

Dichtigkeit und Undichtigkeit von Elastomeren

Andreas SCHOPPHOFF, Pfeiffer Vacuum, Asslar
Ludwig HISS, material design, Endingen

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Abbildungsverzeichnis	1
1. Einführung.....	2
2. Einsatzgebiete von Elastomeren	2
3. Elastomere als Dichtwerkstoffe	3
5. Charakteristiken von Undichtigkeiten und Permeation	3
6. Theoretische Betrachtung von Permeationsprozessen	4
7. Leckgeratenmessungen von Elastomeren	5
a. Versuchsaufbau	5
b. Versuchsdurchführung	6
c. Interpretation der Messergebnisse.....	6
8. Unterschiedliche Dichtigkeit von Elastomeren und Metalldichtungen	7
9. Einfluss von Undichtigkeiten auf Produktionsprozesse.....	8
10. Zusammenfassung.....	8

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elastomere Produkte für den täglichen Bedarf.....	2
Abbildung 2: Charakteristik von Undichtigkeiten	3
Abbildung 3: Permeationsprozess schematisch	4
Abbildung 4: Prinzipdarstellung der Eindichtung des Prüflings	5
Abbildung 5: Kompletter Versuchsaufbau mit Pumpen und Anbauteilen	6
Abbildung 6: Verlauf der Leckrate bei einem Schlauch.....	7
Abbildung 7: Leckraten eines Ventils mit Elastomer und mit Metalldichtungen	7

1. Einführung

Dichtungen werden seit vielen Jahrtausenden von Menschen genutzt. Sie dienen dazu einen ungewollten Stofffluss zwischen zwei voneinander getrennten Räumen zu verhindern oder zu verringern. Den ungewollten Stofffluss, Leckage, kann man in gefährliche und ungefährliche Undichtigkeiten unterteilen. Ungefährliche Leckagen sind z.B. ein tropfender Wasserhahn oder eine undichte Druckleitung. Unter gefährlichen Leckagen versteht man einen Stofffluss, der einen finanziell großen Schaden oder eine Gefährdung von Mensch und Umwelt darstellt. Mit Hilfe von Dichtungen werden diese Undichtigkeiten verringert oder sogar verhindert. Man unterscheidet grundsätzlich dynamische und statische Dichtungsanwendungen. Dynamische Dichtungen sind z.B. Stopfbuchspackungen oder Gleitringdichtungen für Wellenantriebe.

Statisch beanspruchte Dichtungen sind in diesem Bereich Flanschdichtungen von Rohrleitungen oder Behältern. In dieser Abhandlung werden im weiteren nur statische Dichtungen, die lösbar sind und aus Elastomeren bestehen, betrachtet. Um eine Vergleichbarkeit zu erhalten werden diese Elastomerdichtung mit Metaldichtungen verglichen.

2. Einsatzgebiete von Elastomeren

Elastomere sind formfeste, aber elastisch verformbare Kunststoffe. Die Kunststoffe können sich bei Zug- und Druckbelastung verformen, finden aber danach wieder in ihre ursprüngliche, unverformte Gestalt zurück. Elastomere finden Verwendung als Material für Reifen, Gummibänder, Dichtungsringe, etc.

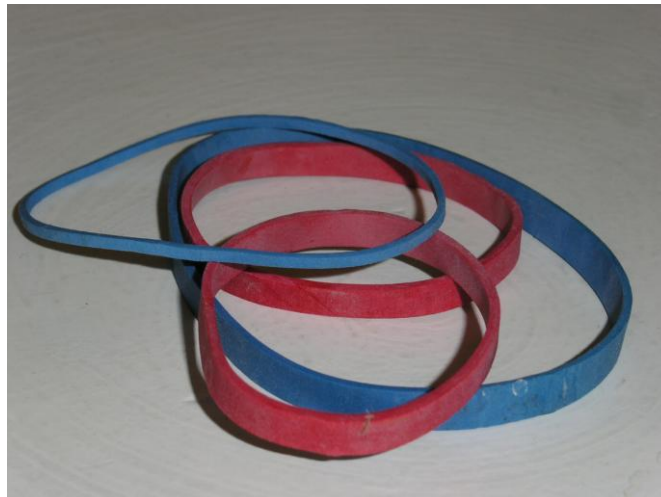


Abbildung 1: Elastomere Produkte für den täglichen Bedarf

Als Dichtwerkstoffe werden in der Industrie, vor allem in der Vakuumtechnik, verschiedene Werkstoffe verwendet.

