MEMBRANEN

TECHNISCHE GRUNDLAGEN

Membranen 724

Grundlagen 726

Auslegung/Dimensionierung 732

Werkstoffe für Membranen 737

Verwendete Formelzeichen 741

PRODUKTE

Produktverzeichnis 742

Bauformen 743

MEMBRANEN

Bei bestimmten Anwendungen müssen Bauteile flexibel miteinander verbunden und gleichzeitig eine dichte Trennwand gewährleistet werden. Diese Anforderungen lassen sich in der Regel am besten mit Membranen erfüllen. Für Membrananwendungen bietet Freudenberg Sealing Technologies (FST) mehr als 400 verschiedene Mischungen an. Diese können projektbezogen bei kundenspezifischen Anforderungen eingesetzt werden.

ANFORDERUNGEN

- Funktionssicherheit bei unterschiedlichsten Medieneinsätzen
- Lösungen für Regel-, Speicher- oder Pumpfunktionen
- Gewebeein- oder/und Auflage, ist abhängig von der Druckbelastung
- Berücksichtigung von ein- oder beidseitiger Druckbeaufschlagung
- Optimale Auslegung von Hub- zu Durchmesserverhältnis.

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

MERKMALE

- Maßgeschneiderte Lösungen auf Basis der 4 Grundformen: Flachmembrane, Tellerformmembrane, Sickenformmembrane, Rollmembrane
- Höchste Präzision dank modernster FEM-Berechnungen bei der Auslegung
- Optionale PTFE/TFM-Folienauflagen gegen aggressive Medien
- Spezielle Metall- oder Kunststoffeinlegeteile zur Kraftübertragung und Abstützung
- Qualitativ hochwertige Werkstoffausführungen je nach Einsatzbereich (z.B. NBR, HNBR, ECO bleifrei, AU, FKM, FFKM etc.).

ANWENDUNGSBEREICHE

Das Anwendungsspektrum von Membranen reicht vom klassischen Regel- und Abdichtelement in der Ventiltechnik bis hin zu anspruchsvollen Aufgaben in der Raumfahrt.

- Ventile und Armaturen
- Aktuatoren
- Pumpen und Kompressoren
- Speichermembranen in der Hydraulik
- Luft- und Raumfahrt
- Sanitärtechnik
- Atemschutzgeräte
- Lebensmittelindustrie
- etc.

GRUNDLAGEN

Membranen aus gummielastischen Werkstoffen haben die Aufgabe, zwischen voneinander zu trennenden Bauteilräumen eine dichte und zugleich flexible Trennwand zu bilden und Volumenänderungen der voneinander getrennten Räume zu ermöglichen.

Sie können damit von ihrer Grundfunktion her auch einfach als flexibles Dichtelement bezeichnet werden.

Unter diesen Voraussetzungen können mit einer Membrane 3 Hauptfunktionen erfüllt werden:

- Regel-/Schaltfunktion:
  Ein auf die Wirkfläche der Membrane wirkender hydraulischer oder pneumatischer Druck wird in eine Stangenkraft umgewandelt und betätigt ein Schalt-, Regel- oder Anzeigegerät.
- Pumpfunktion:
  Bei der Pumpfunktion wird eine eingeleitete Stangenkraft, ein hydraulischer oder pneumatischer Druck über die Wirkfläche der Membrane in einen Förderdruck umgewandelt.
- Trennfunktion:
  Bei dieser Funktion geht es lediglich darum, Räume, die nahezu auf gleichem Druckniveau liegen, durch eine leicht bewegliche und flexible Trennwand voneinander zu trennen. Beispielhaft dafür sind Anwendungen im Bereich von Druckspeichern.

Gegenüber Berührungsdichtungen bieten Membranen einige Vorteile:

- Leckagefrei
- Keine Anforderungen an Schmierung, deshalb wartungsfrei
- Keine Friktionsverluste
- Bei entsprechender konstruktiver Gestaltung minimale Hysterese
- Keine Losbrechkräfte („Stick-Slip-Effekt“)
- Wegen reiner Abrollbewegung ein Minimum an Verschleiß
- Wesentlich geringere Anforderungen an Toleranzen und Oberflächengüte der umgebenden Bauteile ermöglichen Kosteneinsparungen bei der Bauteilherstellung.

Die grundlegenden Zusammenhänge sollen am Beispiel der in → Abb. 1 dargestellten Pump- oder Regelmembrane erläutert werden.

FUNKTIONSPRINZIP UND HAUPTABMESSUNGEN

Der Arbeitsbereich der Membrane wird durch den Gehäusedurchmesser außen und den Kolbendurchmesser innen begrenzt. Im Gehäuse und gegebenenfalls auch am Kolben ist die Membrane statisch dichtend eingeklemmt.
Zwischen Gehäuse und Kolben befindet sich der Rollspalt, über den der Walkbereich der Membrane mehr oder weniger stark „gespannt” ist. Besteht zwischen Ober- und Unterseite eine Druckdifferenz, so wird der Walkbereich unter der Druckbelastung in den Rollspalt gedrückt und in erster Näherung die Form eines Kreisbogens annehmen. Wie bei einem dünnwandigen Rohr unter Innendruck stehen dabei Druckkräfte und tangential zum Kreisbogen verlaufende Kräfte in der Membranwand im Gleichgewicht.
Der Krümmungsradius in der Walkzone ist abhängig von der Länge der verfügbaren freien Mantellinie zwischen den Einspannstellen an Gehäuse und Kolben sowie dem Abstand der Einspannstellen und der Lage des Kolbens zur Einspannebene. Bei der Auslegung ist auf eine ausreichende Mantellänge der Walkzone zu achten.
Beim Durchfahren des Hubes „rollt” der Walkbereich im Rollspalt ab. Dabei wandern Bereiche der Membranwand vom Kolben zum Gehäuse bzw. umgekehrt und erfahren damit eine Durchmesservergrößerung bzw. -verkleinerung.

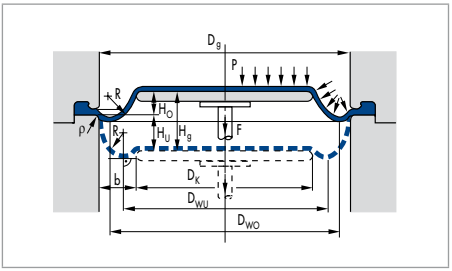


Abb. 1 Hauptmessungen/Funktionsprinzip

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

MEMBRANGRUNDFORMEN

Die Vielzahl der Ausführungen lässt sich auf wenige Grundformen zurückführen:

- Flachmembranen
- Tellerformmembranen
- Sickenformmembranen
- Langhub-Rollmembranen.

Wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist jeweils der bei gegebenem Gehäusedurchmesser D_g erreichbare Gesamthub H_{max}, ferner die Art der zulässigen Druckbeaufschlagung (einseitig, beidseitig) sowie das Maß der Abhängigkeit des Wirkdurchmessers D_w vom Hub.

Flachmembranen

Flachmembranen (→ Abb. 3) können nur bei relativ kleinen Hüben eingesetzt werden, sind jedoch beidseitig mit Druck beaufschlagbar. In der Regel ändert sich der Wirkdurchmesser sehr stark mit dem Hub. Die kleinen Hubhöhen gestatten oft noch den sogenannten „gestauchten Einbau" zur Reduzierung der Bauteilbeanspruchung unter Druckbelastung (→ Abb. 2). Die Stauchung sollte so groß gewählt werden, dass sie die erforderliche Länge der freien Membranfläche in der Endstellung des Kolbens ausgleicht. So wird eine Dehnung der Membranfläche vermieden. Bei Verwendung von Platten oder Bahnenware als Halbzeug entfällt die Herstellung eines teuren, artikelgebundenen Vulkanisationswerkzeuges.

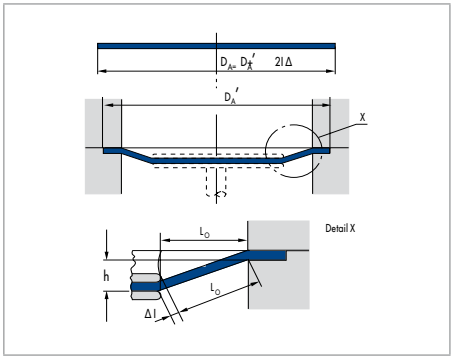


Abb. 2 Gestauchter Einbau von Flachmembranen

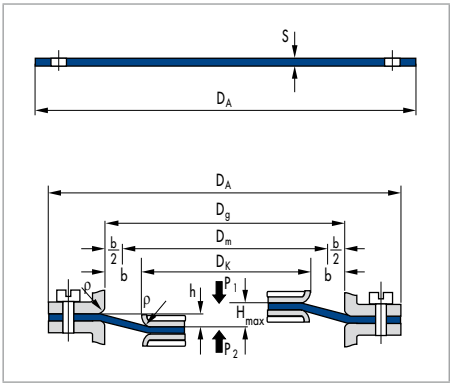


Abb. 3 Flachmembranen

Tellerformmembranen

Die Tellerformmembrane (→ Abb. 4) ist wie die Flachmembrane beidseitig mit Druck beaufschlagbar, lässt jedoch wesentlich größere Hübe zu. Auch bei dieser Bauform ist der Wirkdurchmesser stark vom Hub abhängig.

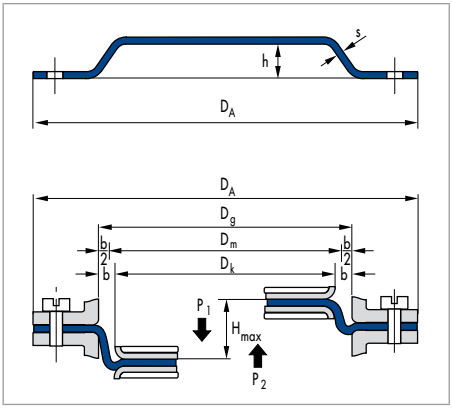


Abb. 4 Tellerformmembranen

Sickenformmembranen

Bei dieser Bauform (→ Abb. 5) ist eine Rollfalte mit kreisförmigem Querschnitt bereits im unbelasteten Zustand gegeben. Sofern Einschränkungen bei der Hubhöhe in Kauf genommen werden, lässt sich ein nahezu hubunabhängiger Wirkdurchmesser erzielen.

