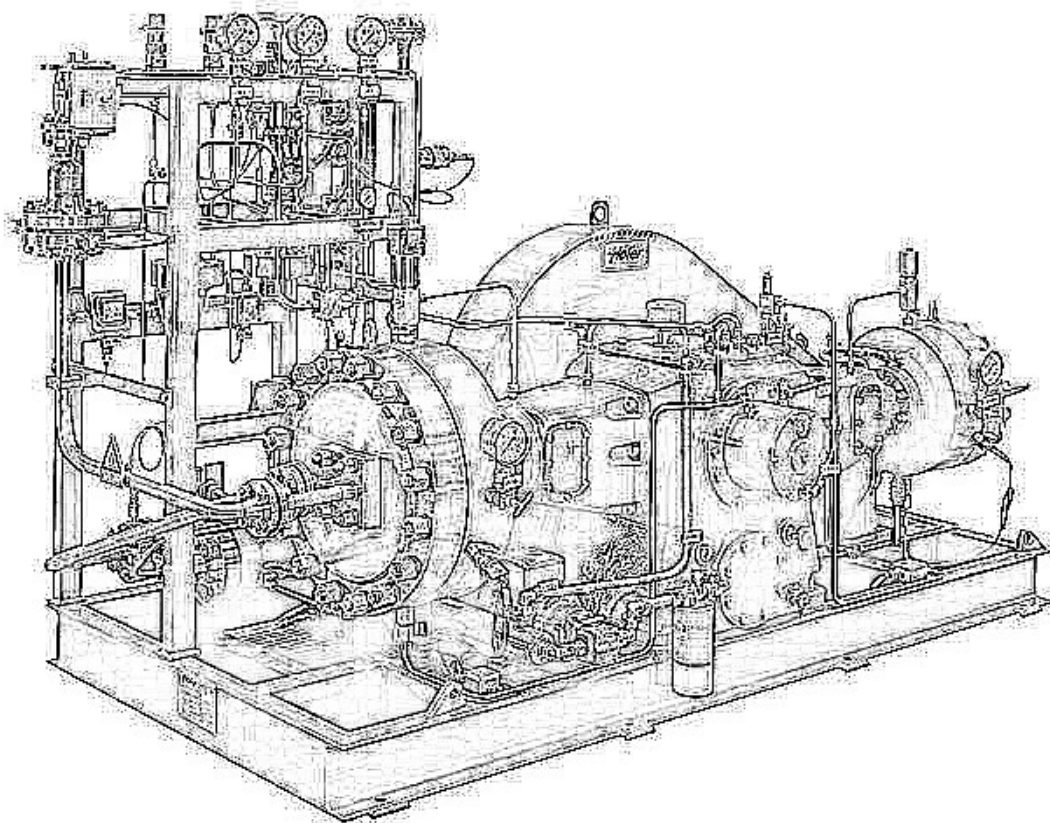


Hofer

Membranverdichter



[Dipl.-Ing. Manfred Dehnen](#)



Hochdrucktechnik GmbH

45478 Mülheim an der Ruhr

-Germany-

Fon: +49-(0)208-4 69 96-0

Fax: +49-(0)208-4 69 96-11

Web: <http://www.andreas-hofer.de>

E-mail: info@andreas-hofer.de

Inhalt

- Einführung**
- 1. Aufbau und Wirkungsweise**
 - 1.1 Funktion**
 - 1.2 Aufbau des Membrankopfes**
 - 1.3 Aufbau des Hydraulikantriebes**
 - 1.4 Mehrstufige Ausführungen**
- 2 Thermodynamik und Auslegung**
 - 2.1 Bestimmung der Hauptabmessungen**
 - 2.2 Wirkungsgrade**
 - 2.2.1 Volumetrischer Wirkungsgrad**
 - 2.2.2 Indizierter isothermer Wirkungsgrad**
 - 2.2.3 Mechanischer und hydraulischer Wirkungsgrad**
 - 2.2.4 Effektiver isothermer Wirkungsgrad**
- 3. Membranüberwachung**
- 4. Bauformen**
- 5. Anwendung und Betrieb**
 - 5.1 Steuerung**
 - 5.2 Antrieb**
 - 5.3 Leistungsregelung**
- 6. Betriebssicherheit**
- 7. Zusammenfassung**
- Literatur**

Einführung

Bei fast allen chemischen bzw. verfahrenstechnischen Prozessen besteht die Notwendigkeit, Gas von einem niedrigen auf ein höheres Druckniveau zu verdichten.

Abhängig von den Prozessparametern (Gasart, Fördermenge, zu überwindende Druckdifferenz) wird der Verdichtertyp ausgewählt. Bei höheren Druckdifferenzen (ab ca. 40 bar) können nur noch Hubkolbenverdichter verwendet werden (Bild 1) [1].

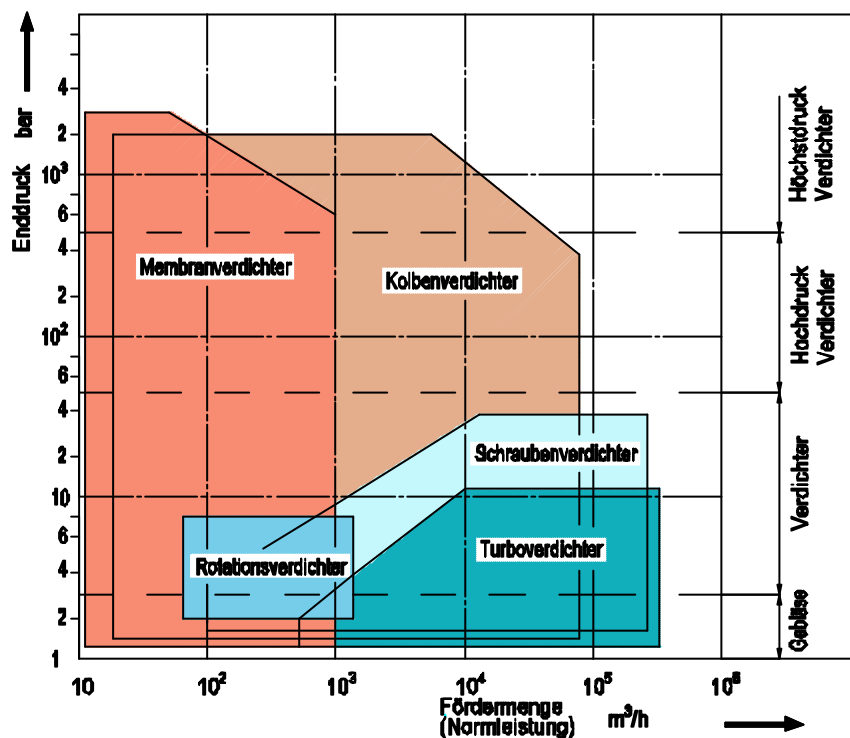


Bild 1: Zurzeit gültige Einsatzbereiche der verschiedenen Verdichtertypen [1]

Der universelle, klassische Kolbenverdichter ist ölgeschmiert. Der Hauptnachteil dieser Verdichterkonzeption ist das in den Verdichterstufen anfallende Schmieröl. Dieses Schmieröl muss nach der letzten Verdichterstufe aufwändig wieder aus dem Gas entfernt, aufbereitet oder entsorgt werden. Bereiten diese ausgetragenen Schmieröle bei Luft-, Stickstoff- oder Wasserstoffverdichtern nur wenige Probleme, so erfordern die Restölmengen z.B. aus Sauerstoffkompressoren einen erheblichen Aufwand an Nachbehandlung und Reinigung.

Mit der Verfügbarkeit von modernen Kunststoffen, die hinreichend warmfest, chemisch beständig sind sowie gute Gleiteigenschaften besitzen, war es möglich, einen Trockenlaufenden Kompressor zu konstruieren. Diese Verdichterbauart kommt zwar ohne Schmierung im Zylinderraum aus, hat aber andere Nachteile. So ist die Leckgasmenge über die ebenfalls Trockenlaufende Kolbenstangenabdichtung zur Atmosphäre ungleich größer als die bei Ölgeschmierten Verdichtern. Weiterhin sind schon bei geringen Reinheitsanforderungen an das Gas Filtersysteme nach dem Verdichter erforderlich, da der Abrieb von den Kolben- und Stangenabdichtungen in das Gas gelangt. Nicht zuletzt ist der Wirkungsgrad Trockenlaufender Kompressoren erheblich schlechter, da der zur Abdichtung beitragende Ölfilm fehlt und dadurch die innere Leckage stark zunimmt [2].