3. Elastomere als Dichtwerkstoffe

Die besonderen Anforderungen der Vakuumtechnologie machen Elastomere zu einem häufig eingesetzten Dichtungswerkstoff. In den meisten Vakuumprozessanlagen wird in Druckbereichen von $1\text{E-}6$ mbar bis $\text{E-}1$ mbar gearbeitet.

Nicht sehr häufig werden von dem Anwender die möglichen Einflüsse von derartigen Undichtigkeiten in Betracht gezogen.

5. Charakteristiken von Undichtigkeiten und Permeation

Wird ein Elastomer mit Hilfe eines Helium-Lecksuchers auf Dichtigkeit getestet, so sind zwei Szenarien (siehe Abbildung 2) möglich:

Kanal

Im Falle einer Undichtigkeit in Form eines Loches wird das Leckratensignal innerhalb kürzester Zeit ansteigen. Diese Anzeige ist auf einen Gasstrom von Helium zurückzuführen, welches sich ohne Zeitverlust von der Atmosphärenseite auf die Unterdruckseite (Flascheninneres) bewegt. In der Abbildung ist das Tracer gas Helium mit grünen Punkten dargestellt. Die Umgebung wird dazu mit Helium abgesprüht.

Je nach Anwendungsfall wird entweder die Unterdruckmethode eingesetzt oder die Schnüffelmethode. Die Auswahl hängt davon ab, ob das zu prüfende Teil:

- vakuumfest ist
- überdruckfest ist
- Größe des Prüflings
- in welche Richtung der Druckgradient in der späteren Anwendung weist

Insbesondere bei der schon beschriebenen Vakuumlecksuche wird es bedingt durch die bessere Empfindlichkeit nach einer längeren Belegung mit Helium zu einer Permeation von Helium durch das Elastomer kommen.