Die Sickenformmembrane erfordert stets ein Druckgefälle in Richtung der Rollfalte, um ein Umklappen der Rollfalte auszuschließen.

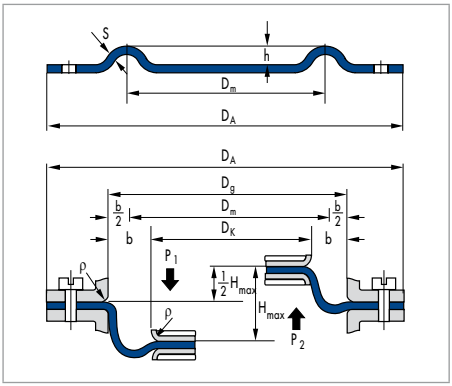


Abb. 5 Sickenformmembranen

Langhub-Rollmembranen

Als Sonderfall der Tellerformmembrane ist die umgestülpt einzubauende Langhub-Rollmembrane (→ Abb. 6) anzusehen. Bei der Ausführung mit Gewebeverstärkung wird der mögliche Hub durch die Tiefziehfähigkeit des Gewebes begrenzt.
Rollmembranen müssen außen durch das Gehäuse und innen durch den Kolben abgestützt werden. Dadurch ergibt sich ein quasi hubunabhängiger, konstanter Wirkdurchmesser. Rollmembranen benötigen wie Sickenformmembranen immer ein Druckgefälle zur Rollfalte hin, da sie sonst durch den Druck umgestülpt werden.

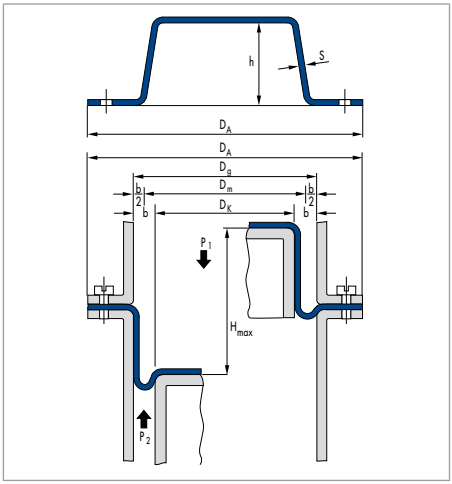


Abb. 6 Langhub-Rollmembranen

Membranen mit Gewebeverstärkung

Alle Membranformen können sowohl als reine Elastomermembranen als auch mit Gewebeverstärkung ausgeführt werden. Das Verstärkungsgewebe wird dabei in die Mitte des Membranquerschnittes eingebettet (Einlage) oder auf eine Oberfläche „aufgelegt" (Auflage). Die Auflage muss sich dabei immer auf der druckabgewandten Seite (z.B. Außenseite der Rollfalte) befinden, da sonst die Elastomerschicht durch den Druck von der Gewebelage abgelöst und die Membrane zerstört wird.
Zu beachten ist, dass die nur begrenzte Verformbarkeit des Gewebes die Einsatzmöglichkeiten aus fertigungstechnischen Gesichtspunkten einschränkt.
Auf die verschiedenen einsetzbaren Gewebearten wird detaillierter in → Membrangewebe Seite 739 eingegangen.

Membranen mit Auflage aus PTFE

Bei aggressiven Umgebungsmedien und Fördermedien, wie sie z.B. bei Pumpanwendungen zu finden sind, kann die chemische Beständigkeit des Elastomers unzureichend sein. In diesem Falle besteht die Möglichkeit, den Grundwerkstoff der Membrane durch Aufbringen einer Folie aus PTFE auf die dem Medium zugewandte Oberfläche zu schützen und die Lebensdauer damit zu erhöhen.

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

Membranform	Max. Hub H_{max}	Druckbeaufschlagung	Änderung von Wirkdurchmesser D_w über Hub H
Flachmembranen	≤0,1 D_g	beidseitig $P_1 \lesseqgtr P_2$	sehr groß
Tellerformmembranen	≤0,3 D_g		groß
Sickenformmembranen	≤0,3 D_g	einseitig $P_1 > P_2$	gering
Rollmembranen	≤1,7 D_g		keine

Tab. 1 Kennwerte von Membranen

KENNWERTE

Über die Kennwerte Hub, Wirkdurchmesser bzw. Wirkfläche, mittlerer Durchmesser und Elastizitäts-Modul kann das Verhalten einer Membrane annähernd charakterisiert werden.

Hub

Der Gesamthub H_g setzt sich zusammen aus den Anteilen H_o oberhalb und H_u unterhalb der Einspannebene:

[1] $$H_g = H_o + H_u$$

Bei der Auslegung ist der größere der beiden Werte als kritischer Fall zu betrachten. Im Hinblick auf eine optimale Funktion und Lebensdauer sollte der Hub stets nur aus der Formänderung der Membrane, nicht jedoch aus einer Verlängerung des Membranmantels abgeleitet werden.

Wirkdurchmesser, Wirkfläche

Bei Druckbelastung stützt sich die Membrane am Kolben ab und liefert damit einen Beitrag zur Stangenkraft. Der für die Stangenkraft wirksame Durchmesser, der Wirkdurchmesser D_w, ist abhängig von der Hubstellung und liegt zwischen Kolbendurchmesser D_k und Gehäusedurchmesser D_g.
Allgemein gilt:

[2] $$D_k \leq D_w \leq D_g$$

Der Wirkdurchmesser lässt sich bestimmen als Berührungspunkt der auf die Membranachse senkrecht stehenden Tangente an den Kreisbogen des Walkbereichs.
Nur die innerhalb dieses Durchmessers liegende Wirkfläche trägt zur Erzeugung der Stangenkraft bei. Der Druck auf die außerhalb des Wirkdurchmessers liegende Ringfläche der Membrane wirkt lediglich als Zugbelastung auf die Einspannung im Gehäuse.

Mittlerer Durchmesser

Als mittlerer Durchmesser wird der Mittelwert von Kolben- und Gehäusedurchmesser bezeichnet. Er stimmt in der Nullage gut mit dem Wirkdurchmesser überein:

[3] $$D_m = (D_g + D_k)/2 = D_{w(H=0)} \approx D_{w(H)}$$

Rollspalt

Mit Rollspalt b wird der von der Membrane „überspannte" Spalt zwischen Gehäuse und Kolben bezeichnet:

[4] $$b = (D_g - D_k)/2$$

In erster Näherung kann gesetzt werden:

[5] $$b \approx 0{,}15\ D_g$$

Gehäusedurchmesser

Bei der Vorauslegung wird bevorzugt mit dem Gehäusedurchmesser gearbeitet, da er sich direkt aus dem verfügbaren Einbauraum ergibt bzw. eine unmittelbare Abschätzung des erforderlichen Bauraums erlaubt. Mit dem Ansatz für den Rollspalt nach → Gleichung 5 gilt:

[6] $$D_g = D_m / 0{,}85 \approx D_w / 0{,}85$$

Elastizitäts-Modul

Der Elastizitätsmodul (E-Modul) von Elastomeren ist anders als bei Stahl nicht konstant, sondern insbesondere von Elastomerhärte, Temperatur, Dehnung und Verformungsgeschwindigkeit abhängig.

- Der E-Modul nimmt zu mit steigender Verformungsgeschwindigkeit (dynamische Verhärtung). Bei der Auslegung beschränkt man sich der Einfachheit halber auf den quasistatischen Fall. Bezüglich der Bauteilbeanspruchung wird damit auch der „kritische Fall" betrachtet.
- Mit der Sekantensteigung zwischen Ursprung und 20%-Dehnung im Spannungs-Dehnungs-Diagramm erhält man einen Näherungswert für den E-Modul im Auslegungsbereich.

Die Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls E20% von Elastomerhärte und Temperatur ist in → Abb. 7 beispielhaft dargestellt. Da der Modul von der Mischung abhängt, wird empfohlen, diesen Kennwert bei Bedarf beim Mischungshersteller zu erfragen.

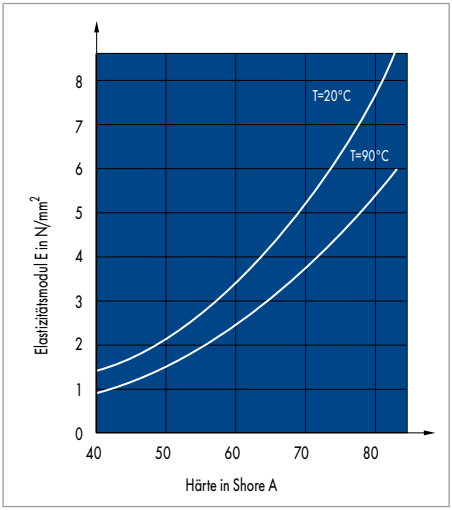


Abb. 7 Elastizitäts-Modul

Kennlinien

Trägt man die Stangenkraft F über dem Hub auf, so erhält man eine Kennlinie. Da die Stangenkraft von Stelldruck und Wirkfläche bzw. Wirkdurchmesser abhängt, wird die Kennlinie im wesentlichen von der Abhängigkeit des Wirkdurchmessers vom Hub bestimmt. Die Wahl der Membrangrundform spielt hier eine entscheidende Rolle. Der prinzipielle Zusammenhang ist in → Abb. 8 dargestellt. Da die Änderung der Kennlinie in den Hubendlagen zunimmt, lässt sich der Kennlinienverlauf durch Wahl des Arbeitsbereiches optimieren. Durch Überhöhung der Membrane ($H_g < H_{max}$) lassen sich diese äußeren Bereiche „abschneiden" und man erhält eine günstigere Gesamtkennlinie mit geringerem Hubeinfluss.