Der Versuch, die vorstehend beschriebenen Nachteile zu umgehen und den steigenden Umwelt- und Arbeitsschutzbedingungen zu genügen, führte zur Weiterentwicklung des Kolbenverdichters zum Membrankompressor (Bild 2).

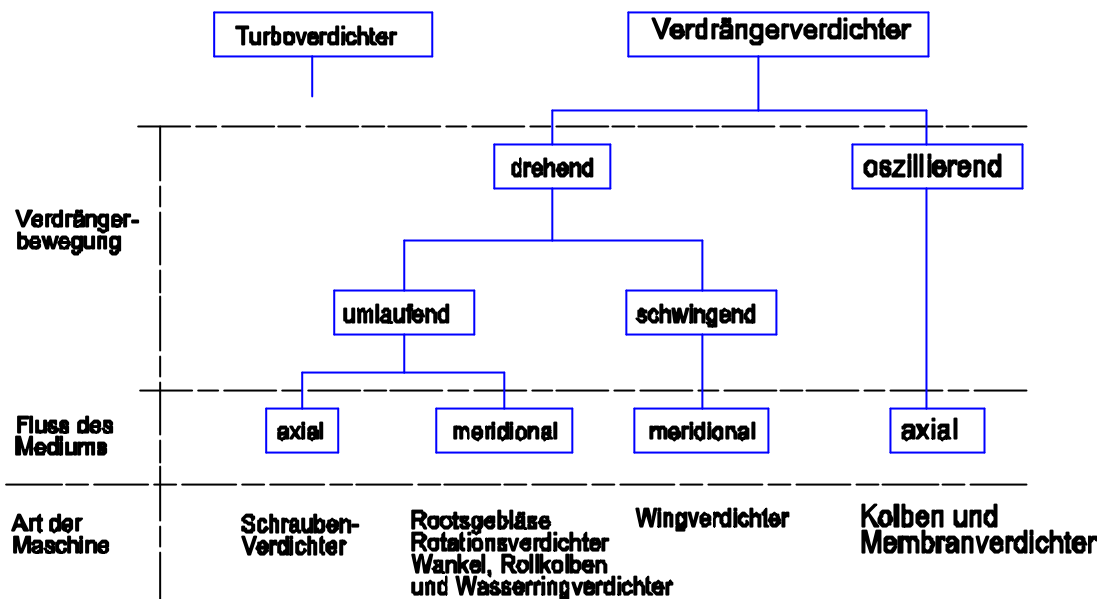


Bild 2: Einteilung der Verdichter nach Verdrängerbewegung und Fluss des Mediums [1]

Diese Verdichterkonstruktion hat keinerlei gleitende und zu schmierende Bauteile im Gasraum. Verwendet werden nur statische Dichtungen, die eine nahezu völlige Leckagefreiheit gewährleisten. Aufgrund dieser besonderen Konstruktion

- sind Membrankompressoren hermetisch nach außen abgedichtet. Der gesamte Gasraum des Verdichters ist mit metallischen, statischen Dichtungen gedichtet. Ohne besonderen Aufwand werden Leckraten von 10^{-4} mbar l/s und mit einer besonderen Modifikation Leckraten von 10^{-8} mbar l/s nach außen erreicht. Diese geringen Leckraten machen eine Verwendung in den „heißen“ Bereichen in kerntechnischen Anlagen oder für die Verdichtung von hochgiftigen Gasen möglich.
- arbeiten Membrankompressoren absolut schmiermittelfrei im Arbeitsraum, d.h. das zu fördernde Gas kommt mit Schmiermitteln nicht in Berührung und die Entsorgung verbrauchter und kontaminierter Schmieröle und -fette entfällt. Kritische Gase, wie z.B. Sauerstoff oder Chlor, können ohne Probleme auch auf höhere Drücken verdichtet werden.
- fällt im Gegensatz zu andern Kompressorbauarten kein Abrieb von Kolbenringen und Stopfbuchspackungen an. Spül- und Sperrgaseinrichtungen an den Stangenabdichtungen sind nicht erforderlich. Das zu fördernde Gas verlässt den Membranverdichter mit dem gleichen Reinheitsgrad mit dem es auch angesaugt wurde. Ist die Qualität des angesaugten Gases bereits gegeben, kann dieses Gas ohne weitere Behandlung nach dem Verdichten als Atemluft, Dotiergas für die Halbleiterindustrie oder als Wasserstoff für die Brennstoffzellentechnologie zur Verfügung gestellt werden.
- kommt das Gas nur mit metallischen Werkstoffen in Berührung. Je nach Anforderung und Gasart stehen verschiedene Werkstoffqualitäten zur Auswahl. Hierdurch erreicht man bei richtiger Werkstoffwahl eine hohe Korrosionsbeständigkeit und eine lange Lebensdauer der Gasberührten Bauteile. Die Werkstoffpalette reicht von normalem Koh-

sorsaugventil angesaugt und während der Gasraumverkleinerung über das ebenfalls im Membrandeckel eingebaute Kompressorventil in die Druckleitung ausgeschoben.

Der für die Durchbiegung der Membrane erforderliche Öldruck wird von einem Kurbeltriebwerk mit einem hin- und hergehenden Kolben aufgebaut. Das Hubvolumen dieses Kolbens entspricht annähernd dem Hubvolumen des Membrankopfes. Die Möglichkeit, den Kreuzkopf des Kurbeltriebs gleichzeitig als Kolben zu benutzen, senkt zwar die Herstellkosten des Membranverdichters, verkürzt aber aufgrund der Querkräfte aus der Kurbelbewegung drastisch die Lebensdauer der Abdichtelemente. In Produktionsanlagen mit hoher Verfügbarkeitsanforderungen sollte diese Ausführung nicht angewendet werden.

Während des Druckhubes schiebt der Kolben das Öl in den Membrankopf und dort durch die Lochplatte auf die Rückseite der Membrane. Die Membrane wird dadurch gegen die konkave Fläche im Membrandeckel gebogen. Der zurücklaufende Kolben zieht die Membrane gegen die ebenfalls konkave Fläche der Lochplatte.

Da der Kolben bei einer Umdrehung der Kurbelwelle einen kompletten Hub durchläuft, entspricht die Schwingfrequenz der Membran der Verdichterdrehzahl. Die Verdichterdrehzahl beträgt bei mittleren bis großen Maschinen zwischen 600 und 400 min^{-1} . Kleinere Verdichter mit direkt an den Elektromotor gekuppelten Kurbelwellen arbeiten mit ca. 720 min^{-1} [4].

Alle mehrstufigen HOFER-Kompressoren benötigen aufgrund des nahezu völligen Ausgleichs der dynamischen Kräfte und Momente 1. und 2. Ordnung kein teures und aufwändiges Fundament. Nur eine tragfähige Bodenplatte ist für die Aufstellung erforderlich. 1stufige Kompressoren können auf Wunsch ebenfalls mit diesem Massenausgleich ausgerüstet werden.