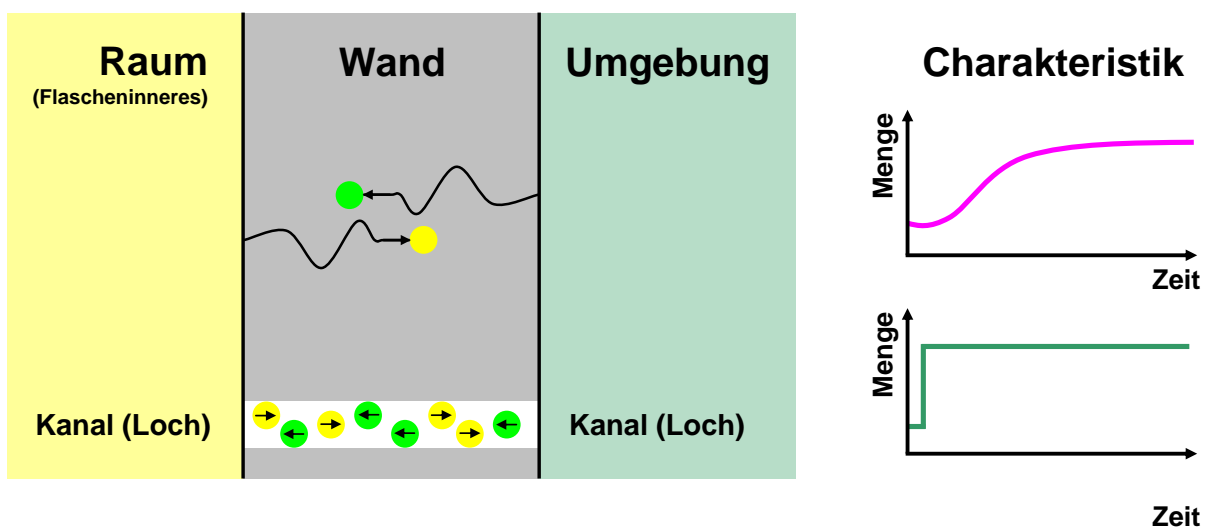


Abbildung 2: Charakteristik von Undichtigkeiten

Permeation

Der Permeationseffekt wird in der der Abbildung 2 in der oberen Grafik dargestellt. Aus dem dargestellten Leckratensignal ist klar ersichtlich dass sich der Gasstrom des Tracergases Helium asymptotisch einem Grenzwert nähert.

Im Falle eines derartigen Leckratensignals handelt es sich nicht um ein typische Leck, sondern um einen Austauschprozess der durch das Material stattfindet.

6. Theoretische Betrachtung von Permeationsprozessen

Der Permeationsprozess wird wie in Abbildung 3 dargestellt in 3 Teilprozesse unterschieden.

Absorption:

Gas, Dämpfe oder in Flüssigkeiten gelöste Chemikalien werden an der Oberfläche des Feststoffes des Elastomers aufgenommen. Dieser Effekt wird durch das Henry Gesetz beschrieben wobei der Adsorptionskoeffizient c_1 ausgedrückt wird durch S den Löslichkeitskoeffizienten des Gases im Elastomer multipliziert mit dem Druck p_1 .

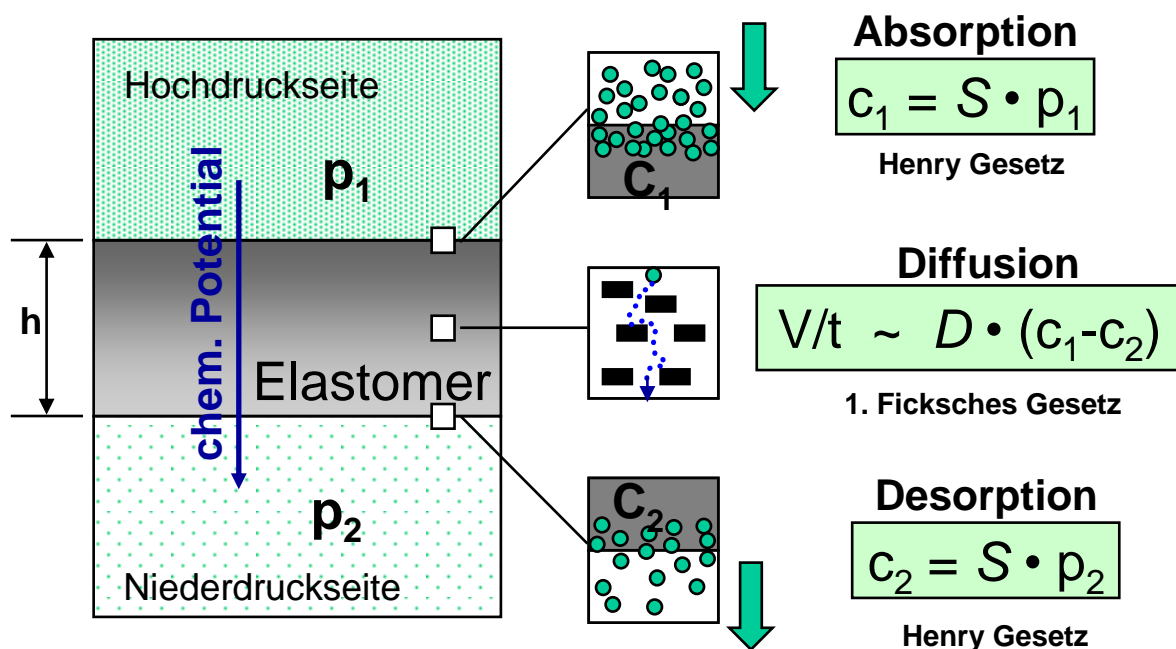


Abbildung 3: Permeationsprozess schematisch

Diffusion

Die Diffusion bezeichnet einen Nettotransport von Teilchen. Dabei durchdringt das Permeat das feste Material durch Poren bzw. molekulare Zwischenräume. Es handelt sich nicht um einen Druckausgleich. Vielmehr handelt es sich um einen Ausgleich unterschiedlich hoher Konzentrationen. Vereinfacht ist es eine Zustandsänderung von einer Ungleichverteilung hin zu einer Gleichverteilung.

