

[WWW.VACUUBRAND.COM](http://WWW.VACUUBRAND.COM)

## MEMBRANVAKUUMPUMPEN ALS TURBO-VORPUMPEN

Bis zu 40.000 h wartungsfreier  
Betrieb mit Membranpumpen



Vakuumtechnik im System



Abb.1 Membranvakuumpumpe  
MD 4 NT

## 1. ENTSCHEIDUNGSKRITERIEN FÜR TURBO-VORPUMPEN

Turbopumpen werden sehr weit verbreitet für verschiedenste Anwendungen eingesetzt. Abgesehen von Spezialanwendungen und bei großen Saugvermögen kommen immer häufiger Weitbereichs-Turbopumpen mit integrierter Molekularpumpstufe zum Einsatz. Diese verbessert die Vorvakuumbeständigkeit der Turbopumpe bis in den mbar-Bereich, wodurch nicht nur ölgedichtete Drehschieberpumpen, sondern auch Membranvakuumpumpen als Vorpumpen eingesetzt werden können. Diese Kombination ergibt ein sehr leistungsfähiges und insbesondere ölfreies System. Der Wartungsaufwand für eine Membranpumpe ist deutlich geringer als für eine Drehschieberpumpe, da die lästigen Ölwechsel sowie die Entsorgung des Altöls entfallen. Auch die Gefahr des Diffundierens von Öldampf oder sogar eines Ölrückstiegs - beispielsweise in Folge eines Stromausfalls - in die Turbopumpe und die Hochvakuumkammer ist gebannt.

Membranpumpen weisen keine schleifenden Dichtungen auf, im Gegensatz zu Scroll- und Kolbenpumpen. Diese schleifenden Dichtungen (z. B. aus PTFE/Kohle) erzeugen häufig Abrieb, der als Staub in die Turbopumpe und das Hochvakuumsystem zurückwandern und diese verschmutzen kann. Für „saubere“ Anwendungen sind daher Membranpumpen grundsätzlich zu bevorzugen.

Für Anwendungen mit korrosiven Gasen ist eine möglichst universelle chemische Beständigkeit der medienberührten Materialien in der Pumpe erforder-

lich. Membranpumpen arbeiten ölfrei und die medienberührten Teile lassen sich vollständig aus Fluorkunststoffen aufbauen. Diese sogenannten Chemie-Membranpumpen bieten hervorragende und universelle Einsatzmöglichkeiten auch bei aggressiven Medien.

Für die Auswahl einer Turbo-Vorpumpe, speziell einer Membranpumpe, sind u. a. folgende Entscheidungskriterien wichtig:

### ► DAS ENDVAKUUM DER VORPUMPE:

Das Endvakuum der Vorpumpe muss (deutlich) besser als das maximal zulässige Vorvakuum der Turbopumpe sein. Bei kleinen Gasflüssen ist das Endvakuum der Vorpumpe mitentscheidend für das erreichbare Endvakuum des Gesamtsystems.

### ► DAS SAUGVERMÖGEN IN ABHÄNGIGKEIT VOM ANSAUGDRUCK (DIESER ENTSpricht DEM VORVAKUUM AN DER TURBOPUMPE):

Das Saugvermögen gerade bei mittleren und niedrigen Drücken entscheidet sowohl über die Abpumpzeit als auch über die Gasmenge, die vom Pumpsystem im Dauerbetrieb maximal gefördert werden kann. Wenn die Vorpumpe die Gasmenge nicht 'wegschafft', steigt das Vorvakuum an der Turbopumpe an, was zu deren Überlastung und Abschaltung führen kann. Vorteilhaft ist ein möglichst konstant hohes Saugvermögen der Vorpumpe bis zu tiefen Ansaugdrücken.

► **SICHERER ANLAUF UNTER VAKUUM SOWIE VAKUUMDICHTES ABSCHALTEN OHNE RÜCKWÄRTIGE BELÜFTUNG:**

Wichtig für hohe Prozesssicherheit bei kurzzeitigen Stromausfällen: Die Vorpumpe darf sich bei Stillstand nicht von hinten belüften, da dies auch das Hochvakuumsystem fluten würde. Auch muss sie gegen Vakuum starten können. Dieser Aspekt wird von Anwendern häufig unterschätzt.

► **DIE MEMBRANSTANDZEIT:**

Bei Membranpumpen mit fester Drehzahl ist diese meist kürzer als das typische Wartungsintervall der Turbopumpe (typ. 40.000 h). Dies bedeutet, die Membranen müssen häufiger gewechselt werden, als das Wartungsintervall der Turbopumpe vorgibt. Neue Ergebnisse mit Flachmembranen zeigen inzwischen vergleichbare Lebensdauern wie das Wartungsintervall von Turbopumpen, doch dazu unten mehr.

► **KONSTANTE LEISTUNGSDATEN ÜBER DIE MEMBRANSTANDZEIT:**

Viele herkömmliche Membranpumpen tendieren zu einer Verschlechterung des Saugvermögens nach einigen Monaten. Auch das Endvakuum wird dabei häufig schlechter. Dies ist gerade für Turbo-Vorpumpe sehr nachteilig, da dann die Membranen vorzeitig getauscht werden müssen. Dieser Effekt kann durch spezielle Membrankonstruktionen (s.u.) vermieden werden.