1.2 Aufbau des Membrankopfes

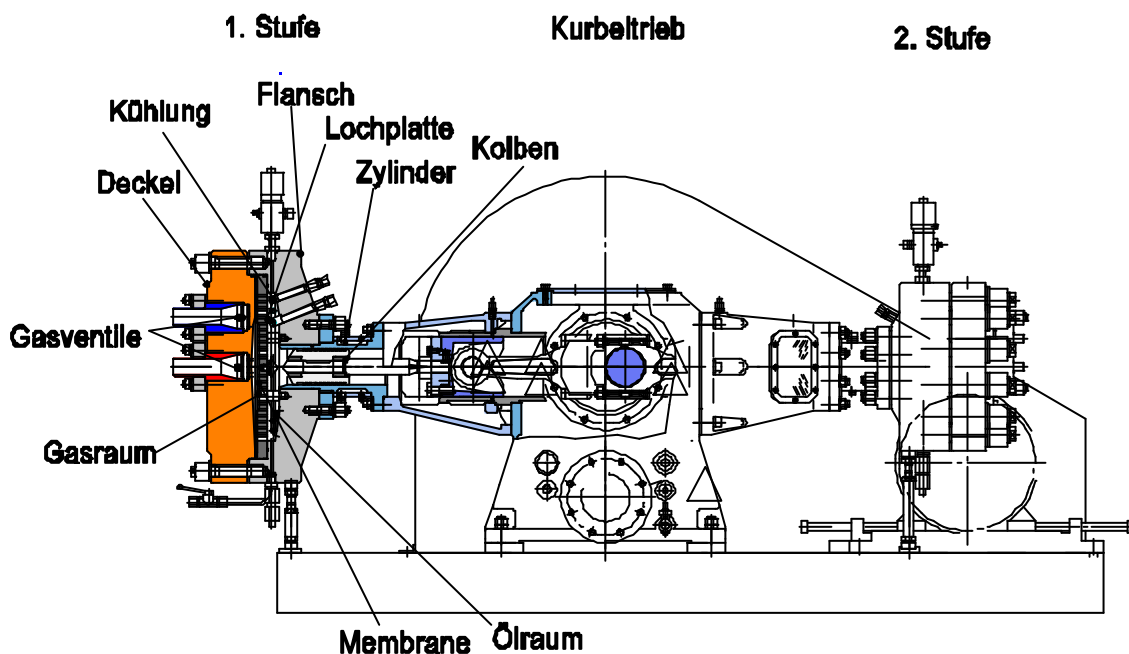


Bild 4: Schnitt eines 2stufigen Membranverdichters

Der Membrankopf besteht im wesentlichen aus dem Membrandeckel, der 3fach Sandwichmembrane, der Lochplatte und dem Flansch (Bild 4).

Die Kompressorventile (Bild 5) sind nebeneinander im Membrandeckel angeordnet. Sie werden, gedichtet mit metallischen Dichtringen, über Druckstücke gehalten.

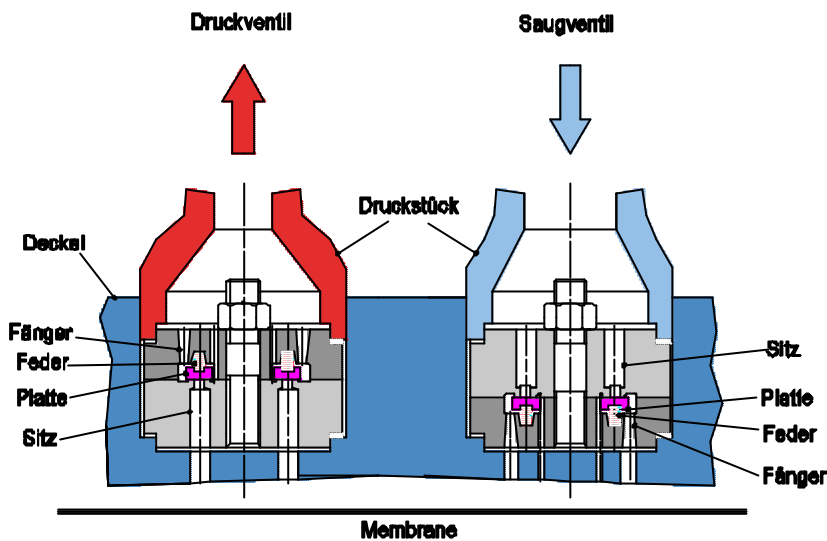


Bild 5: Kompressorventil in Plattenbauart

Das aus 3 einzelnen, nicht profilierten Blechen bestehende Membranpaket ist am Umfang zwischen dem Membrandeckel und der Lochplatte gasdicht eingespannt. Die Abdichtung nach außen erfolgt durch einen Metall-O-Ring.

Da durch diese Anordnung nur:

- der Membrandeckel
- das gasseitige Blech der Sandwich-Membrane
- die Kompressorventile mit den Druckstücken und Dichtringen
- der Metall-O-Ring der Membranabdichtung

gasberührt sind, ist die Leckfreiheit mit geringem Aufwand zu gewährleisten. Die statischen Dichtungen, speziell deren Geometrie und Einbauräume, sind erprobt und haben sich in jahrzehntelanger Praxis bewährt [4]. Einzig der den Lastspielwechseln unterworfenen Membransatz bedarf einer Überwachung. Mit dieser Überwachung kann das Ende der Lebensdauer einer Einzelmembran erfasst und der Verdichter frühzeitig abgeschaltet werden.

1.3 Aufbau des Hydraulikantriebes

Der Membrankopf ist über den Flansch mit dem Zylinder verschraubt. Der im Zylinder hin- und hergehende Kolben schiebt während des Druckhubes das sich im Zylinder befindende Hydrauliköl in den Flansch. Dort strömt das Öl durch die Lochplatte auf die Rückseite der Membrane. Dabei wirkt die Lochplatte als Verteilerboden um eine gleichmäßige Druckbelastung der Membrane durch das Öl zu erreichen.

Bei jedem Druckhub des Kolbens gelangt eine geringe Menge Öl an der Kolbenabdichtung vorbei zurück in das Kurbeltriebwerk. Da sich mit dem Verringern des Ölinventars der Wirkungsgrad laufend verschlechtern würde, muss dieser Ölverlust kontinuierlich ergänzt werden.

Diese Aufgabe übernimmt eine Kompensationspumpe. Diese Ölpumpe (Bild 6) wird direkt von der Kurbelwelle angetrieben und fördert bei jedem Saughub des Kolbens eine geringe Menge Öl in den Raum hinter der Membrane. Da der genaue Ölverlust nicht bekannt ist,

muss die eingebrachte Ölmenge in jedem Fall den Verlust übersteigen. Damit ist der Ölraum hinter der Membrane vor dem Druckhub immer etwas überfüllt.

Das zuviel geförderte Öl muss nun aus dem System entfernt werden. Zu diesem Zweck befindet sich am höchsten Punkt des Ölraumes im Flansch ein Ölüberströmventil. Dieses Ventil schleust das von der Kompensationspumpe zuviel eingebrachte Öl wieder aus und regelt den für die Membranbewegung erforderlichen Öldruck.

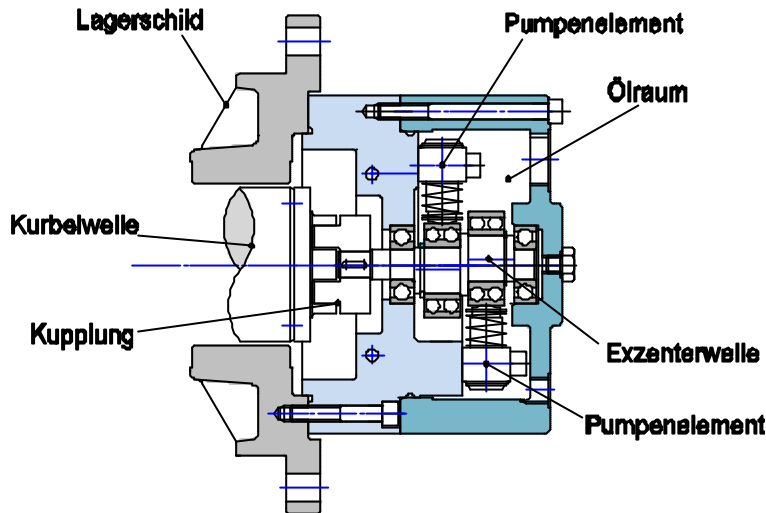


Bild 6: Kompensationspumpe

Arbeitet der Verdichter gegen einen konstanten bzw. nahezu konstanten Enddruck, wird der Öffnungsdruck des Ventils fest über eine vorgespannte Feder eingestellt (Bild 7).

Hier liegt der Öldruck immer ca. 10 % über dem maximalen Gasenddruck der Kompressorstufe.

Ist aufgrund der Verwendung des Verdichters der Enddruck variabel, z.B. wenn ein Druckbehälter aufgefüllt wird, setzt man ein Gasdruckgesteuertes Überströmventil ein (Bild 8). Abhängig vom steigenden Enddruck wird die Ventilfeeder über einen einseitig mit Gasdruck beaufschlagten Kolben vorgespannt und begrenzt damit den Öldruck auf ca. 10 % über den momentanen Gasdruck. Mit dieser Maßnahme wird der Öldruck stetig dem langsam steigenden Gasdruck angepasst und somit die Lebensdauer aller Verdichterbauteile erhöht. Mit dem Gasdruckgesteuerten Überströmventil wird der Verdichter nicht über längere Zeit mit einem unnötig hohen Öldruck betrieben.