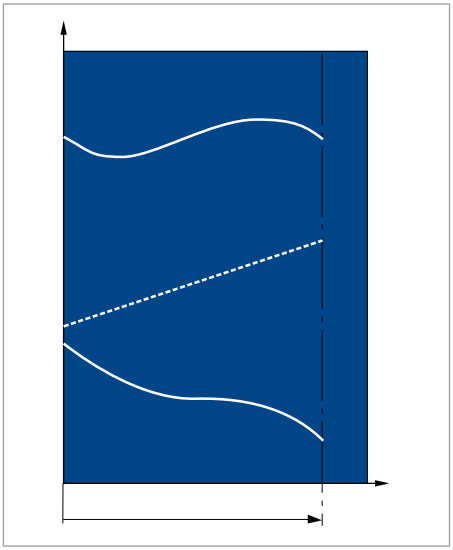


Abb. 8 Stangenkraft

Eigenwiderstand

Unter Eigenwiderstand versteht man den Widerstand, den eine Membrane unter Ausschaltung aller äußeren Einflüsse der Bewegung von einer Endlage in die andere entgegensetzt.
Dieser Widerstand wird in der Regel bestimmt durch Messung des Druckes, der zur Überwindung des Widerstandes benötigt wird.

Er wird hervorgerufen durch Zugspannungen im Membranmantel beim Aufdehnen im Zuge der Abrollbewegung und durch Biegespannungen beim Auslenken der Membrane aus der Fertigungslage.

→ Abb. 9 zeigt schematisch den Verlauf des Eigenwiderstandes als Funktion des Membranhubes.

Die Zunahme des Widerstandes ist besonders groß in Nähe der Endlagen der Membrane. Wie bei der Kennlinie lässt sich der Hubeinfluss durch Überhöhung der Membrane ($H_g < H_{max}$) reduzieren.

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

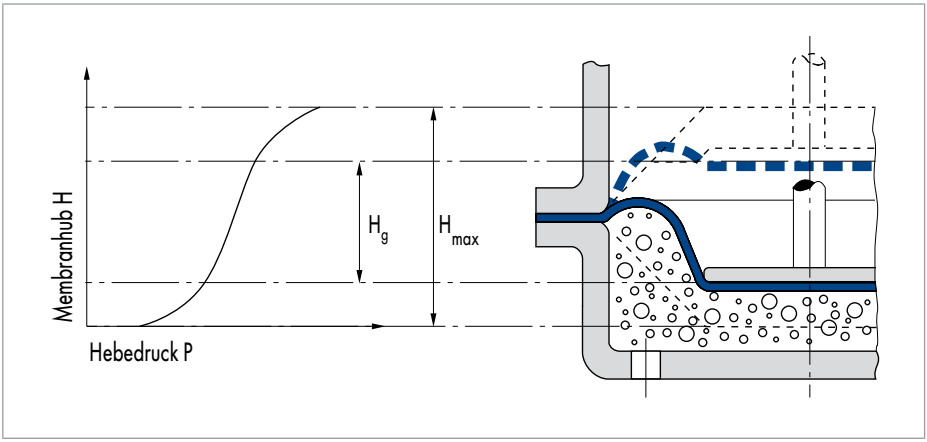


Abb. 9 Eigenwiderstand

Auslegung/Dimensionierung

Betriebsdaten und Randbedingungen

Die Auslegung einer Membrane wird im wesentlichen durch nachstehende Betriebsdaten bestimmt:

- Art des Gerätes (z.B. Arbeitszylinder mit rauhen Betriebsbedingungen oder Messgerät mit hohen Anforderungen an Eigenwiderstand und Hysterese)
- max. Hub mit Aufteilung in Bezug auf die Einspannebene
- Druck (Betriebsdruck und/oder Prüfdruck)
- Wirkdurchmesser (gegebenenfalls als Funktion des Hubes)
- Umgebungsmedien
- Betriebstemperaturbereich
- Betätigungsfrequenz
- Lebensdauer.

Bei der Auslegung der Membrane empfiehlt sich die nachstehend beschriebene Vorgehensweise.

Schritt 1: Auswahl der Bauform nach Tab. 1

Vor der Auswahl sind Gehäusedurchmesser D_g und Membranhub H_{max} aus den gegebenen Betriebsdaten abzuleiten. Hilfreich sind dabei die in Gleichung [7] bis [10] gegebenen Beziehungen:
Für eine Pumpmembrane kann das Fördervolumen abgeschätzt werden mit:

[7] $V = \pi/4 D_w^2 H_g$

Die Kolbenkraft erhält man mit:

[8] $F_k = \pi/4\ D_w^2\ p$

Eine optimale Ausnutzung des Membranhubes erreicht man mit:

[9] $H_g = H_{max}$

In erster Näherung kann für den Zusammenhang zwischen Gehäuse- und Wirkdurchmesser gesetzt werden (→ Gleichung [6])

[10] $D_w = 0{,}85\ D_g$

Da die angegebenen Beziehungen nur Näherungswerte liefern, empfiehlt es sich, Stellkraft und Fördervolumen mit einem Sicherheitszuschlag von ca. 10% zu versehen.

Schritt 2: Dimensionierung der Membrane

Mit der Dimensionierung sind Membrane und umgebende Bauteile wie Gehäuse und Kolben konstruktiv festzulegen. Bei der Gestaltung der Membrane sind dabei neben der reinen Funktion auch fertigungstechnische Aspekte zu beachten. Eine Überprüfung bzw. Optimierung aller Abmessungen durch den Membranhersteller ist auf jeden Fall zu empfehlen.
Zu beachten sind insbesondere nachstehend aufgeführte Gesichtspunkte:
Die Werte für H_{max} gelten in allen Fällen für eine symmetrische Aufteilung des Gesamthubes oberhalb und unterhalb der Einspannebene, und es ist:

[11] $H_{u\ max} = H_{o\ max} = H_{max}/2$

Bei unsymmetrischer Hubaufteilung ist somit der Gesamthub H_g immer kleiner als der maximal mögliche Hub H_{max}. Zur Minimierung von Biegebeanspruchung und Eigenwiderstand wird die Membrandicke s in der Regel möglichst dünn ausgeführt. Dabei sind jedoch in jedem Fall die von Werkstoff und Fertigungsverfahren vorgegebenen Grenzen zu beachten. Im allgemeinen empfiehlt es sich, gewebelose Membranen nur bei Drücken unter ca. 2 bar einzusetzen. Bei höheren Drücken sollte auf dünnwandige, gewebeverstärkte Membranen übergegangen werden.

Infolge der Abrollbewegung ergibt sich eine Biegebeanspruchung in der Einspannzone sowie im Walkbereich. Um diese Beanspruchung auf unkritische Werte zu begrenzen sind Einspannradien und Rollspaltweiten für voll abrollende Membranen in Abhängigkeit der Membrandicke zu wählen (→ Abb. 10).

[12] Einspannradius $p \geq 2\ s$
[13] Rollspaltbreite $b \geq 6\ s$

Zu beachten sind außerdem die Hinweise zur „Gestaltung der Einspannung und der berührenden Gehäuseteile".

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

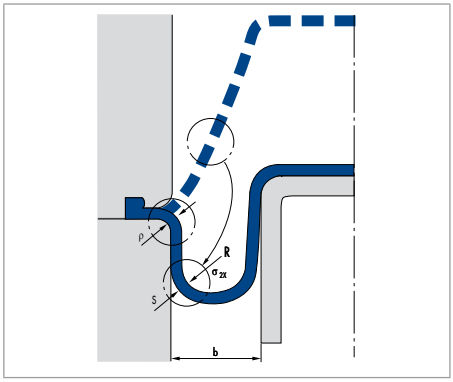


Abb. 10 Biegespannung

Schritt 3: Überprüfung der Membranbeanspruchung

BAUTEILBEANSPRUCHUNG

Typische Betriebsbedingungen für Membranen sind einseitige Druckbeaufschlagung und axiale Verschiebung zwischen Kolben und Gehäuse. Daraus ergeben sich im Wesentlichen zwei unterschiedliche Beanspruchungen in der Membranwand:

- Zugdehnung und Zugspannung in Umfangsrichtung infolge Durchmesseränderung beim Abrollen (→ Zugdehnung/-spannung in Umfangsrichtung).
- Zugspannung in radialer bzw. axialer Richtung infolge des Differenzdruckes p (Zugdehnung/-spannung infolge Differenzdruck).

Damit liegt ein mehrachsiger Spannungszustand vor. In der Praxis berechnet man jedoch aus diesen zwei Komponenten keine Vergleichsspannung, sondern betrachtet jede für sich.

Zugdehnung/-spannung in Umfangsrichtung

Die Zugdehnung in Umfangsrichtung infolge Änderung des Durchmessers beim Abrollen (→ Abb. 11) ist stark von Membranform, Einbauraum und Hub abhängig.

Für eine Rollmembrane gilt für die max. Umfangsdehnung:

[14] $\varepsilon_{u\,max} = D_g/D_k - 1$

Für Flachmembranen, Sickenform- und Tellerformmembranen ist die maximale Umfangsdehnung durch geeignete Methoden zu ermitteln.

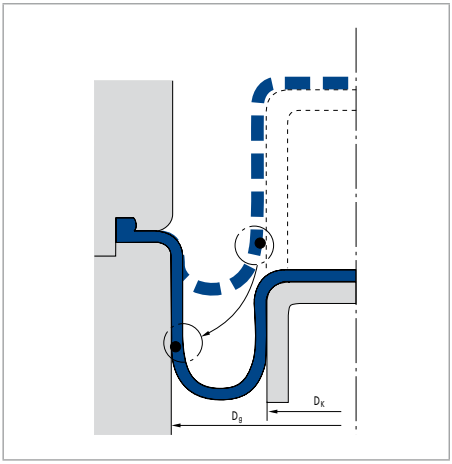


Abb. 11 Dehnung infolge Abrollbewegung

Zugdehnung/-spannung infolge Differenzdruck

Da Membranen bedingt durch ihre Geometrie eine geringe Eigensteifigkeit besitzen, stellt sich unter Druck ein kreisbogenförmiger Membranquerschnitt ein (→ Abb. 12). Betrachtet man die Membrane unter Vernachlässigung der Krümmung in erster Näherung als gerades Rohr unter Innendruck, erhält man die Zugspannung in der Membranwand aus der „Kesselformel" für dünnwandige Rohre:

[15] $\sigma_p = p\,R/s$

Durch Einsetzen des Hooke'schen Gesetzes für den einaxialen Spannungszustand:

[16] $\sigma = E\,\varepsilon$

ergibt sich die Dehnung zu:

[17] $\varepsilon_p = p\,R/(s\,E)$

Richtwerte für den Elastizitätsmodul E sind in Abb. 7 wiedergegeben.

