiedene Profilwerkstoffe)

Wie oben beschrieben, können für die Definition der Elastizität unterschiedliche Kriterien angesetzt werden. So zeigt Tab. 1 Lebensdauergerenzen verschiedener Werkstoffe für unterschiedliche Lebensdauerkriterien.

Kautschuk-basis	Nutzungsdauer für mittlere Dauereinsatztemperaturen von [a] = Jahre und [d] = Tage							
	135°C	115°C	95°C	75°C	55°C	45°C	35°C	25°C
<b>CR/SBR (3:1)</b>	-	-	37 d	203 d	3,7 a	10,6 a	32 a	108 a
<b>EPDM</b>	-	-	70 d	382 d	7,2 a	19,5 a	60 a	198 a
<b>CM</b> (chloriertes PE)	34 d	142 d	695 d	11,2 d	81 a	234 a	699 a	2624 a

Tab. 1 : Lebensdauer verschiedener rußgefüllter Profilwerkstoffe (Grenzkriterium des CM Werkstoffes war ein DVR von 80% und Grenzkriterium des CR/SBR- und EPDM- Werkstoffes war eine Reißdehnung von 100%)<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Erhardt, D. Wärmealterungsbeständigkeit von Gummi in: GAK Gummi Fasern Kunststoffe, 52, Heft 9, 1999, S. 688, Tab.8

## 5. Herausforderungen bei der Erstellung von Lebensdauergeraden

Die Erstellung von Lebensdauergeraden nach dem Ansatz von Arrhenius ist eine relativ einfache Methode, um zu konkreten Aussagen für den praktischen Dichtungsanwender zu kommen. Der Ansatz wird überwiegend bei der Heißluftalterung angewendet, kann aber auch für Alterungsprozesse im Kontakt mit Medien zur Anwendung kommen. Die Heißluftalterung ist letztlich eine Sonderform der chemischen Alterung, die auch beim Medienkontakt direkt durch ein Fluid oder durch darin enthaltene Additive oder durch Zusätze von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln, auftreten kann.

Um den Ansatz nach Arrhenius sicher und gewinnbringend anwenden zu können, ist es wichtig bei der Durchführung der Versuche verschiedene Dinge zu beachten und die Grenzen des Verfahrens realistisch einzuschätzen. „Die inhärente Schwäche des Arrhenius-Ansatzes liegt in den Annahmen, die getroffen werden. (...) Es wird davon ausgegangen, dass die Reaktionen bei der Betriebstemperatur die gleichen sind wie bei den Prüftemperaturen, dass die Aktivierungsenergie unabhängig von der Temperatur ist und dass die chemischen Veränderungen direkt mit den gemessenen physikalischen Eigenschaften zusammenhängen. Wenn eine dieser Voraussetzungen nicht erfüllt ist, ist die Beziehung ungültig.“<sup>11</sup>

Speziell für die Lebensdauerabschätzung von Elastomeren werden in der ISO 11346<sup>12</sup> wertvolle Hinweise gegeben, unter welchen Bedingungen eine Auswertung erfolgen sollte: „Der Arrhenius-Ansatz ist nur für chemische Abbaureaktionen geeignet und kann falsche Ergebnisse liefern für Tests, bei denen physikalische (viskoelastische) Veränderungen nicht leicht von chemischen Veränderungen getrennt werden können.“<sup>13</sup>

Es gibt aber auch Anwendungen, in denen „der grundlegende Versagensmechanismus sich (...) bei einer Abnahme von Temperatur, Druck, Strahlendosis, Belastung bei statischen Prüfungen oder Dehnung bei Ermüdungsprüfungen ändern kann.“<sup>14</sup> In Fällen, in denen solche Phänomene vorherrschend sind, ist der Ansatz nach Arrhenius nicht geeignet.

Manchmal wird die „Aktivierungstemperatur bestimmter Abbaureaktionen nur unter Testbedingungen erreicht“<sup>15</sup>, so dass eine Übertragung des Arrhenius Ansatzes auf solche Anwendungen schwierig sein kann.

Um belastbare Ergebnisse mit dem Ansatz von Arrhenius zu bekommen, sollte mindestens bei 3 Temperaturen geprüft werden. „Diese Extrapolationen [nach dem Ansatz von Arrhenius] sind umso zuverlässiger, wenn die beschleunigten Alterungstests über einen langen Zeitraum und in einem möglichst breiten Temperaturbereich durchgeführt wurden. Wir müssten also in der Lage sein, recht lange Expositionszeiten bei moderaten Temperaturen zu erreichen.“<sup>16</sup>

<sup>11</sup> BROWN, Roger P.: Practical Guide to the Assessment of the Useful Life of Rubbers. Rapra Technology Ltd., Shawbury, 2001, chapter 8: Parameters to Monitor Degradation, S. 123

<sup>12</sup> ISO 11346:2014-12 Elastomere und thermoplastische Elastomere-Bestimmung der Lebensdauer und der höchsten Gebrauchstemperatur Originaltitel: Rubber, vulcanized or thermoplastic - Estimation of life-time and maximum temperature of use

<sup>13</sup> ISO 11346:2014-12 Elastomere und thermoplastische Elastomere-Bestimmung der Lebensdauer und der höchsten Gebrauchstemperatur Originaltitel: Rubber, vulcanized or thermoplastic - Estimation of life-time and maximum temperature of use, S. v (chapter Introduction)

<sup>14</sup> KELEN, Tibor: Polymer Degradation, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1983, S. 40

<sup>15</sup> HERZIG, Alexander, Kurt: Thermo-oxidative ageing of elastomers -A contribution to the experimental investigation and modelling, Universität der Bundeswehr, München, 2020, S. 4