Der vorlaufende Kolben hat kurz vor Erreichen des oberen Totpunktes bereits die Membrane am Membrandeckel zum Anliegen gebracht. Das während des restlichen Kolbenhubes von wenigen Millimetern verdrängte Öl strömt nun über dieses Überströmventil zurück in den Ölsumpf. Gleichzeitig wird Luft, welche sich durch Ausgasung des Hydrauliköles am höchsten Punkt angesammelt hat und den Wirkungsgrad des Verdichters beeinträchtigt, mit ausgetragen.

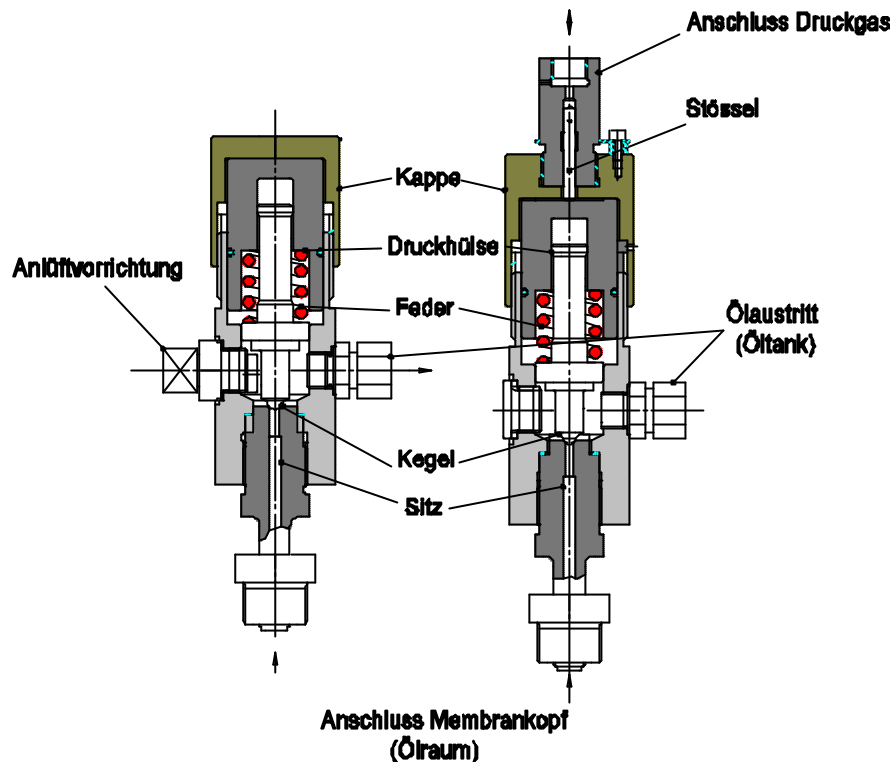


Bild 7: Federbelastetes Überströmventil *Bild 8: Gasdruckgesteuertes Überströmventil*

Das ausgetragene Öl gelangt in einen Beruhigungsbehälter in dem es ausgasen kann. Aus diesem Behälter saugt auch die Kompensationspumpe. Durch diese Anordnung ist gewährleistet, dass das Hydrauliksystem immer optimal gefüllt und der Ötraum immer vollkommen entlüftet ist.

Ab einer bestimmten Membrankopfgröße wird das Hydrauliköl im Membrankopf gekühlt. Mit einer Kühlwasserdurchströmten Rohrschlange wird hier schon ein großer Teil der Verdichtungs- und Reibungswärme abgeführt.

Als Hydraulikmedien werden spezielle Mineralöle verwendet, die gleichzeitig auch als Schmieröl für das Kurbeltriebwerk dienen. An diese Öle werden folgende Forderungen gestellt:

- gute Schmiereigenschaften
- geringe Kompressibilität
- geringe Neigung zum Schäumen
- möglichst hoher Viskositätsindex

Für besondere Anwendungs- und Einsatzfälle müssen aber auch andere Hydraulikmedien eingesetzt werden, z.B. synthetische Spezialöle oder Wasser mit Rostinhibitor (hierbei ist jedoch ein getrennter Triebwerks-Schmierkreislauf erforderlich) für Hochdruck-Sauerstoffverdichter. Die Verwendung dieser speziellen Hydraulikmedien ist eine reine Vorsichtsmaßnahme. Auch in dem höchst unwahrscheinlichen Fall, dass der gesamte Membransatz gleichzeitig zerstört wird und das Hydraulikmedium mit dem Gas in Berührung kommt, wird ein Ausbrennen verhindert.

1.4 Mehrstufige Ausführungen

Für den Fall, dass eine einstufige Verdichtung nicht ausreicht, werden 2 Membranköpfe mit einer Gas-Zwischenkühlung hintereinander geschaltet. Verwendet werden hierfür zweikurbelige Duplex- oder Boxertriebwerke mit Einfachwirkenden Zylinder (Bild 9).

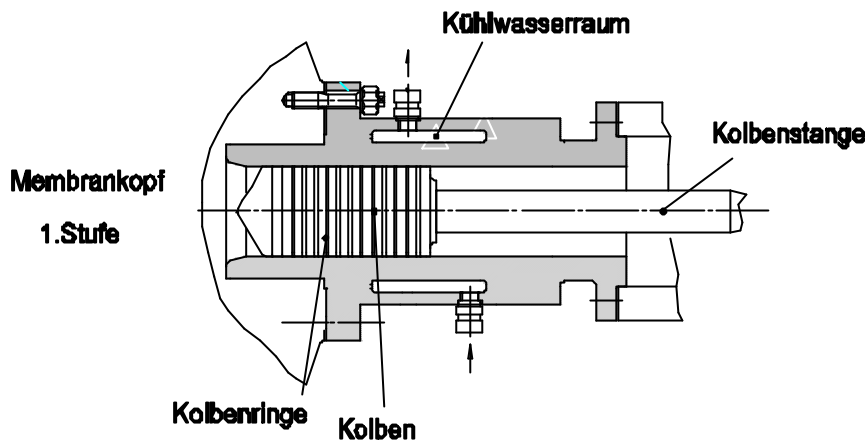


Bild 9: Einfachwirkender Zylinder für ein- und zweistufige Membrankompressoren

Für 3stufige (und 4stufige) Verdichter wird ebenfalls ein Boxer-Kurbeltriebwerk eingesetzt. Hierbei wird der Kolben einer Triebwerksseite (oder beiden Seiten bei 4stufigen Verdichtern) als Stufenkolben ausgebildet (Bild 10). Mit der dabei entstehenden Differenzfläche wird der Hydraulikdruck für den Membrankopf der nächst höheren Stufe erzeugt. Somit führt z.B. beim Druckhub der 2. Stufe die 3. Stufe einen Saughub durch.

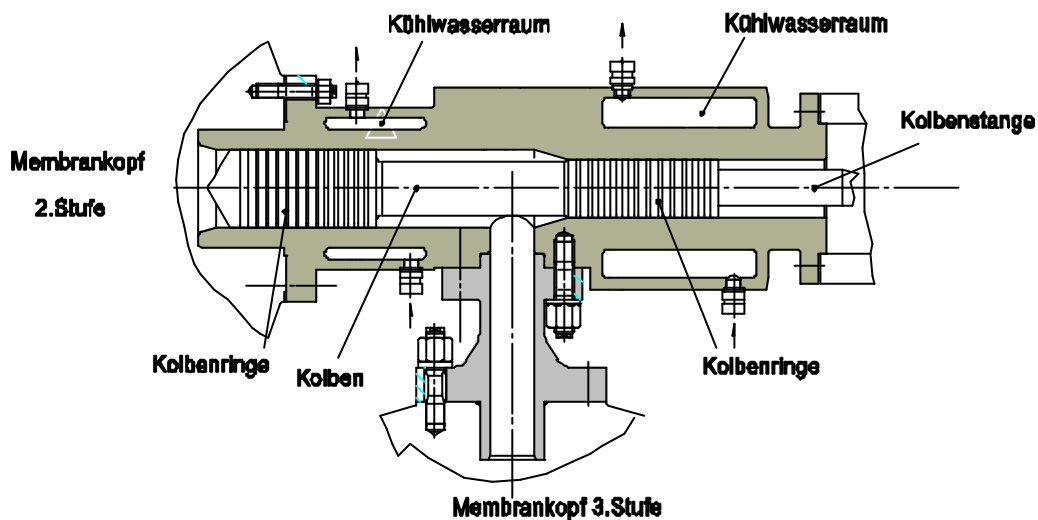


Bild 10: Doppeltwirkender Zylinder für drei- und vierstufige Membrankompressoren

2. Thermodynamik und Auslegung

Die exakte Auslegung des Verdichters garantiert einen hohen Wirkungsgrad, lange Lebensdauer der einzelnen Komponenten und damit die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Maschinen.