Für gewebeverstärkte Membranen wird als Kennwert die Kraft F_p pro Umfangslänge l benötigt.
Aus Gleichung [15] folgt:

[18] $F_p/l = \sigma' = p\,R$

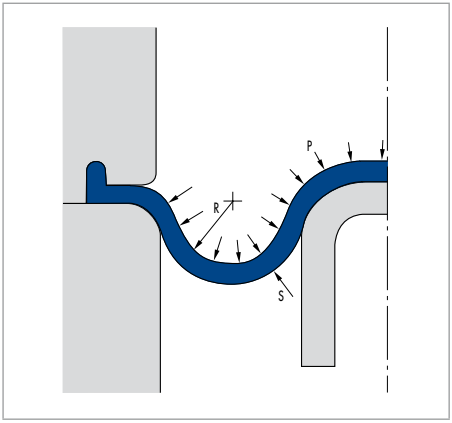


Abb. 12 Beanspruchung durch Differenzdruck

ZULÄSSIGE BEANSPRUCHUNG

Bei der Bewertung der gemäß → Bauteilbeanspruchung ermittelten Beanspruchungen ist zwischen Membranen mit und ohne Gewebeverstärkung zu unterscheiden.

Für gewebelose Membranen unter Druckbelastung hat sich in der Praxis die Vorgabe einer maximalen Dehnung bewährt. Dies liegt begründet im Aufbau der Elastomere, die aus miteinander vernetzten Fadenmolekülen bestehen.

Bei gewebeverstärkten Membranen wird der geringe Traganteil des Elastomers vernachlässigt und angenommen, dass die Zugbeanspruchung alleine vom Gewebe übertragen wird.
Die Reißfestigkeit σ'_B von Geweben wird im Zugversuch als Höchstzugkraft bezogen auf die Probenbreite bestimmt und ist beim Hersteller zu erfragen.
Mittels Sicherheitsfaktor wird berücksichtigt, dass die Fadenrichtung über den Umfang zum Teil von der Spannungsrichtung (radial) abweicht.
Des weiteren ist bei Geweben die Abhängigkeit der Reißfestigkeit von der Betriebstemperatur zu berücksichtigen.

Kennwert			Zul. Beanspruchung	
			ohne Gewebe	mit Gewebe
Umfangsdehnung (mittlerer Wert)	ε_U	→ a)	≤30%	≤15%
Dehnung aus Innendruck	ε_P	→ b)	≤20%	
Kraft pro Breite	F_p/l	→ b)		≤0,2 σ'_B

Tab. 2 Kennwerte für Membranen

a) Zugdehnung/-spannung in Umfangsrichtung
b) Zugdehnung/-spannung infolge Differenzdruck

Auslegungsbeispiele: Rollmembrane mit Gewebeauflage

In einem Stellventil soll eine Rollmembrane bei nachstehenden Randbedingungen eingesetzt werden:

- Gehäuse-Ø D_g = 100 mm
- Kolben-Ø D_k = 90 mm
- Differenzdruck p = 10 bar ≈1 N/mm²

Die Umfangsdehnung infolge Abrollens ist zu überprüfen und die Mindestfestigkeit des Gewebes zu bestimmen:

- Aus der Geometrie folgt:
  $b = (D_g - D_k)/2 = 5$ mm
  $R = b/2 = 2{,}5$ mm
- Mit Gleichung [14]:
  $\varepsilon_{U\,max} = 0{,}11 = 11\% \leq 15\% \rightarrow$ i.O.
- Mit Gleichung [18]:
  $F_p/l = 2{,}5$ N/mm
- Aus Tab. 2:
  $\sigma'_B \geq F_p/l/0{,}2 = 12{,}5$ N/mm

Die maximale Umfangsdehnung liegt im zulässigen Bereich, die Mindestreißfestigkeit für das Gewebe beträgt 12,5 N/mm.

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

Sickenformmembrane ohne Gewebe
Für eine gewebelose Sickenformmembrane mit Wanddicke 2 mm wurde der Rollfaltenradius bei Differenzdruck 1 bar (≈ 0,1 N/mm²) graphisch mit 15 mm ermittelt. Gesucht ist die Mindest-Shorehärte des Elastomerwerkstoffes.

→ Gleichung [17] mit → Tab. 2:
$E_{min} = p\ R/(s\ \varepsilon_{p\ zul}) = 3{,}75\ N/mm^2$

Aus der → Abb. 7 :
Härte ≥61 Shore A bei Einsatztemperatur RT
Härte ≥69 Shore A bei Einsatztemperatur 90 °C.

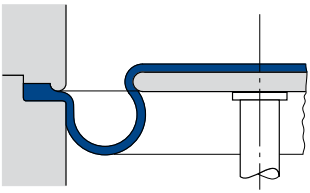
GESTALTUNG DER EINSPANNUNG UND BERÜHRENDEN GEHÄUSETEILE

Grundsätzlich sind scharfe Kanten im Kontaktbereich der Membrane nicht zulässig, da diese beim Abrollen unweigerlich zu hohen Biegespannungen bzw. zu mechanischen Beschädigungen und damit zum Ausfall führen.
Die Übergänge von Einspannebene bzw. Kolbenfläche zur Zylinderwand sind zur Vermeidung von Spannungspitzen zu verrunden (→ Membrangrundformen und → Richtlinien zur Dimensionierung).
Für die Oberflächengüte aller in Kontakt mit der Membrane stehenden Gehäuseteile, bei denen gleichzeitig eine Relativbewegung möglich ist, gilt:

Rz ≤ 10 µm

Bei ausgebildeter Rollfalte (z.B. bei Rollmembrane oder stark überhöhter Tellerformmembrane) sind Gehäuse und Kolben so zu gestalten, dass eine einwandfreie Abstützung gegeben ist. Tritt eine Unterschneidung auf, ist mit Stauchfalten und vorzeitigem Verschleiß zu rechnen (→ Abb. 13).
In der Einspannung im Gehäuse bzw. gegebenenfalls am Kolben ist die Membrane zu klemmen und gegen die wirkenden Druckkräfte zu fixieren. Hiermit kombiniert wird häufig die Abdichtung der Trennebene. Diese Aufgaben können mit unterschiedlichen Einspanngeometrien erfüllt werden. Häufig eingesetzt werden:

- Ausführung als Flachdichtung:
  Zur Verbesserung der Dichtwirkung können die beiden Flansche mit versetzt angeordneten flachen Wülsten oder Nuten versehen werden.
- kreisförmiger Dichtwulst (O-Ring): In beiden Flanschen ist eine Nut zur Aufnahme des Wulstes anzubringen.
- halbkreisförmiger Dichtwulst (halber O-Ring): Die Nut wird nur in einem Flansch angebracht, der andere Flansch wird eben ausgeführt. Ausführungsbeispiele → Tellerformmembranen (Langhub-Rollmembranen)
- Wulst- und Nutgeometrie sind so auszulegen, dass eine Verpressung von 20% bis 30% erreicht wird. Dabei ist zu beachten, dass Elastomere nahezu inkompressibel sind. Die Einspannnut ist groß genug auszuführen, um das verpresste Volumen auch unter Berücksichtigung einer möglichen Wärmedehnung oder Quellung bei Medieneinwirkung mit ausreichender Sicherheit aufzunehmen.



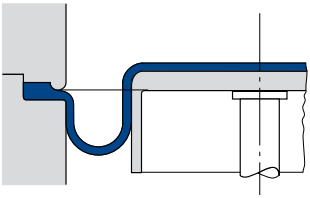


Abb. 13 Abstützung der Rollfalte mittels Kolben

MASSTOLERANZEN VON MEMBRANEN

Für die Durchmessertoleranzen formgepresster Membranen und formgeprägter Membranen aus Membrantuch gilt generell DIN ISO 3302 Teil 1 „Gummi-Toleranzen für Fertigteile – Maßtoleranzen", wobei für Membranen ohne Gewebe die Toleranzklasse M 2 und für Membranen mit Gewebe die Toleranzklasse M 3 akzeptiert werden kann.

Durchmesser	Toleranz	
[mm]	für gewebelose Membranen [mm]	mit Gewebe und/ oder Metallteil [mm]
... 6,3	±0,15	±0,25
über 6,3 ... 10	±0,20	±0,30
über 10 ... 16	±0,20	±0,40
über 16 ... 25	±0,25	±0,50
über 25 ... 40	±0,35	±0,60
über 40 ... 63	±0,40	±0,80
über 63 ... 100	±0,50	±1,00
über 100 ... 160	±0,70	±1,30
über 160	±0,5%	±0,8%

Tab. 3 Durchmessertoleranzen für formgepresste Membranen

Für die Wand- und Wulstdicken formgepresster Membranen gelten die nachstehend aufgeführten, gegenüber DIN ISO 3302-1 bereits eingeengten, Toleranzen.

Wand- und Wulstdicke S [mm]	Toleranz [mm]
... 0,5	±0,05
über 0,5 ... 3,0	±0,10
über 3,0 ... 6,0	±0,15
über 6,0 ... 10,0	±0,20

Tab. 4 Dickentoleranzen für formgepresste Membranen

Bei gestanzten Membranen aus Membrantuch können engere Fertigungstoleranzen eingehalten werden. So gilt für die Durchmessertoleranzen gestanzter Flachmembranen DIN ISO 2768 m.

Es ist darauf hinzuweisen, dass bei größeren Wanddicken sich gegebenenfalls eine konkave Schnittfläche durch Verformung des Materials beim Schneidevorgang einstellen kann.

Durchmesser D [mm]	Toleranzfeld nach DIN 2768 m [mm]
über 3 ... 6	± 0,1
über 6 ... 30	± 0,2
über 30 ... 120	± 0,3
über 120 ... 400	± 0,5
über 400 ... 1000	± 0,8

Tab. 5 Durchmessertoleranzen für Membranen aus Membrantuch

Engere als die zuvor genannten Toleranzen können zwar nach Form und Werkstoff der gewünschten Membranen – gegebenenfalls nach entsprechenden Fertigungsversuchen – vereinbart werden.
Solche Absprachen, die stets einen erhöhten Fertigungsaufwand zur Folge haben, sollten jedoch auf unumgängliche Sonderfälle beschränkt bleiben (vgl. hierzu auch die Hinweise in DIN ISO 3302).