Der Volumenstrom V pro Zeiteinheit t entspricht dem Fickschen Diffusionskoeffizienten multipliziert mit dem Ergebnis der Subtraktion der Henry Koeffizient c_1 und c_2 .

Desorption

Im Falle der Desorption wird das Gas auf der Grenzfläche des Elastomers wieder abgegeben.

7. Leckageratenmessungen von Elastomeren

Die Bestimmung von Leckagen von Elastomeren ist nicht trivial. Eines der Probleme, mit denen der Experimentator konfrontiert wird, ist die Tatsache, dass zur Bestimmung der Leckraten eine Referenz notwendig ist. Als Referenz dient in den beschriebenen Messungen der Vergleich mit Metalledichtungen.

a. Versuchsaufbau

In der Abbildung Abbildung 4 ist der prinzipielle Aufbau zur Leckageratenmessung an einem Schlauch dargestellt. Dazu wird der Schlauch mit einem Hüllrohr versehen und an beiden Enden gedichtet. In das Hüllrohr wird über zwei Ventile das Prüfgas Helium eingelassen. Das Innere des zu prüfenden Schlauchs wird evakuiert und Helium mit einem Massenspektrometer analysiert.

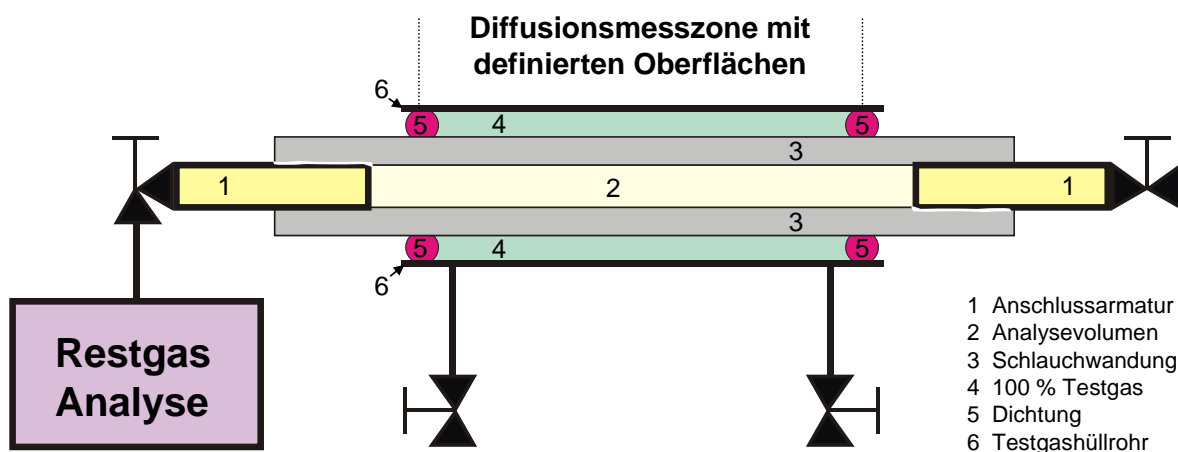


Abbildung 4: Prinzipdarstellung der Eindichtung des Prüflings

Der komplette Aufbau ist in der Abbildung 5 zu sehen. Bei den in diesem Aufbau verwendeten Pumpen, handelt es sich um Turbomolekularpumpen. Hochvakuum ist notwendig um das angeschlossene Massenspektrometer betreiben zu können. Zur Kalibrierung ist ein Testleck vorgesehen. Das Testgas Helium ist für die Messungen hervorragend geeignet. Da es sich auch im Falle von Elastomeren inert verhält und keine chemische Bindung mit dem Material eingeht.