Um dem geforderten Einsatzfall gerecht zu werden ist es notwendig, den Verdichter speziell auf die vom Anwender vorgegebenen Betriebsdaten auszulegen. Nur so kann ein Verdichter den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen genügen.

Für die Größenbestimmung des Membranverdichters müssen

- Gasart (und damit die spezifischen Gasdaten)
- gewünschtes bzw. erforderliches Ansaugvolumen
- Saug- bzw. Vordruck
- Enddruck sowie
- Gastemperatur am Saugstutzen

bekannt sein.

Aus obigen Gasdaten wird über die Zustandsgleichung das effektive (auf Saugdruck und -temperatur bezogene) Ansaugvolumen berechnet.

Aus dem Gesamtdruckverhältnis Enddruck/Saugdruck wird die erforderliche Stufenzahl und damit das Stufendruckverhältnis der einzelnen Stufen des Verdichters festgelegt. Bei Membranverdichtern ist, abhängig von der Gasart und -menge, ein Stufendruckverhältnis von bis zu 1:20 möglich (Vergleich Kolbenverdichter: max. 1:6). Das Stufendruckverhältnis wird begrenzt durch die für die Gasart zulässige Gastemperatur am Ende der Verdichtung (maximal jedoch 250°C) und den Schadraum. Da sich die Membrane am Ende des Druckhubes an den Membrandeckel angelegt hat, entsteht hier nur ein sehr kleiner Totraum. Zu berücksichtigen ist bei der Auslegung der Schadraum in den Kompressorventilen und in den Ventilnestern. Aufgrund der guten thermodynamischen Verhältnisse durch die gute Ableitung der Verdichtungswärme über den großflächigen Membrandeckel an die Umgebung, sowie durch die Kühlung des Gases schon während der Verdichtung durch das kühle Hydrauliköl (sehr guter Wärmefluss über den dünnen Membransatz), erfolgt die Verdichtung nahe der idealen Isothermen Verdichtungsline.

Im Bild 11 ist das p,v -Diagramm eines Verdichters dargestellt.

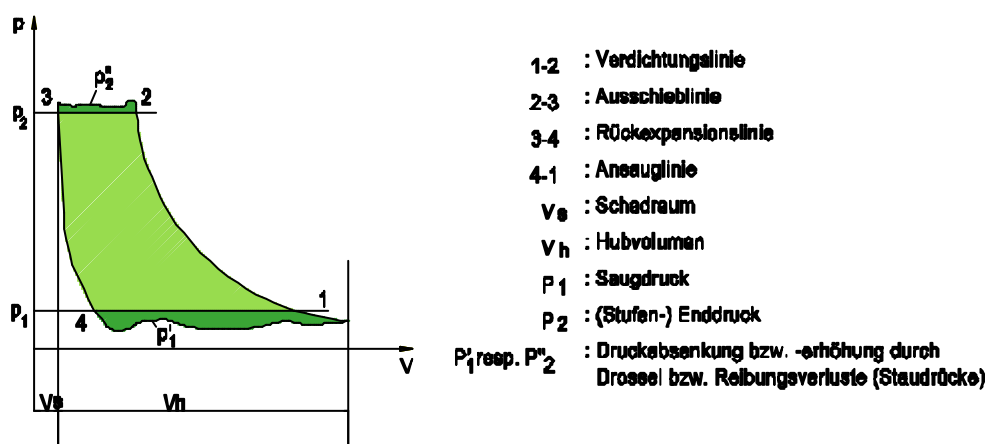


Bild 11: p,v -Diagramm

2.1 Bestimmung der Hauptabmessungen

Das erforderliche Hubvolumen der 1. Stufe des Verdichters hängt ab von

- dem vorgegebenen erforderlichen Ansaugvolumen
- dem vorgegebenen Ansaugdruck
- der vorgegebenen Ansaugtemperatur
- dem für das Gas bzw. Gasgemisch zutreffenden Realgasfaktor
- dem volumetrischen Wirkungsgrad.

Ist eine weitere Verdichterstufe durch das Gesamtdruckverhältnis erforderlich, erfolgt nach der 1. Stufe eine Zwischenkühlung. Falls das Gas kondensierbare Bestandteile enthält, muss auch eine Zwischenabscheidung der Kondensate erfolgen.

Das Hubvolumen der 2. Stufe wird in gleicher Weise, jedoch mit dem Enddruck der 1. Stufe und der errechneten Gastemperatur am Austritt des Zwischenkühlers, bestimmt.

2.2 Wirkungsgrade

Der Wirkungsgrad einer Maschine beschreibt deren Effizienz und damit die Wirtschaftlichkeit [3]. Aufgrund der zuvor beschriebenen Arbeitsweise des Membranverdichters nahe der idealen Verdichtungslinie ist der Wirkungsgrad entsprechend hoch. Abhängig vom Saugdruck und dem zu verdichtenden Medium werden volumetrische Wirkungsgrade zwischen 80 und 85% erreicht (zum Vergleich: Trockenlaufende Kolbenverdichter: 65-75% [1]).

2.2.1 Volumetrischer Wirkungsgrad (Liefergrad)

Der volumetrische Wirkungsgrad ist definiert als effektives Ansaugvolumen/Hubvolumen. Dies ist bedingt durch

- die Rückexpansion des in den schädlichen Räumen verdichteten Gases
- die Unterexpansion des Gases während des Ansaugens
- Verdichtungsdruckerhöhung bzw. Saugdruckerniedrigung infolge von Staudrücken im Druck- bzw. Saugstutzen (Drosselverluste)
- Erwärmung des Gases beim Eintritt in den warmen Membrankopf.

2.2.2 Indizierter isothermer Wirkungsgrad

Mit dem Isothermen Wirkungsgrad werden die Wärme-, Strömungs-, und die unter 2.2.1 angeführten volumetrischen Verluste erfasst, jedoch haben hierbei die Wärmeverluste den größeren Einfluss. Der indizierte Isotherme Wirkungsgrad ist definiert als

$$h_{\text{isi}} = P_{\text{isoterm}} / P_{\text{indiziert}}$$

h_{isi} = indizierter isothermer Wirkungsgrad

P_{isoterm} = für die (ideale) Isotherme Verdichtung erforderliche Leistung

$P_{\text{indiziert}}$ = für die reale Verdichtung erforderliche Leistung

2.2.3 Mechanischer und hydraulischer Wirkungsgrad

Mit diesen Wirkungsgraden werden alle mechanischen und hydraulischen Verluste erfasst. Der hydraulische Wirkungsgrad ist spezifisch für den Membranverdichter und berücksichtigt die Verluste für die pendelnden Ölmassen und die Leckagen über die Kolbenabdichtung.

2.2.4 Effektiver isothermer Wirkungsgrad

Der effektive Isotherme Wirkungsgrad erfasst alle Verluste des Verdichters und kennzeichnet die Gesamtverluste:

$$h_{ise} = h_{isi} * h_{mechanisch} * h_{hydraulisch}$$

Die Güte eines Verdichters wird anhand dieses Wirkungsgrades beurteilt.

3. Membranüberwachung

Bei sauberen, nicht durch Feststoffe verunreinigten Gasen, haben die verwendeten Metallmembranen je nach Betriebsbedingungen Standzeiten von ca. 3000 bis 15000 Stunden. Die höheren Standzeiten werden im Dauerbetrieb (24h) erreicht, die niedrigeren bei Aussetzbetrieb des Verdichters.

Um die Leckfreiheit eines Membranverdichters auch bei Ausfall einer Einzelmembrane zu gewährleisten, ist eine Überwachung dieses Verschleißteiles erforderlich.

Durch die Verbindung der 3-fach Sandwich-Membrane mit einer Membranbruchanzeige ist es ausgeschlossen, dass beim Bruch einer Einzelmembrane Gas in den Hydraulikteil des Verdichters, bzw. Öl in den Gasraum eindringen kann.