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

WERKSTOFFE FÜR MEMBRANEN

Abhängig vom Einsatz kommen die unterschiedlichsten Materialien zur Anwendung. So richtet sich die Werkstoffauswahl des einzusetzenden Elastomers beispielsweise nach den mechanischen, thermischen und chemischen Beanspruchungen. Bei höheren Belastungen wird zusätzlich noch eine Gewebeverstärkung vorgesehen. Je nach Art der Druckbeaufschlagung – ein- oder beidseitig – sowie Form der herzustellenden Membrane wird diese als Gewebeeinlage oder -auflage ausgeführt.

ELASTOMERE

Bei der Auswahl geeigneter Elastomerqualitäten stehen folgende Eigenschaften im Vordergrund:

- Zur sicheren Abdichtung der Einspannbereiche sollte der Werkstoff geringe Druckrelaxationswerte im Langzeittest zeigen.
- Der Werkstoff soll entsprechend der jeweiligen Beanspruchung ausreichend fest, elastisch, flexibel, kerbzäh, chemisch beständig, gasdicht und abriebfest sein.
- Bei dynamischer Beanspruchung darf keine Materialermüdung eintreten.
- Im Hinblick auf die Verarbeitung werden vom Werkstoff gutes Fließverhalten, günstige Vulkanisationsbedingungen sowie Bindefreudigkeit zu eventuellen Metall- oder Gewebeeinlagen gefordert.
- Der Werkstoff muss der chemischen Beanspruchung gewachsen sein, ohne zerstört zu werden oder unzulässig stark zu quellen.
- Bei der maximalen Betriebstemperatur soll der Werkstoff nicht erweichen oder verhärten (thermische Alterung), unter Witterungseinfluss nicht rissig werden (Ozonalterung) und bei der Mindesttemperatur noch ausreichend flexibel sein.
- Niedrige Gas-Permeationswerte und gute Medienbeständigkeit in Verbindung mit guter Kälteflexibilität sind für Speichermembranen als Werkstoffeigenschaften erforderlich.

(Für allgemeine Werkstoffinformation → Allgemeine technische Daten und Werkstoffe Seite 897).

Bestimmung der oberen Einsatztemperatur von Elastomerwerkstoffen:
Eine entscheidende Größe für die Anwendung eines Elastomerwerkstoffes ist sein Druckrelaxationsverhalten (→ Abb. 14). Dabei wird die Minderung der Spannung im verpressten Zustand als Funktion von Zeit und Temperatur dargestellt. Die obere Temperatureinsatzgrenze wird dadurch beschrieben.

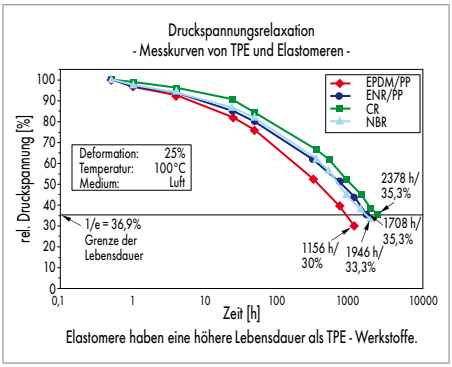


Abb. 14 Druckspannungsrelaxation

Im unteren Temperatureinsatzbereich führen Kristallisationsvorgänge zur Verhärtung der Werkstoffe. Dies führt zu einer Modulerhöhung (s. Kennlinie G, → Abb. 15). Dabei geht der Werkstoff vom elastischen Zustand in einen starren unelastischen Zustand über. Als $T_{ü}$-Wert wird hier der Glasübergangspunkt angegeben.

AU – Polyurethan

verbindet gute mechanische Werte mit hoher Elastizität. AU ist beständig gegen Öle und Fette sowie gegen oxidativen Angriff, jedoch nur bedingt hydrolysefest. Thermischer Einsatz −25 °C bis +80 °C.

CR – Chlorbutadien-Kautschuk

ist ein gut kälteflexibler, alterungsbeständiger Werkstoff für druckluftbeaufschlagte Membranen ohne Gewebe.

ECO – Epichlorhydrin-Kautschuk

wird eingesetzt in Membrandruckspeichern bei besonderen Anforderungen hinsichtlich Gasdichtheit, Ölbeständigkeit und Kälteflexibilität.

EPDM – Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
ist verbreitet als Membranwerkstoff gegen Kalt- und Warmwasser, Heißwasser und Dampf bis 130/140 °C. KTW-Freigabe, WRC und FDA-Zulassung. Zum Einsatz in der Lebensmittelindustrie stehen Sonderqualitäten zur Verfügung. EPDM ist nicht ölbeständig.

FFKM – Perfluor-Kautschuk (Simriz)
Durch den Einsatz spezieller perfluorierter (d.h. vollständig wasserstofffreier) Polymere und entsprechender Compoundier- und Verarbeitungstechniken lassen sich Werkstoffe mit gummielastischen Eigenschaften herstellen, die in ihrer Medienbeständigkeit und thermischen Beständigkeit dem PTFE sehr nahe kommen. Dieser sehr teure Werkstoff wird überall dort eingesetzt, wo extreme Sicherheitsstandards gelten und ein hoher Wartungs- und Instandsetzungsaufwand den Preis für diese Membranen rechtfertigt. Bevorzugte Bereiche sind die chemische Industrie, die erdölfördernde und -verarbeitende Industrie, der Apparate- und Kraftwerksbau sowie die Luft- und Raumfahrttechnik.
Thermischer Anwendungsbereich −15 °C bis +230 °C.

FKM – Fluor-Kautschuk
zeichnet sich aus durch hohe thermische und chemische Beständigkeit sowie durch geringe Werte für Gasabgabe und Gasdurchlässigkeit bei Raumtemperatur. FKM ist der bevorzugte Werkstoff für Membranen in der Vakuumtechnik sowie beim Einsatz in Gasen und Flüssigkeiten mit hohem Aromatenanteil („Superkraftstoff"). Für den Einsatz in Wasserdampf sind besondere Fluor-Kautschuke erforderlich (auf Anfrage).

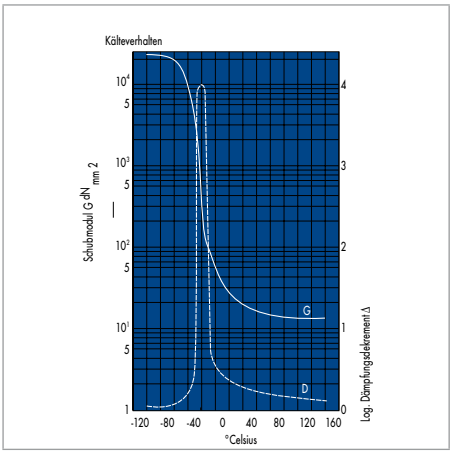


Abb. 15 Kälteverhalten

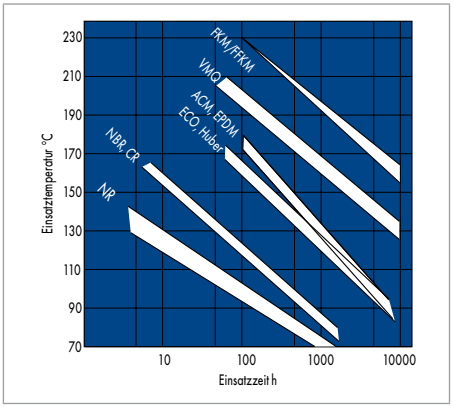


Abb. 16 Zulässige Temperatur-Zeit-Grenze für einige Elastomere unter Warmlufteinfluss)

FVMQ – Fluorsilikon-Kautschuk
wird eingesetzt bei besonderen Anforderungen hinsichtlich Kraftstoffbeständigkeit in der Kälte. Temperaturbereich ca. −60 °C bis +175 °C.

HNBR – Hydrierter Acrylnitril-Butadien-Kautschuk
hat eine höhere Hitzebeständigkeit und mechanische Festigkeit, bei geringerem Abrieb als NBR. Die chemische Beständigkeit gleicht in vielen Fällen dem NBR. Er ist besser geeignet gegen Mineralöle (z.B. Pentosin CHF 11S, Dexron III).
Der Einsatzfall wäre beispielsweise bei Speichermembranen für Hydrauliköle. HNBR hat zudem noch eine höhere dynamische Belastbarkeit als NBR, dies wird beim Einsatz als Pumpmembrane genutzt.
Einsatzgebiet −30 °C bis +150 °C.

IR – Butyl-Kautschuk
wird eingesetzt für besonders gasdichte Druckspeichermembranen. Bevorzugtes Hydraulikmedium ist Bremsflüssigkeit (DOT 4).

NBR – Acrylnitril-Butadien-Kautschuk
ist der Standardwerkstoff für alle mit Druckluft und Mineralöl beaufschlagten Membranen. Qualitäten mit höherem Acrylnitrilgehalt werden eingesetzt, wenn gegen Erdgas, Propan sowie gegen alle Öle auf Mineralölbasis abgedichtet werden soll. Für die bessere Quellbeständigkeit und Gasdichtheit müssen dann schlechtere Kälteeigenschaften in Kauf genommen werden.

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

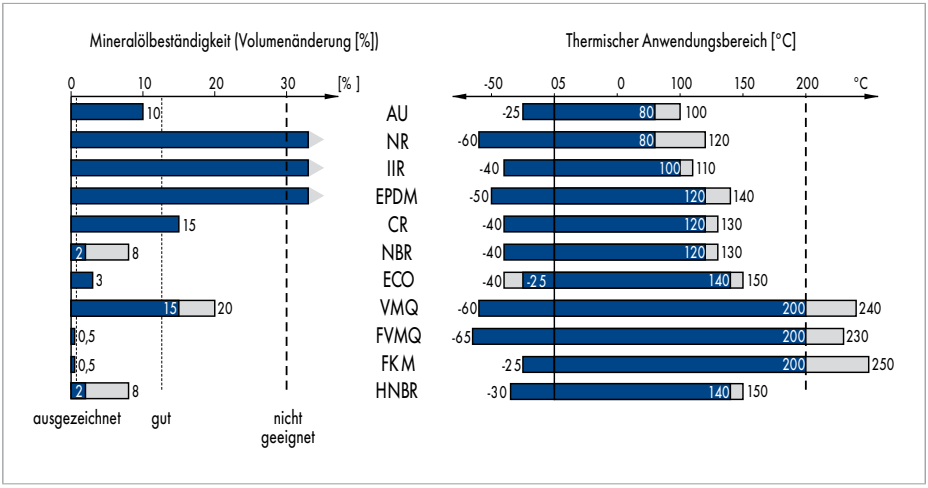


Abb. 17 Werkstoffeigenschaften

NR – Naturkautschuk
ist gekennzeichnet durch hohe Festigkeit, Elastizität und Kälteflexibilität. NR ist nicht ölbeständig und muss bei Ozoneinwirkung durch Additive geschützt werden.