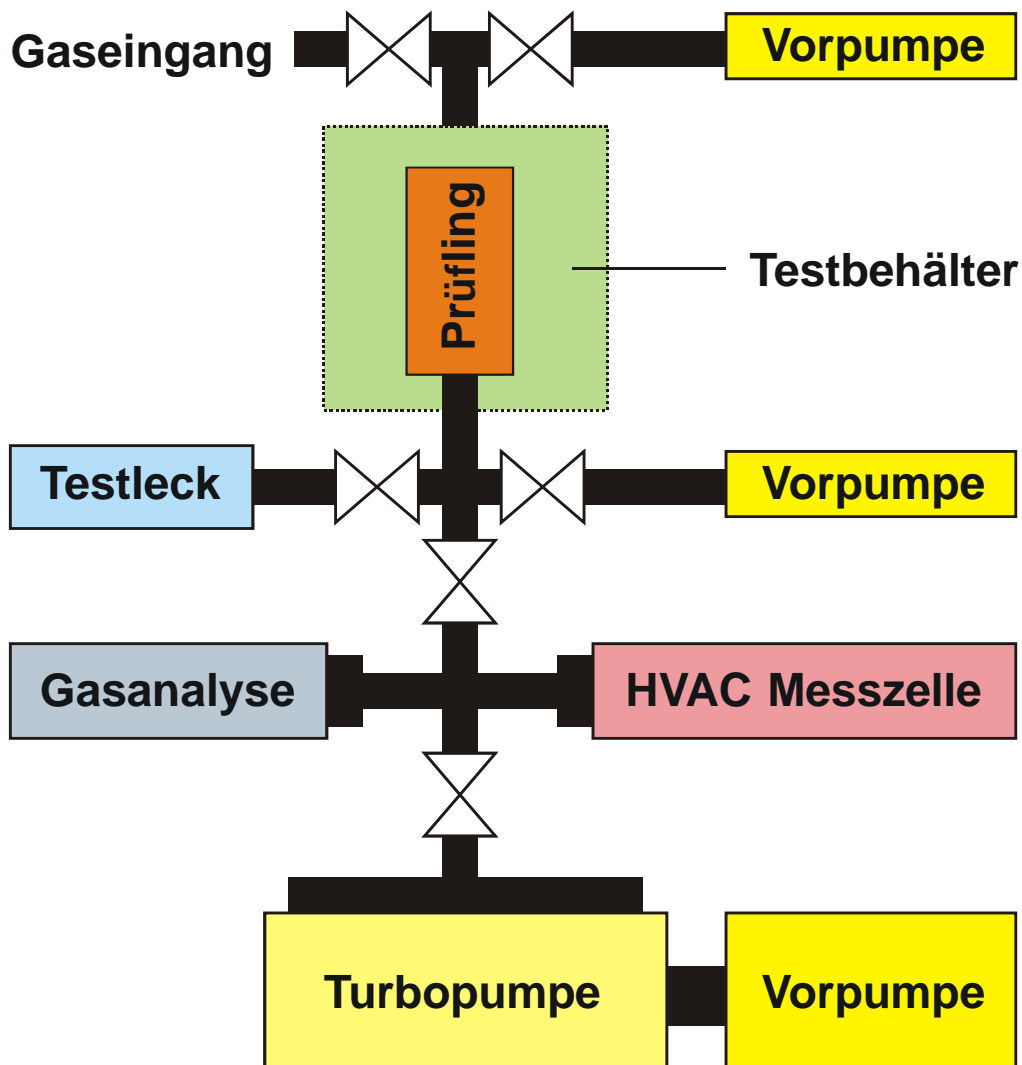


Abbildung 5: Kompletter Versuchsaufbau mit Pumpen und Anbauteilen

b. Versuchsdurchführung

Für die Versuchsdurchführung ist darauf zu achten, dass das verwendete Tracergas mit einer Konzentration von 100% den Testbehälter einhüllt. Dazu wird der Testbehälter mehrfach gespült und mit der Vorpumpe evakuiert bevor Helium eingelassen wird. Aus gleichem Grund wird die Leitung hin zum Testleck abgepumpt.

c. Interpretation der Messergebnisse

Der in der Abbildung 6 dargestellte Verlauf der Leckrate gemessen an einem Schlauch zeigt den typischen Verlauf von Elastomeren. Nach einem langsamen Anstieg des Leckratensignals wird asymptotisch ein Grenzwert erreicht. Diese Messung bestätigt die Theorie und die hinlänglich bekannten Ergebnisse aus der Praxis.