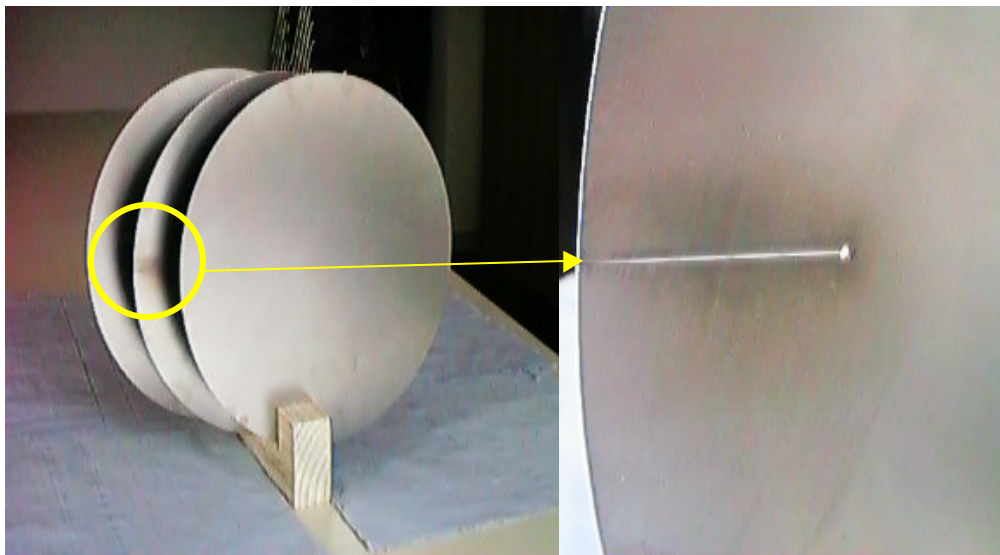


Bild 12: 3fach Membransatz mit geschlitzter Mittelmembran

Die Sandwich-Membrane besteht aus 3 aufeinander liegenden Membranblechen, von denen die mittlere Membran geschlitzt ist (Bild 12). Bricht eine Membran, gas- oder ölseitig, dringt das jeweilige Medium zwischen die gas- und ölseitige Membran ein. Dadurch wird der Raum zwischen den Membranen mit Druck beaufschlagt.

Ein mit diesem Raum verbundener Druckschalter (Bild 13) und/oder ein Kontaktmanometer schalten den Verdichter ab. Damit ist gewährleistet, dass kein Kontakt zwischen Gas und Öl

stattfinden kann bzw. Gas über das nach dem Überströmventil offene Hydrauliksystem an die Atmosphäre gelangen kann.

Da es praktisch unmöglich ist, dass gleichzeitig die gas- und die ölseitige Membrane die Lebensdauergerenze erreichen und zum gleichen Zeitpunkt ausfallen, ist diese Art der Überwachung ausgesprochen zuverlässig. Es ist sogar möglich, den Verdichter mit einer gebrochenen Membrane noch einige Stunden zu betreiben, z.B. um eine Produktionsanlage geordnet abfahren zu können (sofern kein stand-by Verdichter vorhanden ist).

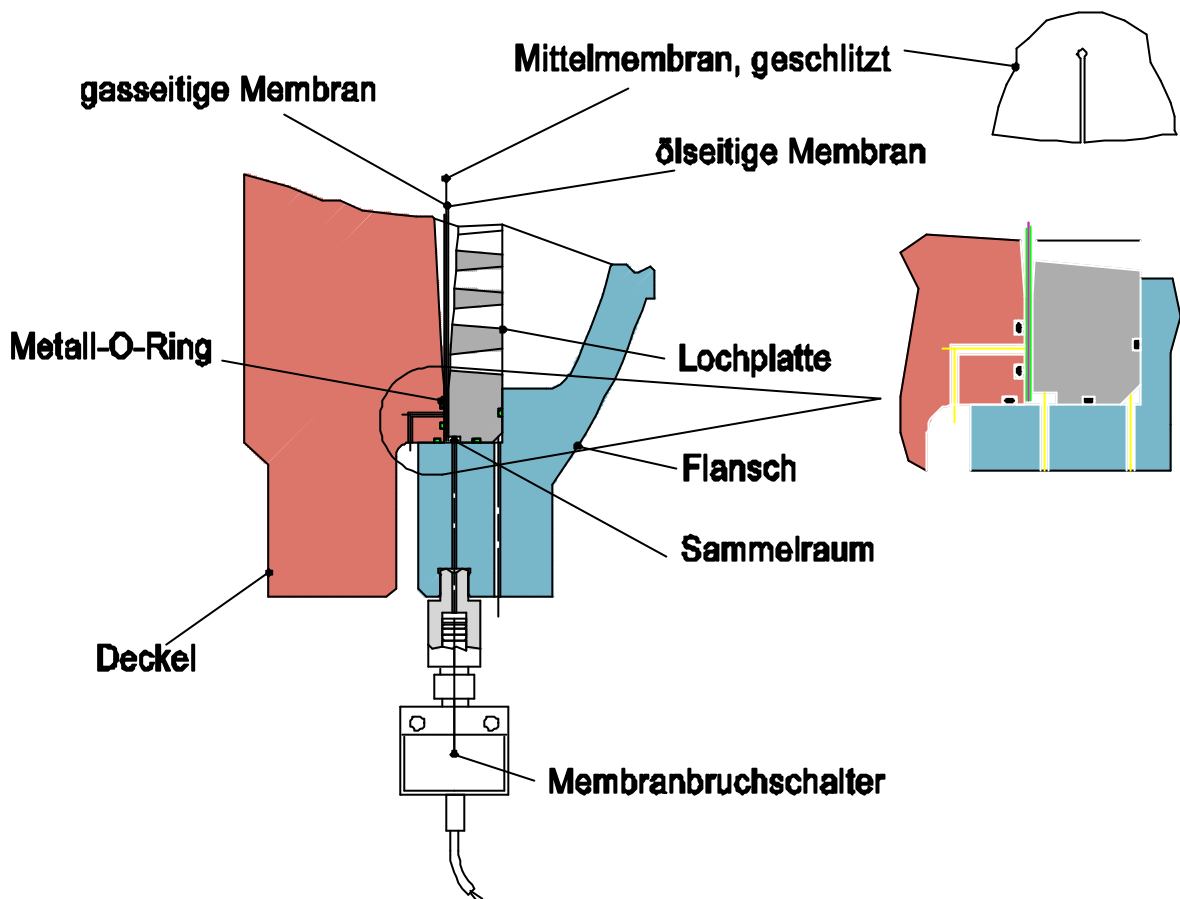


Bild 13: Membranbruchanzeige mit Druckschalter

4. Bauformen

Membranverdichter werden bevorzugt in liegender Bauart ausgeführt. Stehend angeordnete Membranverdichter benötigen zwar weniger Aufstellfläche, haben jedoch den Nachteil der schlechteren Endlüftbarkeit, da das Überströmventil nicht exakt am höchsten Punkt des Hydrauliksystems angebracht werden kann. Weiterhin ergeben sich bei dieser Anordnung Probleme bei der Wartung, da sich der Membrankopf u.U. in 2 m Höhe befindet.

Die Kurbeltriebwerke ermöglichen einen nahezu vollkommenen Ausgleich der freien Massenkräfte. Für die Aufstellung dieser Kompressoren werden keine Fundamente benötigt, eine tragfähige Bodenplatte ist ausreichend.

Die nachfolgenden Fotos zeigen verschiedene Membranverdichterbauformen und –größen (Werkfotos Andreas Hofer GmbH).