VMQ – Silikon-Kautschuk
wird eingesetzt für hohe thermische Beanspruchung von −40 °C bis +200 °C. Bestimmte Mischungseinstellungen sind physiologisch indifferent und mit Heißluft sterilisierbar, daher eignet sich VMQ für die Lebensmittelindustrie und Medizintechnik.

MEMBRANGEWEBE

Um in bestimmten Druckbreichen ein Zerreißen einer reinen Gummimembrane zu verhindern, werden Festigkeitsträger als Verstärkung eingesetzt (→ Membranen mit Gewebeverstärkung). Hierbei kommen zwei verschiedene Arten zur Anwendung:
Gewebe sowie Gestricke, die allein schon durch ihre Webstruktur zu unterschiedlichen Eigenschaften des Endproduktes führen.
Weiterhin wird zwischen Gewebeauflage und Gewebeeinlage unterschieden. Die Wahl der Gewebeart und Anwendung ist abhängig von der Anwendung und der Form der Membranen. Für die richtige Auslegung bei Ihrer Membrane unterstützen Sie gerne unsere Produktentwickler.

Prinzipiell stehen drei verschiedene Werkstoffgruppen für die Anwendung in Membranen zur Verfügung:
- Polyester
- Polyamid
- Aromatisches Polyamid.

Aramidgewebe
Aramidgewebe (Gewebe aus aromatischen Polyamid – bekannt unter dem Handelsnamen „Nomex-Nylon" – verliert auch in Heißwasser mit steigender Temperatur nur langsam an Festigkeit. Nomex-Nylon ist daher – in Verbindung mit EPDM-Kautschuk – das geeignete Material für Gewebemembranen im Heißwassersektor.

Polyestergewebe
Polyestergewebe zeichnen sich aus durch gute Festigkeitswerte schon bei geringen Gewebedicken. Sie können daher verhältnismäßig weitmaschig ausgeführt werden. Dies kommt der Tiefziehfähigkeit zugute. In Luft und mineralischen Ölen nimmt die Festigkeit mit steigender Temperatur nur langsam ab. Dagegen muss in Heißwasser über 100 °C mit einem völligen Materialabbau durch Verseifung gerechnet werden.

Polyamidgewebe
Polyamidgewebe erbringen – besonders nach entsprechender Vorbehandlung – eine bessere Bindung zwischen Gummi und Gewebe als Polyestergewebe.

Dies ist vor allem von Bedeutung für hochbeanspruchte Membranen mit besonderen Anforderungen an die Lebensdauer. Bei steigenden Betriebstemperaturen muss mit einem stetigen Festigkeitsabfall gerechnet werden. Einen gewissen Nachteil bilden die verhältnismäßig großen Gewebedicken sowie die begrenzte Tiefziehfähigkeit, so dass fertigungstechnische Gesichtspunkte die Anwendung begrenzen können.

Bezeichnung	Höchstzugkraft bei 20 °C [N/mm]	Gewebedicke [mm]	Tiefziehfähigkeit
Polyestergewebe			
85	≥25,0	0,27	gut
86	≥20,0	0,27	gut
87	≥11,0	0,17	gut
88	≥7,0	0,12	mittel
Polyamidgewebe			
22	≥22,0	0,36	beschränkt
29	≥29,0	0,70	beschränkt
31	≥110,0	0,60	beschränkt
32	≥60,0	0,38	mittel
57	≥33,0	0,32	gut
143	≥56,0	0,40	beschränkt
Aramidgewebe (Nomex)			
34	≥27,0	0,40	beschränkt
61	≥14,0	0,30	mittel
72	≥9,0	0,30	gut
Polyestergestricke/-gewirke			
2	≥12,0 1)	0,50	gut
4	≥3,2 1)	0,40	gut
Aramidgestricke/-gewirke			
1	≥2,8	0,40	gut
11	≥4,9	0,60	gut

Tab. 6 Werkstoffe für Membranen

1) Werte gelten in Stäbchenrichtung; in Maschinenrichtung nicht messbar wegen Laufmaschenbildung

FOLIEN AUS PTFE

Eine reine Gummimembrane – mit Ausnahme einer Membrane aus Simriz – hat den Nachteil wie in (→ Membranen mit Auflage aus PTFE) erläutert, dass sie gegen aggressive Stoffe nicht über einen längeren Zeitraum resistent bleibt. Als Hilfe bedient man sich einer Schutzfolie, die meist aus PTFE besteht.

Hierbei greifen wir auf die unterschiedlichsten PTFE-Qualitäten zurück, um der Verbundmembrane eine den Anforderungen spezifische Charakteristik zu verleihen. Einige Besonderheiten sind hervorzuheben:

- Elektrisch leitfähige Folie
- Besonders biegewechselfeste Folie.

Auch andere Folien finden bei uns auf Anfrage Anwendung, sofern sie den Beanspruchungen während des Vulkanisationsprozesses standhalten.

EINLEGETEILE

Unter Einlegeteilen versteht man jegliche Art von Material, das in die Membrane mit einvulkanisiert wird. Die Palette reicht von einfachen Metallen bis hin zu modernen Kunstoffen. Diese „Inserts" übernehmen unterschiedliche Funktionen. Sie übertragen beispielsweise Stangenkräfte auf die Membrane oder versteifen sie an gewünschter Stelle.

Damit diese Teile eine gute Verbindung zum Produkt aufweisen, werden Haftvermittler eingesetzt. Unsere Chemietechnik hat derzeit für fast alle herkömmlichen Gummi-Metall-Verbindungen eine entsprechende Lösung parat.

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

VERWENDETE FORMELZEICHEN

Benennung	Kurzzeichen	Einheit
Rollspaltbreite	b	mm
Gehäusedurchmesser	D_g	mm
Kolbendurchmesser	D_k	mm
mittlerer Durchmesser	D_m	mm
Wirkdurchmesser	D_w	mm
Elastizitätsmodul	E	N/mm^2
Dehnung	ε	–
Zugdehnung durch Differenzdruck	ε_p	–
Umfangsdehnung durch Abrollen	ε_u	–
Stangenkraft, Stellkraft	F	N
Kraft in Membranwand infolge Druckbelastung	F_p	N
Ausformtiefe, Sprunghöhe	h	mm
Gesamthub	H_g	mm
Hubanteil oberhalb der Einspannung	H_o	mm
Hubanteil unterhalb der Einspannung	H_u	mm
max. Hub	H_{max}	mm
max. Hubanteil oberhalb der Einspannung	$H_{o\ max}$	mm
max. Hubanteil unterhalb der Einspannung	$H_{u\ max}$	mm
Differenzdruck	p	N/mm^2
Krümmungsradius Rollfalte	R	mm
Übergangsradius im Einspannbereich	ρ	mm
Wanddicke in der Walkzone	s	mm
Elastomerhärte	SH	Shore A
Spannung	σ	N/mm^2
Zugspannung durch Differenzdruck	σ_p	N/mm^2
Kraft in Membranwand pro Umfangslänge	σ'	N/mm
Reißfestigkeit von Gewebe	σ'_B	N/mm
Temperatur	T	°C
Fördervolumen	V	mm^3
Wirkfläche	A_w	mm^2

Tab. 7 Übersichtstabelle der Formelzeichen

PRODUKTVERZEICHNIS

MEMBRANEN

Membranen 743
Langhub-Rollmembranen BFA 744
Membrantuch 747
Membranen für Pumpen & Kompressoren 749
Membranen für Speicher & Blasen 750
Membranen für Industrieventile 751

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

MEMBRANEN

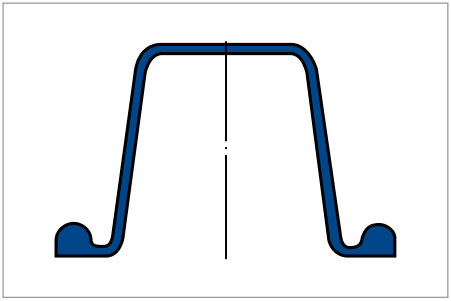
In nahezu allen Industriebereichen besteht für Konstrukteure die Notwendigkeit, bei bestimmten Anwendungen Bauteile flexibel miteinander zu verbinden, Räume zwischen ihnen zu trennen und gleichzeitig eine dichte Trennwand zu schaffen.

Diese Aufgabe kann fast immer durch den Einsatz einer Membrane aus gummielastischen Werkstoffen gelöst werden. Ganz unterschiedliche Anforderungen im Hinblick auf mechanische, thermische und chemische Belastungen führen in den allermeisten Fällen zu kundenspezifischen Lösungen. Für deren Ausarbeitung stehen unsere Spezialisten mit dem Know-how aus langjährigen Erfahrungen zur Verfügung.
Neben kundenspezifisch gestalteten Membranformen bieten wir auch Standardprodukte an, die im nachfolgenden Kapitel vorgestellt werden.
Es handelt sich dabei um

- Langhub- Rollmembranen
- Membrantücher
  (beidseitig gummierte Gewebe)
- Plattenware.

Membrantücher und Plattenware werden vorwiegend dazu verwendet, Flachmembranen oder Flachdichtungen kostengünstig durch Stanzen herzustellen.

LANGHUB-ROLLMEMBRANEN BFA



Langhub-Rollmembranen BFA

PRODUKTBESCHREIBUNG

Langhub-Rollmembranen sind dünnwandige, feinfühlige Spezialmembranen aus gummielastischen Werkstoffen mit Gewebeverstärkung.