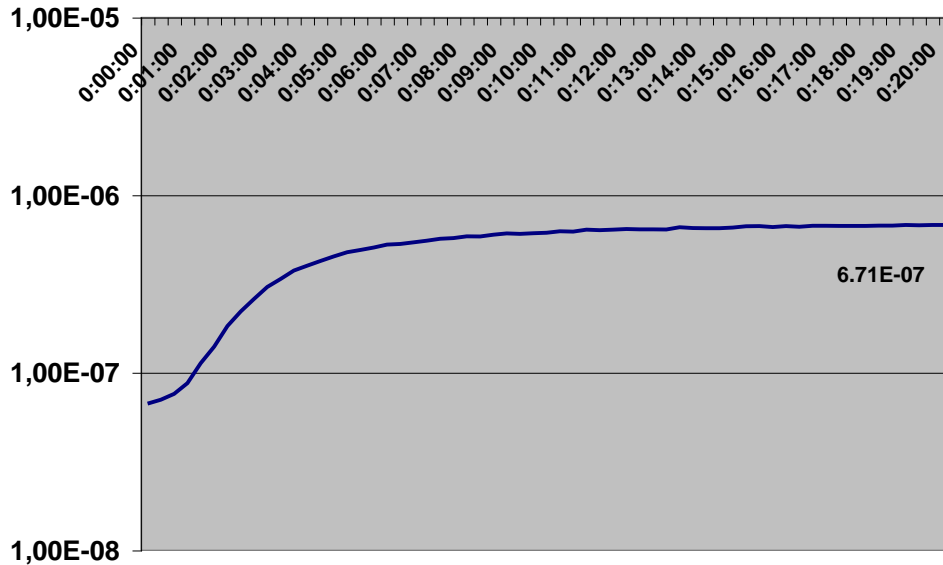


Abbildung 6: Verlauf der Leckrate bei einem Schlauch

8. Unterschiedliche Dichtigkeit von Elastomeren und Metaldichtungen

Vergleicht man Elastomerdichtungen mit Metaldichtungen so wird der Unterschied dieser beiden Dichtungsmaterialien sofort deutlich. In der Messung (Abbildung 7) ist der Leckratenverlauf eines Ventils mit verschiedenen Dichtungsmaterialien dargestellt. Wie in dem vorausgegangenen Versuch ist der Leckratenverlauf für Elastomere bis hin zu einem Grenzwert stark ansteigend. Im Gegensatz dazu ist bei einer Zinkdichtung ein konstanter bis leicht abfallender Volumenstrom von Helium zu erkennen.