Bild 14:
Typ: Membranverdichter
MKZ450-10/280-25
Drehzahl: 460 min⁻¹
Stufen: 2
Medium: hochreiner Wasserstoff
Saugdruck: 10-14 bar abs
Enddruck: 251 bar abs
Fördermenge: 142 m³/h (VN)
Motorleistung: 33 kW
Ausführung: Betriebsfertig

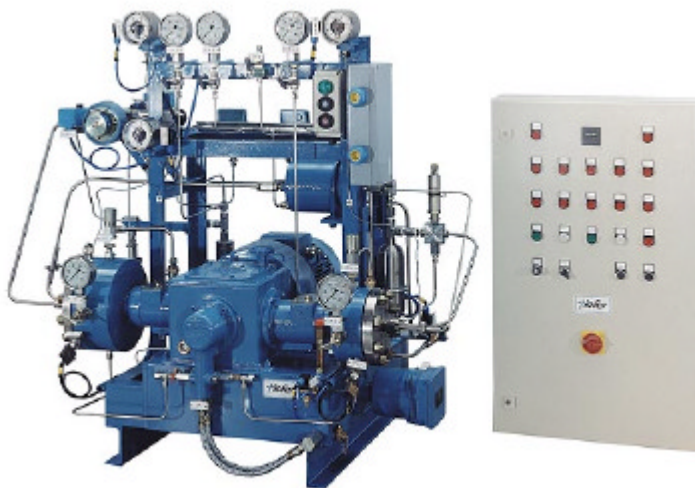


Bild 15:
Typ: Membranverdichter
MKZ185-5/120-15
Drehzahl: 720 min⁻¹
Stufen: 2
Medium: Wasserstoff
Saugdruck: 5 bar abs
Enddruck: 151 bar abs
Fördermenge: 5,5 m³/h (VN)
Motorleistung: 2,6 kW
Ausführung: Betriebsfertig

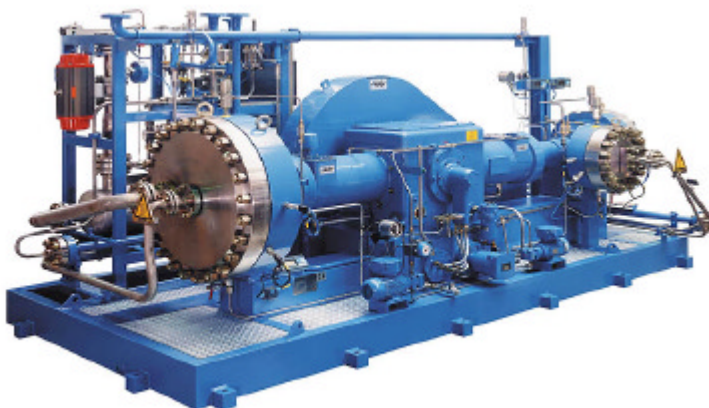


Bild 16:
Typ: Membranverdichter
MKZ800-5/470-10/315-25
Drehzahl: 360 min⁻¹
Stufen: 3
Medium: hochreiner Wasserstoff
Saugdruck: 5 bar abs
Enddruck: 201 bar abs
Fördermenge: 250 m³/h (VN)
Motorleistung: 68 kW
Ausführung: Betriebsfertig

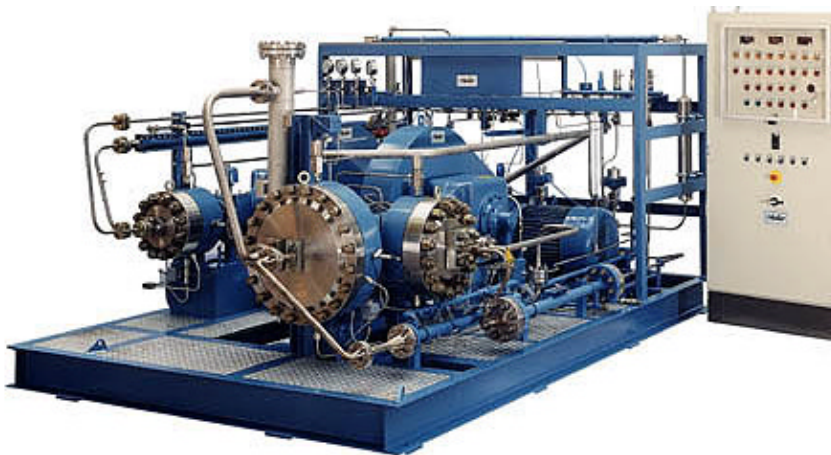


Bild 17:

Typ: Membranverdichter
MKZ560-5/350-25
MKZ200-70

2 Verdichter (Vorverdichter und
Booster) auf einem gemeinsamen
Grundrahmen.

Drehzahl: 380/350 min⁻¹
Stufen: 3
Medium: Argon-Sauerstoff-
gemisch

Saugdruck: 8,3 bar abs
Enddruck: 621 bar abs
Fördermenge: 142 m³/h (VN)
Motorleistung: 44/14,7 kW
Ausführung: Betriebsfertig

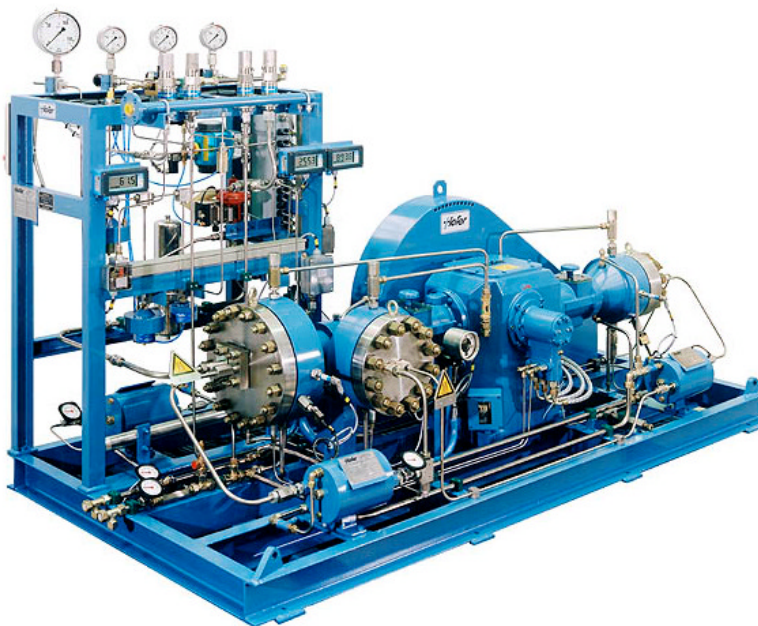


Bild 18:

Typ: Membranverdichter
MKZ280-10/185-25/120-100

Drehzahl: 400 min⁻¹
Stufen: 3
Medium: Wasserstoff

Saugdruck: 8 bar abs
Enddruck: 801 bar abs
Fördermenge: 20 m³/h (VN)
Motorleistung: 11 kW
Ausführung: Betriebsfertig

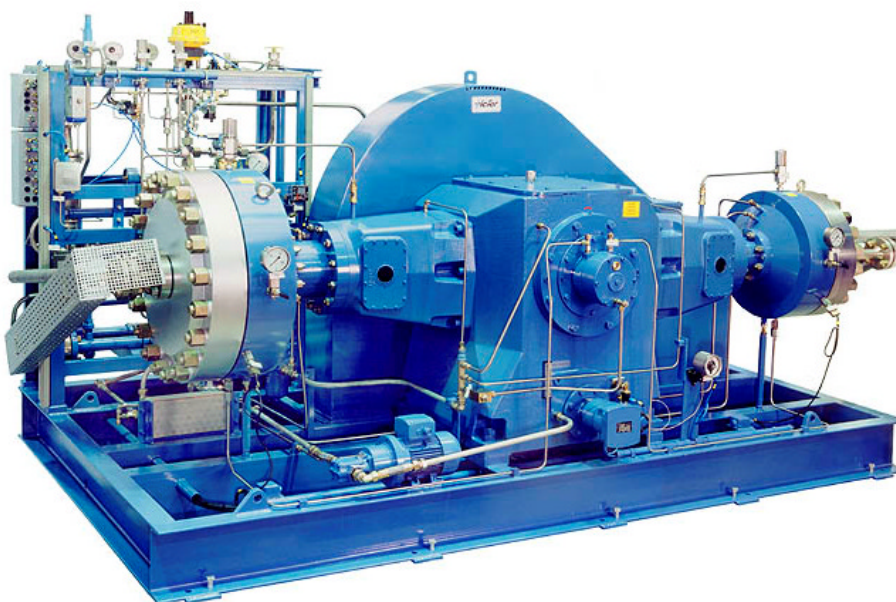


Bild 19:

Typ: Membranverdichter
MKZ680-10/450-40

Drehzahl: 360 min⁻¹
Stufen: 23
Medium: Wasserstoff

Saugdruck: 18 bar abs
Enddruck: 281 bar abs
Fördermenge: 580 m³/h (VN)0
Motorleistung: 135 kW
Ausführung: Betriebsfertig

5. Anwendung und Betrieb

Membranverdichter haben sich aufgrund ihrer Vorteile einen festen Platz auf allen Gebieten der Gasverdichtung geschaffen. Besonders dort, wo brennbare bzw. explosive, radioaktive, toxische oder Reinstgase verdichtet oder besondere Umweltschutzmaßnahmen getroffen werden müssen, bieten sie gegenüber den klassischen Kolbenverdichtern erhebliche Vorteile. Sie erfüllen die besonderen Anforderungen der Lebensmittel-, Pharma- und Nuklearindustrie.