PRODUKTVORTEILE

Die geringe Membrandicke und die im Verhältnis zum Durchmesser große Membranhöhe bieten folgende Vorteile:

- Geringer, über den gesamten Hub nahezu konstanter Verstellwiderstand
- Im Vergleich zu herkömmlichen Membranen gleichen Durchmessers wesentlich größere Hublängen
- Gleichbleibende Wirkfläche über den gesamten Hub
- Kein zusätzlicher Verstellwiderstand beim Anfahren oder beim Wechsel der Bewegungsrichtung, kein Rastpunkt im Arbeitsbereich
- Im Vergleich zu Manschettendichtungen geringere Anforderungen an Kolben und Zylinder.

ANWENDUNG

Langhub-Rollmembranen werden in hydraulisch und pneumatisch betätigten Steuer- und Regelgeräten, Druckschaltern, Drucküberset zern sowie Mess- und Anzeigegeräten verwendet. In gewebeloser Ausführung finden sie Verwendung bei geringen Drücken.

WERKSTOFF

Standardwerkstoff: 50 NBR 253 auf Basis Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR) mit oder ohne Polyestergewebe → Technisches Handbuch.
Einzelheiten über allgemeinen Aufbau der Langhub-Rollmembranen und die Eigenschaften der Elastomere. Rollmembranen aus Silikonkautschuk, Fluorkautschuk und EPDM mit Gewebe werden nur bis zu einer Höhe von H_{max} = 0,6 D_g (D_g = Zylinderdurchmesser) gefertigt. Für Fluorkautschuk sind spezielle Werkzeuge erforderlich. Für die Auswahl des geeigneten Werkstoffes sollten die genauen Betriebsbedingungen bekanntgegeben werden.

EINSATZBEREICH

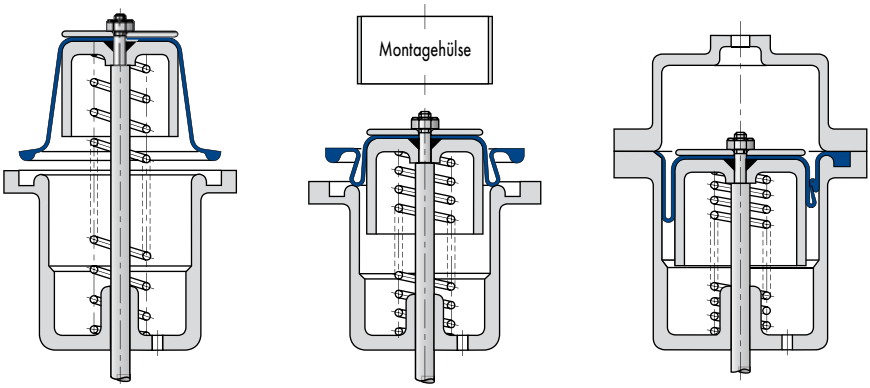
Die Standardbaureihe BFA aus Nitrilkautschuk mit Gewebeverstärkung für den Einsatz in Druckluft und Mineralöl gestattet Betriebsdrücke bis 10 bar und Prüfdrücke bis 15 bar. Für den Einsatz in Stadt- und Erdgas, Benzin und Bremsflüssigkeiten sowie bei höherer thermischer Belastung stehen Sonderqualitäten auf Anfrage zur Verfügung. Für alle Baureihen gilt im Betrieb, dass auch bei Kolbenrückführung eine geringe Druckdifferenz von ca. 0,15 bar vorhanden sein muss, da sich sonst Falten oder Knickstellen in der Rollfalte bilden. Dieser Gegendruck kann durch ein Drosselventil erreicht werden. Um einen Druckaufbau auf der druckabgewandten Seite zu verhindern, muss eine Entlüftungsbohrung vorgesehen werden.

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

EINBAU & MONTAGE

Bei Langhub-Rollmembranen mit Gewebeauflage muss diese auf der druckabgewandten Seite liegen.
Die Membrane wird vor der Montage umgestülpt. Sollte sich die dabei bildende Rollfalte aufwölben, ist die Verwendung einer Montagehülse erforderlich. Keinen Schraubendreher verwenden! Eine weitere Montagemöglichkeit: Rollmembrane umgestülpt auf dem Kolben montieren, Wulst in die Nut einlegen und den Kolben in den Zylinder schieben.

Dabei bildet sich die Rollfalte aus. Der Kolben muss nach der Montage gegen Verdrehen gesichert werden, um eine Schrägfaltenbildung zu vermeiden. Eine Gleitscheibe als Federabstützung ist ausreichend. Grundsätzlich ist eine Hubbegrenzung vorzusehen. Der Rollbereich der Membrane muss fein bearbeitet und poliert sein. Die Übergangsradien an Einspannflansch, Kolbenboden und Deckelplatte sind glatt und riefenfrei auszuführen.

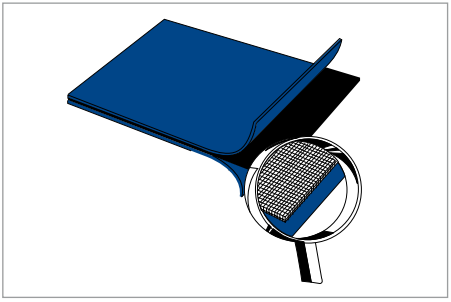


Montage durch Einschieben | Montage mit Hülse | Doppelfaltenbildung

Zylinder-Ø	D_g	bis 60 mm	bis 100 mm	bis 150 mm	>150 mm
Einbaumaße					
Kolben-Ø	D_k	D_g −5	D_g−10	D_g −10	D_g −10
Nut-Ø	D_n	D_g +15	D_g+21	D_g +27,5	D_g +27,5
Kolbenradius	R_k	3,5	4,5	5,8	7,0
Deckelradius	R_c	2,0	2,0	2,0	2,0
Nuttiefe	H_g	3,0	4,0	5,0	5,0
Nutbreite	W_g	4,0	5,5	7,2	7,2
Randbreite	W_i	3,5	5,0	6,5	6,5
Randhöhe	H_i	2,3	3,1	3,5	3,5
Randradius	R_i	1,75	2,5	3,25	3,25
Membranmaße					
Flansch-Ø	D_f	D_g +14	D_g +20	D_g +26	D_g +26
Wanddicke	W	0,45	0,55	0,8	1,0
Flanschwulst	H_b	3,6	5,0	6,3	6,3
Radius	R_w	1,75	2,50	3,25	3,25
Mindestlänge der feinbearbeiteten Flächen					
am Kolben	L_k	0,5 (H+S_a)	0,5 (H+S_a)	0,5 (H+S_a)	0,5 (H+S_a)
am Zylinder	L_c	0,5 (H+S_b)	0,5 (H+S_b)	0,5 (H+S_b)	0,5 (H+S_b)
Membranhub					
in einer Richtung max.	S_a	H−8	H−14	H−20	H−20
in Gegenrichtung max.	S_b	H−8	H−14	H−20	H−20
Befestigungsplatte					
	A	D_k+2,9	D_k+4,1	D_k+5,6	D_k+6
	D	1,5	3,0	4,0	5,0

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

MEMBRANTUCH



Membrantuch

PRODUKTBESCHREIBUNG

Bei Membrantüchern handelt sich um hochwertige, beidseitig mit geeigneten Elastomerqualitäten beschichtete Spezialgewebe. Besondere Fertigungsverfahren ermöglichen es, auch dünne Elastomerschichten gut haftend und porenfrei auf die vorbehandelten Gewebe aufzutragen.

PRODUKTVORTEILE

Aus Membrantüchern können problemlos Flachmembranen ausgestanzt werden. Die Herstellung von Formmembranen erfolgt durch Prägen bei erhöhten Temperaturen, wobei je nach Gewebequalität und Materialdicke gewisse Begrenzungen in der erreichbaren Membranhöhe beachtet werden müssen.

ANWENDUNG

Membranen aus Membrantuch haben die Aufgabe, eine dichte und dennoch leicht bewegliche Trennwand zu bilden. Membrantücher sind entsprechend der mechanischen, thermischen und chemischen Beanspruchung des jeweiligen Einsatzfalles ausgelegt. Haupteinsatzgebiete:

- Mess-, Regel- oder Steuermembranen
- Pumpmembranen
- Trennmembranen
- Flachmembranen.

WERKSTOFF

Als Elastomere werden bevorzugt Acrylnitril-Butadien--Kautschuk (NBR), Chlor-Butadien-Kautschuk (CR), Ethylen-Propylen-Terpolymer-Kautschuk (EPDM), Epichlorhydrin-Kautschuk (ECO) und Fluor-Kautschuk (FKM) eingesetzt. Zur Verstärkung werden Polyester (PES), Polyamid (PA) und Zellwolle (ZW) genutzt. Die Beschichtung besteht je nach Anwendung aus einem der genannten Elastomere.

EINSATZBEREICH

Die Medienbeständigkeit ist abhängig von Beschichtungswerkstoff und Gewebe. Sie ist der Tabelle des Lagerprogramms zu entnehmen. Für die Druckbeständigkeit ist die Höchstzugkraft des Membrantuchs maßgebend.

EINBAU & MONTAGE

Voraussetzung für eine saubere Abdichtung im Einspannbereich ist eine ausreichende Verpressung (10% der Tuchdicke) sowie eine riefenfreie Oberfläche der Metall- oder Kunststoffteile.