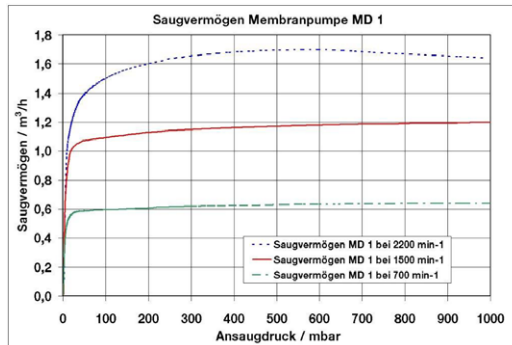


Abb.2 Saugvermögenskurven der VACUUBRAND Membranpumpe MD1

► **ANTRIEBSKONZEPT:**

Eine variable Drehzahl der Pumpe bietet erhebliche Vorteile, da sich bei Membranpumpen das Endvakuum bei niedrigen Drehzahlen verbessert. Dadurch arbeitet die Turbopumpe in einem günstigeren Betriebsbereich. Zugleich verbessert sich bei verringerter Drehzahl die Membranlebensdauer, die Geräuschentwicklung sowie der Leistungsbedarf der Membranpumpe nochmals deutlich.

► **WEITERE KRITERIEN SIND JE NACH ANWENDUNG KOMPAKTHEIT, GERÄUSCH, VIBRATIONEN, EINBAULAGE, CHEMISCHE BESTÄNDIGKEIT.**

**ZUSAMMENFASSUNG**

Moderne Turbopumpen mit integrierter Molekularpumpstufe können mit einem Vorvakuum im mbar-Bereich betrieben werden. Als Vorpumpe können daher vorteilhaft ölfreie Membranvakuumpumpen eingesetzt werden. Große Fortschritte bei der Membrantechnologie durch den Einsatz optimierter Flachmembrane sowie durch elektronisch gesteuerte Antriebssysteme machen Membranpumpen noch kompakter, leistungsfähiger und zuverlässiger. Über fünf Jahre laufende Dauertests an Membranvakuumpumpen mit kontinuierlicher Endvakuum-Messung zeigen Membranlebensdauern von über 40.000 Stunden, und dies bei konstant sehr gutem Endvakuum. Insbesondere bei drehzahleregelten Systemen sind damit Wartungsintervalle ähnlich denen von Turbopumpen mittlerweile realisierbar.

## 2. MEMBRANVAKUUMPUMPEN

Für Saugvermögen bis 10 m<sup>3</sup>/h sind Membranvakuumpumpen weiterhin die wohl am besten geeigneten Turbo-Vorpumpen. Für Anwendungen mit nicht-korrosiven Gasen ist häufig eine sehr „saubere“ Pumpe erforderlich. Damit scheidet ölgedichtete Drehschieberpumpen sowie Abrieberzeugende Typen wie Scroll- oder Kolbenpumpen aus. Für Anwendungen mit korrosiven Gasen kommen grundsätzlich nur Chemie-Membranpumpen in Frage, da sich kein anderer Pumpentyp so universell chemisch beständig aufbauen lässt.

Auch bei Membranpumpen gibt es große Unterschiede im Aufbau. Viele Modelle verwenden herkömmliche Membrane aus spritzgegossenem Elastomer, bei denen die Membran nicht durch äußere Metall- oder Kunststoffteile stabilisiert wird. Im Gegensatz dazu wird bei der etwas aufwendigeren Flachmembran die flache Elastomerscheibe beidseitig durch langzeitstabile Kunststoff- oder Metallteile geführt. **Abb.1** zeigt einen Schnitt durch eine moderne vierzylindrige Membranvakuumpumpe.

Ausgehend vom Pleuel erkennt man die vieleckige Stützscheibe aus Aluminium, die die darüber befindliche flache Membran zusammen mit der Spannscheibe (hier als Kugelkalotte auf der Membran zu erkennen) präzise und langzeitstabil führt. Die Spannscheibe ist bei Chemie-Membranpumpen aus dickwandigem Fluorkunststoff mit Stabilitätskern gefertigt. Die Membran besteht aus gewebeverstärktem FPM, mit medienseitiger PTFE-Folie bei Chemie-Membranpumpen. Die Membran trennt den Schöpfraum hermetisch vom Antriebsraum. Oberhalb der Membran sind der Kopfdeckel (verrippet) sowie die Ventile mit Dichtringen zu erkennen. Bei Chemie-Membranpumpen besteht der Kopfdeckel aus dickwandigem Fluorkunststoff mit Stabilitätskern. Die Ventile bestehen aus FPM bzw. (bei

Chemieausführungen) aus FFKM oder PTFE. Die Gaszu- und abführung erfolgt bei dieser Pumpe durch einen massiven Aluminium-Gehäusedeckel mit Bohrungen. Dadurch wird sehr hohe Gasdichtigkeit gewährleistet. Dank der Flachmembran und deren präzisen Führung ist die Saugvermögenskurve nahe am idealen Verlauf. Als typisches Beispiel ist in **Abb.2** das Saugvermögen der ähnlich aufgebauten Membranpumpe MD 1 für verschiedene Motordrehzahlen dargestellt.