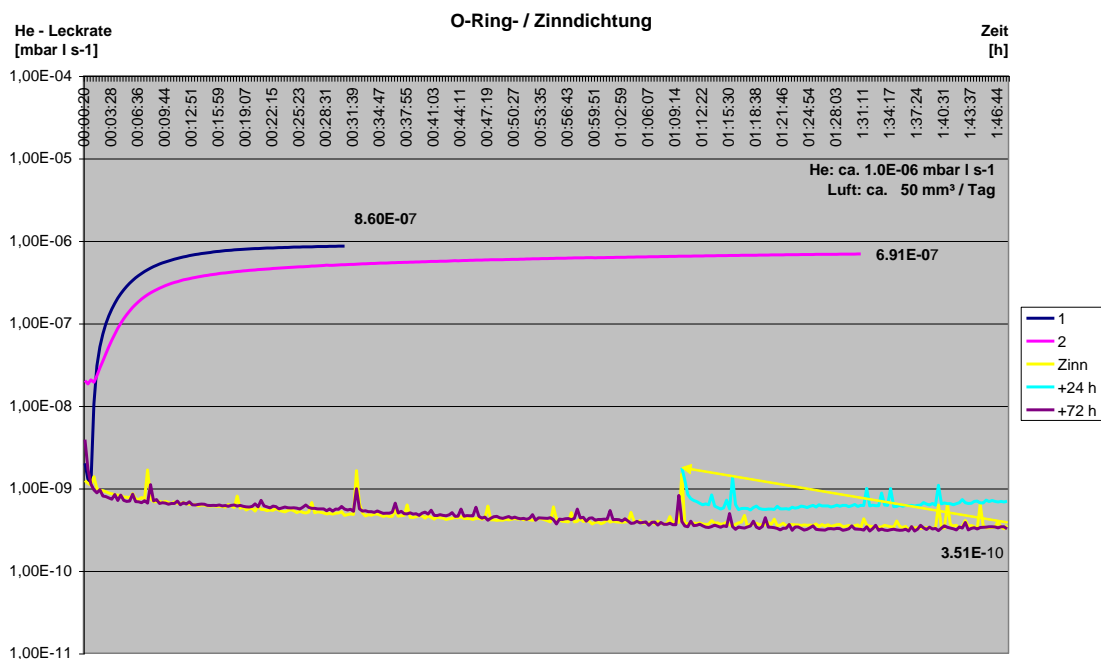


Abbildung 7: Leckraten eines Ventils mit Elastomer und mit Metaldichtungen

Diese Messungen sind mit Helium durchgeführt worden. Es bleibt zu klären in wie weit die Ergebnisse auf andere Gase zu übertragen sind. Insbesondere Luft könnte in vielen Prozessanlagen eine signifikante Undichtigkeiten bedeuten. Durch den Vergleich mit Literaturwerten wird deutlich, dass es keine großen Unterschiede des Diffusionskoeffizienten¹ von Luft und Helium für die verschiedenen Elastomere gibt. Die Werte bewegen sich innerhalb einer Dekade und werden aus diesem Grunde in dieser Betrachtung als vergleichbar angesehen. Das bedeutet also, dass ebenso wie Helium durch Elastomere permeieren kann, auch Luft in gleicher Größenordnung das Material durchdringt.

9. Einfluss von Undichtigkeiten auf Produktionsprozesse

Insbesondere Vakuumprozesse sind gegen jegliche Unsauberkeit empfindlich. Dabei handelt es sich z. B. um die meisten Prozesse zur Herstellung von Halbleitern. Gerade in diesem Bereich wird unter extremen Bedingungen mit hochreinen Gasen gearbeitet. Wird als ein solches hochreines Gas mit Luft durch eine Elastomerdichtungen verunreinigt kann es zu Qualitätseinbusen kommen. An einem Beispiel soll diese mögliche Kontamination quantifiziert werden:

Ventilvolumen	1 cm ³
Lufteintritt durch Permeation	50 mm ³ /Tag

Das heißt , dass sich die Gaszusammensetzung im ca. 2 ‰/ h ändert.

In den meisten heutigen Produktionsanlagen wird dieser Effekt nicht betrachtet. Ein Grund weshalb die Qualitätsverlusten nicht noch höher sind liegt in dem kontinuierlichen Produktionsprozess. Durch ständig strömendes Gas wird der Einfluss der einpermeierende Luft minimiert.

10. Zusammenfassung

In der vorliegenden Ausarbeitung wird zum ersten Mal quantifiziert, mit welchen Leckraten durch Permeation durch Elastomere zu rechnen ist. Bis lang ist diese Quelle von Undichtigkeiten nicht betrachtet worden. Es kann aber einen signifikanten Einfluss auf die Qualität von Produkte haben, wenn es sich um

- sehr geringe Gasflüsse
- Produkte mit sehr niedrigen Leckraten

handelt. In diesen Fällen sollten statt Elastomerdichtungen metallische Dichtungen verwendet werden.

¹ Pupp, Hartmann: Vakuumtechnik, 1991 S.200