AUSFÜHRUNGEN MEMBRANTUCH

Bezeichnung/ Artikel-Nr.	Elastomer	Gewebe [a]	Nutzbreite [m]	Höchstzugkraft [N/mm]	Dicke [mm]	Toleranz	Farbe	Einsatztemperatur min … max [°C] [b]	Medien	
MT 471/ 505412	NBR	PA	1,40	11	0,30	±0,03	blau	−25 … +90	Kraftstoffe, Heiz- und Brenngase, Mineralöle, Fette, anorg. Säuren u. Basen, schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten (HFA,-B,-C), ölhaltige Druckluft, Wasser bis 80 °C	●
MT 479/ 505414	NBR	PA	1,40	11	0,17	±0,03	blau	−25 … +90		●
MT 481/ 505415	NBR	PES	1,50	50	0,90	±0,07	blau	−25 … +90		●
MT 486/ 505416	NBR	ZW	1,50	15	0,38	±0,05	rot	−20 … +90		●
MT 496/ 147030	NBR	PA	1,50	50	1,10	±0,15	rot	−30 … +90		●
MT 488/ 49042567	NBR	PA	1,50	50	1,10	±0,15	rot/ grün [c]	−20 … +90	Dieselkraftstoffe, Mineralöle, ölhaltige Druckluft, Heizöle, Wasser bis 80 °C	●
MT 489/ 49042568	NBR	PA	1,50	40	0,68	±0,07	rot/ grün [c]	−20 … +90		●
MT 490/ 505417	NBR	PA	1,50	24	0,40	±0,05	grün	−20 … +90		●
MT 475/ 505413	CR	PES	1,50	25	0,45	±0,05	schwarz	−30 … +90	Ölhaltige Luft, Wasser (ozon- und UV-beständig)	●
MT 510/ 49046470	CR	PA	1,50	50	1,10	±0,15	schwarz	−30 … +90		●
MT 511	EPDM	PA	1,50	24	0,55	±0,06	schwarz	−45 … +120	Heißwasser, Wasserdampf, Bremsflüssigkeit auf Glykolbasis	●
MT 491	ECO	PA	1,40	11	0,32	±0,05	schwarz	−35 … +130	Kraftstoffe, Öle, Fette, Luft	●
MT 504	ECO	PA	1,50	30	1,00	±0,10	schwarz	−35 … +130		●
MT 503	FKM	PA	1,4	24	0,30	±0,03	schwarz	−10 … +130	Kraftstoffe, Heiz- und Brenngase, Kohlenwasserstoffe, Phenole, Lösungsmittel, Säuren, Basen	●

● Ab Lager verfügbar

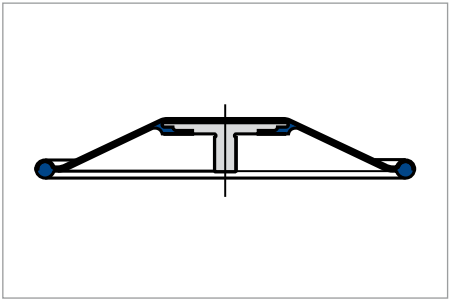
[a] PA = Polyamid; PES = Polyester; ZW = Zellwolle

[b] Richtwerte im Anlieferungszustand – Überprüfung für den jeweiligen Einsatzfall zwingend erforderlich

[c] rot = Kraftstoffseite; grün = Ölseite

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

MEMBRANEN FÜR PUMPEN & KOMPRESSOREN



Membranen für Pumpen & Kompressoren

PRODUKTBESCHREIBUNG

In moderne Pumpen werden sowohl reine Elastomermembranen, als auch die Kombination von Elastomeren eingesetzt, und zwar mit:

- Gewebe zur Verstärkung
- PTFE Folie gegen chemische Angriffe
- Trägerteile aus Metall oder Kunststoff zur Kraft- oder Wegübertragung.

PRODUKTVORTEILE

Membranen für Pumpanwendungen zeichnen sich aus durch:

- Hohe Medienbeständigkeit durch PTFE Folienauflage
- Langzeitstabilität durch Gewebeverstärkung
- Vereinfachte Montage durch integriertes Einlegeteil
- Produktspezifische Werkstoffanpassungen, um optimale Lebensdauer zu erreichen.

ANWENDUNG

Membranen kommen in den verschiedensten Anwendungen in Membranpumpen und Kompressoren zum „Dosieren“ oder „Fördern“ von Flüssigkeiten oder gasförmigen Medien zum Einsatz:
z.B. als Dosier oder Förderpumpen in der Labortechnik bis hin zu Großförderpumpen, die Schlämme oder andere Fluide und Gase fördern.

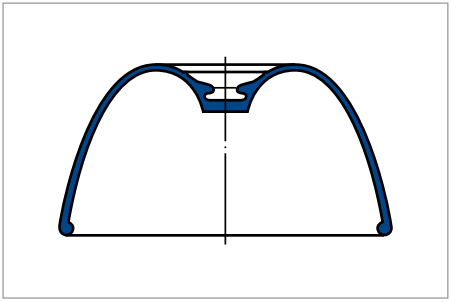
WERKSTOFF

Elastomer	NBR, HNBR, CR, EPDM, FKM
Gewebe, Gestricke & Gewirke	PES, PA, NOMEX
Folie	PTFE und TFM
Einlegeteil	Metall (Messing, Stahl) u. Kunststoff

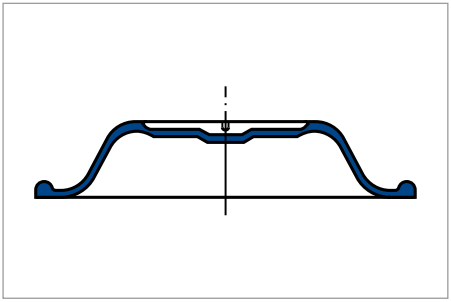
EINSATZBEREICH

Die Medienbeständigkeit ist abhängig vom Elastomer bzw. der PTFE-Folienauflage, die sich bei aggressiven Medien, auf der medienberührenden Seite bestens als Schutzschild bewährt hat.
Mit Folien aus elektrisch leitfähigem Material können Membranen für ATEX-konforme Aggregate hergestellt werden.

MEMBRANEN FÜR SPEICHER & BLASEN



Speichermembrane



Druckspeicherblase

PRODUKTBESCHREIBUNG

Membranen in Druckspeichern bestehen aus kälteflexiblen besonders gasdichten Elastomeren mit geringen Permeationsraten. Sie haben die Aufgabe, als flexible Trennwand den Gasraum des Speichers gegen die Hydraulikflüssigkeit des Druckkreislaufes abzudichten. Zum Beispiel:

- Speichermembranen
- Druckspeicherblasen.

PRODUKTVORTEILE

Membranen und Blasen für Druckspeicher zeichnen sich aus durch:

- Hochgasdichte Elastomere
- Speziell entwickelte Elastomermischungen erfüllen die höchsten Anforderungen der Allgemeinen Industrie
- Produktauslegung nach kundenspezifischen Anforderungen.

ANWENDUNG

Druckspeicher in Hydraulikkreisläufen z.B.:

- Allgemeine Industrie (Hochdruckreiniger, Spritzgießmaschinen)
- Medizintechnik (Computertomographen, Röntgengeräte)
- Luft- und Raumfahrt.

WERKSTOFF

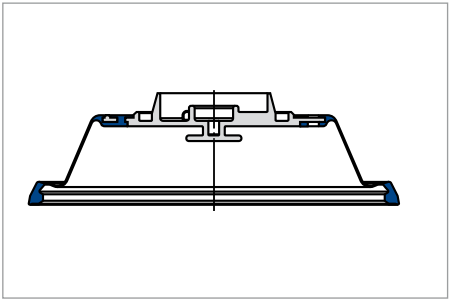
Elastomer	NBR, HNBR, ECO, EPDM, FKM, CIIR
Einlegeteil	Metall oder Kunststoffe

EINSATZBEREICH

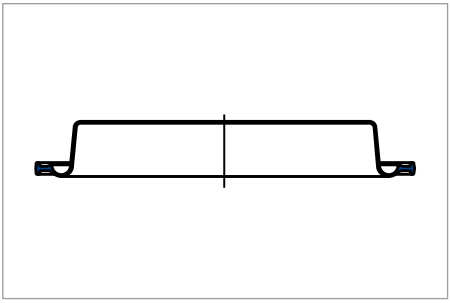
Medien	Alle bekannten Hydraulikflüssigkeiten und Gase (Stickstoff)
Temperatur	−40 … +150 °C
Druck	bis 200 bar (Druck ausgeglichen)

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

MEMBRANEN FÜR INDUSTRIEVENTILE



Dünnwandige, feinfühlige Membranen



Stell- und Regelmembranen

PRODUKTBESCHREIBUNG

Membranen für Industrieventile gibt es in den unterschiedlichsten Formen, Materialien und Ausführungen:

- Als hochwertige Formmembrane (in Teller-, Sickenform oder als flache Membrane) mit und ohne Gewebeverstärkung und/oder einvulkanisierten Ventiltellern
- Membranen von wenigen Millimeter Durchmesser in Mikroventilen, bis hin zu 1 m großen formgepressten Membranen im Anlagen und Pipelinebau
- Membranen aus gummiertem Gewebe (Membrantuch), welches eine Alternative zu gepressten Formmembranen dargestellt.

PRODUKTVORTEILE

- Freigegebene Werkstoffe für Lebensmittel- und Trinkwassereinsatz z.B. DVGW, FDA, KTW, WRAS etc.
- Produktspezifische Werkstoffanpassungen, um eine optimale Funktion und Lebensdauer zu erreichen.
- Für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche hinsichtlich Druck, Temperatur und Medium stehen eine Reihe von Elastomeren und Geweben zur Verfügung, mit welchen sich praktisch alle Anforderungen lösen lassen.

ANWENDUNG

- Stell- und Regelarmaturen im Anlagen- und Pipelinebau
- Dosiersysteme in der Lebensmittelindustrie z.B. Getränkeabfüllanlage
- Membranen für Absperrventile
- Dünnwandige, feinfühlige Membranen für Stell- und Regelventile, z.B. für Atemschutzmasken und Beatmungsgeräte
- Gasdruckregler
- Druckgesteuerte Membranregler bzw. Druckminderer
- Membranen für Druckschalter für Wasserniveauregulierung in Waschmaschinen, Geschirrspülern, Kaffeemaschinen und Heizthermen sowie in der Pneumatik.

WERKSTOFF

Elastomer	NBR, HNBR, EPDM, CR, ECO, AU, VMQ, FKM, FFKM, Spezialwerkstoffe auf Silikonbasis und TPU
Gewebeverstärkung	PA, PES, Aramid (Nomex)
Beschichtung	PTFE- und TFM Folie oder Simriz®
Einlegeteil	Metall oder Kunststoff

EINSATZBEREICH

Medien	Medienbeständigkeit ist von der jeweiligen Anwendung abhängig z.B. Milchprodukte, Hydrauliköle, Wasser, Schlamm, Chemikalien etc.
Temperatur	−100 ... +220 °C
Druck	In Abhängigkeit der Anwendung

© Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG | Technisches Handbuch

Freudenberg Sealing Technologies GmbH
Höhnerweg 2–4
69469 Weinheim
Germany

www.fst.com