Für die verschiedenen Anwendungsfälle stehen entsprechende Verdichterkonzeptionen zur Verfügung:

- Basis Verdichter verdichten Gase ein- oder mehrstufig von einem relativ niedrigen Vordruck auf einen höheren Enddruck.
- Zusatzverdichter (Booster) verdichten Gase von einem hohen Vordruck auf einen höheren Enddruck.
- Umfüllverdichter füllen Gase aus einem Behälter in einen anderen. Kennzeichnend hierfür ist der fallende Saugdruck bei gleichzeitig steigendem Enddruck.
- Gasumlaufverdichter stehen unter einem höheren statischen Druck und fördern Gase innerhalb einer Anlage im Kreislauf. Der Differenzdruck zwischen Saug- und Druckstutzen ist meist nicht sehr groß.

5.1 Steuerung

Das An- und Abfahren einer Membranverdichteranlage sollte nach Möglichkeit über eine automatische Steuerung erfolgen. Die Betätigung der zum Verdichter gehörenden Armaturen wie Saug-, Druck-, Entspannungs- und Bypassarmatur (Anfahrbypass) muss in einer bestimmten Reihenfolge in einem festgelegten zeitlichen Ablauf geschehen. Im Hinblick auf die Betriebssicherheit gilt dies besonders für Verdichter in Produktionsanlagen. Im Bild 20 ist ein typisches, vereinfachtes RI-Schema eines 1stufigen Membranverdichters gezeigt.

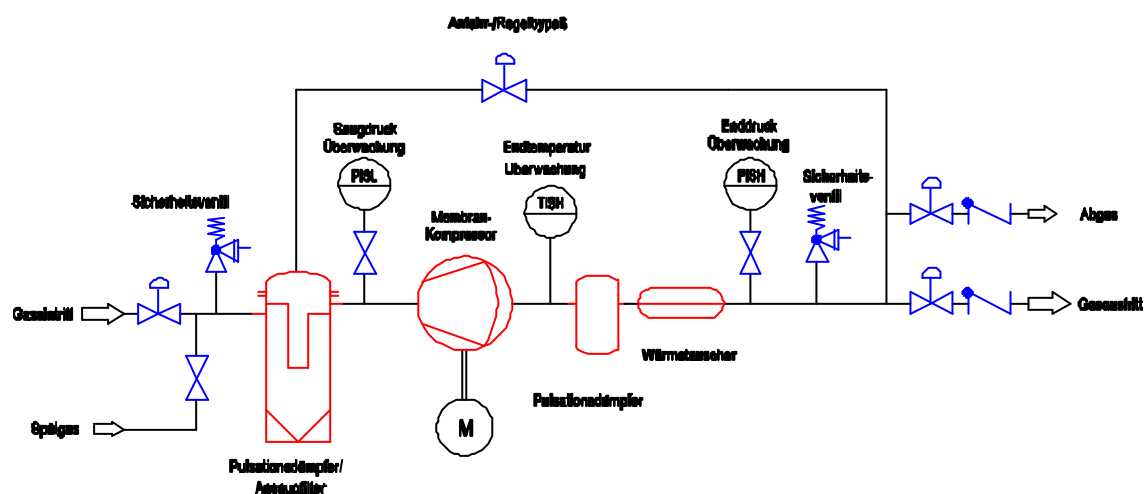


Bild 20: RI-Schema

5.2 Antrieb

Größere Membranverdichter werden fast ausschließlich von elektrischen Asynchronmotoren über einen Riementrieb angetrieben. Das Antriebsrad auf der Kurbelwelle des Verdichters ist als Schwungrad ausgebildet. Kleinere Verdichter können auch direkt an die Motorwelle gekuppelt werden.

5.3 Leistungsregelung

Eine Regelung der Förderleistung kann von Hand oder automatisch nach Sollwertvorgaben über einen drehzahlveränderlichen Antrieb oder über eine Bypass-Regelung vorgenommen werden. Einstufige Membranverdichter können auch über Totraumzuschaltungen in der Fördermenge geregelt werden. Die klassische Verdichterregelung über Ventilabhebungen findet bei Membranverdichtern keine Anwendung.

6. Betriebssicherheit

Wie jeder andere Apparat und jede andere Maschine muss auch der Membranverdichter sorgfältig in das Sicherheitskonzept der Gesamtanlage eingebunden werden. Für die grundsätzlichen Sicherheitsanforderungen ist die europäische Maschinenrichtlinie 98/37/EG, Anhang IIB (diese Richtlinie ist im Bereich der EG Gesetz!) maßgebend. Ein betriebsfertiger Verdichter erhält das CE-Zeichen. Die Übereinstimmung der Konstruktion mit der Maschinenrichtlinie wird mit einer Konformitätserklärung dokumentiert. Wird nur eine „nackte“ Maschine ohne Zubehör und Steuerung geliefert, wird eine Herstellererklärung über den Lieferumfang ausgestellt.

In jedem Fall muss der Anlagenbetreiber oder sein Beauftragter eine Gefahrenanalyse durchführen. In dieser Gefahrenanalyse müssen sämtliche vom dem in die Gesamtanlage eingebundenen Verdichter ausgehenden Gefahren, z.B. durch Störungen am Verdichter selbst, durch Störungen an Vor- und Nachgeschalteten Anlagenteilen oder durch Bedienungsfehler, erfasst werden. Durch geeignete Präventivmaßnahmen sind gefährliche Betriebszustände zu verhindern.

Die für Verdichter geltende Norm DIN EN 1012 und andere technische Regeln, die den „Stand der Technik“ beschreiben, fordern ein Abschalten der Maschine bei kritischen Betriebszuständen. Neben der für den hier beschriebenen Membranverdichter typischen Membranbruchanzeigevorrichtung sind, abhängig vom Gefahrenpotential des Verdichters (hohe Drücke, große Ansaugmengen, gefährliche Fördermedien), weitere Überwachungsgeräte vorzusehen:

- Grenzwertschalter und Anzeiger für Saugdruck und -temperatur
- Grenzwertschalter und Anzeiger für Zwischendruck und -temperatur
- Grenzwertschalter und Anzeiger für Enddruck und -temperatur
- Sicherheitsventile für jede Stufe.

Weitere Überwachungsgeräte wie

- Mangelsicherung für Kühlwasser
- Mangelsicherung für Hydrauliköl
- Differenzdruckmessgeräte für Filter
- Vibrationsüberwachungen

werden häufig vom Kunden bzw. Betreiber als zusätzliche Einrichtungen zur Erhöhung der Betriebssicherheit gefordert.

Im Zuge der Rationalisierungsmaßnahmen in den meisten Unternehmen werden immer häufiger die Verdichter mit vollautomatischen Steuerungen ausgerüstet. Dabei verliert die konventionelle Steuerung über Schütze immer mehr an Bedeutung. Gefordert werden überwiegend Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS). Die SPS ist flexibel und lässt sich über verschiedene Bus-Systeme leicht in ein modernes Prozessleitsystem einbinden.

7. Zusammenfassung

Membranverdichter werden seit Jahrzehnten in der Industrie eingesetzt und erfüllen die gestellten Ansprüche in Bezug auf Betriebssicherheit, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit.

Sie erleichtern bei der Anlagenkonzeption die Erfüllung der Umweltschutzaufgaben und vereinfachen Produktionsprozesse bei denen die Reinheit des zu verdichtenden Gases eine große Rolle spielt und zeichnen sich durch ihre hohe Laufruhe und Wartungsfreundlichkeit aus.

Der Ansaugleistungsbereich beginnt bei wenigen l/h und endet bei mehreren 100 m³/h. Mit Membranverdichtern sind Enddrücke bis 3000 bar erreichbar.

Quellenverzeichnis

- [1] Küttner, Kolbenverdichter, Springer-Verlag 1991
- [2] Baehr, Thermodynamik, Springer-Verlag 1984
- [3] Fröhlich, Kolbenmaschinen, Springer-Verlag 1968
- [4] Werksinterna der Firma Andreas Hofer Hochdrucktechnik GmbH