Dissertation online verfügbar (zuletzt aufgerufen am 29.04.2022):

<https://athene-forschung.unibw.de/doc/132695/132695.pdf>

<sup>16</sup> LE HUY, M. und EVRARD, G.: Methodologies for lifetime predictions of rubber using Arrhenius and WLF models in: Die Angewandte Makromolekulare Chemie 261/262, Nr. 4624, 1998, S. 137

In der Praxis hat sich bewährt bei der niedrigsten Temperatur mindestens 1000h (6 Wochen) und bei der höchsten Temperatur mindestens 100h zu prüfen. Für Dichtungsanwendungen wird entweder die Druckverformungsrest- oder die Druckspannungsrelaxationsprüfung empfohlen. Die Grenzen der Anwendbarkeit werden bei maximal 40°C unterhalb der niedrigsten ausgewerteten Prüftemperatur angesehen. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass eine thermooxidative Schädigung diffusionsabhängig verläuft. Das heißt, es kann nur zu einer eingeschränkten Oxidation (=Voraussetzung zur Erstellung einer Lebensdauergeraden) kommen, wenn die Probe auch genug Sauerstoff aufnehmen kann. Und dies ist von der Probengeometrie abhängig. Je dickwandiger ein Probekörper ist, desto geringer ist die mittlere massenspezifische Absorption von Sauerstoff. Das begrenzt damit für eine vorgegebene Geometrie die obere maximale Prüftemperatur. So wurde bei RICHTER<sup>17</sup> nachgewiesen, dass bei O-Ringen erst 20°C unterhalb der zulässigen Dauertemperatur nach dem 1000h-Kriterium – bei NBR sind das 80°C – kein signifikanter Geometrieinfluss durch die Schnurstärke (1,78 bis 6,99 mm) mehr zu erkennen ist. Bei Verwendung einer kleinen Schnurstärke (1,78 mm) war dagegen eine für Langzeitversuche noch ausreichende Diffusion von Sauerstoff bis 25°C über der Dauertemperatur vorhanden. Bei KÖMMLING et al.<sup>18</sup> wurde dieser geometriebedingte Einfluss der Diffusion auf die thermooxidative Alterung weiter ausführlich untersucht.

Die Herausforderung besteht darin, eine belastbare Lebensdauergerade in einer möglichst kurzen Zeit zu erstellen. Ein guter Kompromiss bei O-Ringen liegt in der Verwendung von Schnurstärken von maximal 3 mm und einer minimalen Prüfzeit von 3000h.

Außerdem ist bei der Verwendung von Arrheniusgeraden darauf zu achten, „dass das Profil der thermischen Belastbarkeit spezifisch ist für:

- ein Material (d. h. eine bestimmte Zusammensetzung) und nicht für eine Familie von Materialien. Es kann stark von der Zusammensetzung der Mischung und insbesondere vom Stabilisierungssystem, den Füllstoffen und einem eventuellen Vernetzungssystem abhängen,
- eine Eigenschaft und nicht die Gesamtheit der Eigenschaften eines Werkstoffs,
- das angenommene Lebensdauerkriterium.“<sup>19</sup>

## 6. Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde der Einfluss der Wärme und der umgebenden Luft bzw. des Sauerstoffs auf das Langzeitverhalten von Elastomeren beschrieben, und wie man den Verlust an Elastizität anwendungsbezogen definieren sollte. Somit kann der Arrhenius-Ansatz dem Anwender einen belastbaren Nachweis über die geforderte Lebensdauer erbringen. Dieser Ansatz ist auch anwendbar, um eine ausreichende chemische Beständigkeit gegenüber Kontaktmedien nachzuweisen.

<sup>17</sup> RICHTER, Bernhard: Lebensdauer von O-Ringen, Auswertung von Langzeitversuchen an NBR O-Ringen, Tagungsband 11. Internationale Dichtungstagung am 3./4. Mai 1999 in Dresden

<sup>18</sup> KÖMMLING, A.; JAUNICH, M.; POURMAD, P.; WOLF, D.; HEDENQVIST, M.: Analysis of O-Ring Seal Failure under Static Conditions and Determination of End-of-Lifetime Criterion in: Polymers (Basel), 2019 Aug, 11 (8), 1251, 19 Seiten, Artikel online verfügbar (Open Access, Artikel zuletzt aufgerufen am 30.05.2022): <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6723462/pdf/polymers-11-01251.pdf>

<sup>19</sup> LE HUY, M. und EVRARD, G.: Methodologies for lifetime predictions of rubber using Arrhenius and WLF models in: Die Angewandte Makromolekulare Chemie 261/262, Nr. 4624, 1998, S. 137

Im dichtungstechnischen Alltag gibt es darüber hinaus selbstverständlich noch eine Anzahl weiterer Einflüsse, welche die Lebensdauer begrenzen können. Deshalb ist in jedem Fall eine sorgfältige Dichtungsauslegung erforderlich, dazu können auch verschiedene physikalische Belastung- und Dauertests gehören, eine angemessene Materialspezifikation sowie die Auswahl eines geeigneten Dichtungslieferanten.

---

O RING

---

PRÜFLABOR

---

RICHTER

---

---

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

Telefon 07148 / 16602-0  
Fax 07148 / 16602-299  
info@o-ring-prueflabor.de  
[www.o-ring-prueflabor.de](http://www.o-ring-prueflabor.de)

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

Sitz der Gesellschaft:  
Großbottwar  
Amtsgericht Stuttgart  
HRB 737482

Volksbank Ludwigsburg  
IBAN DE96 6049 0150 0820 5810 03  
SWIFT GENODES1LBG

---