Man erkennt den hervorragend konstanten Saugvermögensverlauf bei allen Drehzahlen bis zu tiefen Ansaugdrücken. Viele Membranpumpen mit herkömmlicher, spritzgegossener Membran weisen dagegen eine Saugvermögenskurve mit „Durchhänger“ auf: Bei ähnlichem maximalem Saugvermögen und Endvakuum (also vergleichbaren „Katalogwerten“) bieten sie nur einen Bruchteil des Saugvermögens im mittleren und unteren Druckbereich, sind also deutlich weniger leistungsfähig bezüglich Abpumpzeit und Gasfördervermögen.

### SUMMARY

#### *Diaphragm Vacuum Pumps for Backing Turbo Pumps*

*State-of-the-art turbo pumps with integrated molecular drag stage can be operated with forevacuum levels in the mbar range. Therefore oilfree diaphragm vacuum pumps can be used for backing. Advances of diaphragm technology and electronic drives for speed variable operation make diaphragm pumps even more compact, powerful and reliable. Long term tests running for more than five years indicate a diaphragm lifetime in excess of 40,000 hours and an excellent ultimate vacuum over the full operating time. Especially with variable speed drive systems maintenance intervals similar to turbo molecular pumps are now reachable.*

### 3. MEMBRANVAKUUMPUMPEN IM LANGZEITVERSUCH

Versuche zur Membranlebensdauer sind bei Flachmembranen aufgrund der mittlerweile realisierten Lebensdauern jenseits der 20000 Stunden sehr aufwendig. Für Qualifizierungen von neuen Bauteilen werden meist beschleunigte Alterungstests durchgeführt. Die Membranlebensdauer hängt im wesentlichen von der Zahl der Hübe ab, ist also bei doppelter Drehzahl halbiert. Tatsächlich tritt bei erhöhter Drehzahl sogar überproportionaler Verschleiß auf, da die Membrane deutlich wärmer wird. Auch bei hoher Gaslast ist deutlich erhöhter Verschleiß zu beobachten.

Dauerversuche bei erhöhter Drehzahl und hoher Gaslast ermöglichen somit Vergleiche der Standzeit von Bauteilen innerhalb von etwa einem Jahr, erlauben aber kaum Rückschlüsse auf die Wartungsintervalle unter „normaler“ Belastung. Für die Anwendung als Vorpumpe einer Turbopumpe ist der Betrieb bei Endvakuum der übliche Betriebszustand, da bei vielen Anwendungen nur relativ selten (oft weniger als einmal täglich) von Atmosphäre abgepumpt wird. Die meiste Zeit läuft die Vorpumpe nahe dem Endvakuum.

Für einen zuverlässigen Dauerbetrieb als Vorpumpe ist nicht nur die Membranlebensdauer bis zum Ausfall (Membranriss) wichtig, sondern auch, wie lange die Membranpumpe das von der Turbopumpe benötigte Vorvakuum bereitstellen kann. Gerade hier zeigen herkömmliche, spritzgegossene Membranen Schwächen. Bei einem solchen Dauerversuch ist also auch die Aufzeichnung des Endvakuums interessant.

VACUUBRAND hat vor nunmehr fünf Jahren einen derartigen Dauerversuch mit sechs Membranpumpen MD 1 gestartet. Die Pumpen laufen seitdem mit Nenndrehzahl 1500 min<sup>-1</sup> am Endvakuum. Dabei wird das Endvakuum permanent alle 30s mittels separatem Vakuumsensor an jeder Pumpe gemessen und aufgezeichnet. **Abb. 3** zeigt das Ergebnis dieser Endvakuum-Aufzeichnung.

Die beobachteten Endvakuum-Schwankungen von wenigen 0.1 mbar rühren eher von den Messgeräten und deren Temperaturgang her als von den Pumpen. Alle Pumpen bleiben über den gesamten Zeitraum von über 40.000 Stunden besser als der spezifizierte Wert einer neuwertigen Pumpe. Keine der 24 Membranen (sechs Pumpen a vier Membranen) fiel innerhalb dieser 43000 Stunden aus.

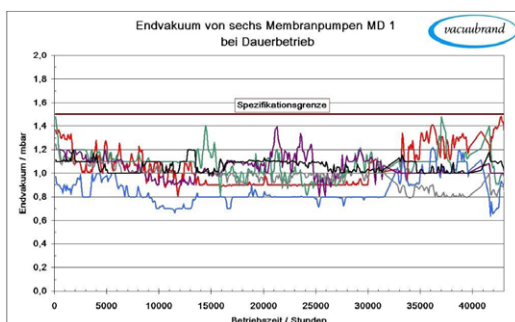


Abb. 3: Endvakuum von sechs VACUUBRAND Membranpumpen MD 1 über fünf Jahre

## 4. ANTRIEBSSYSTEME: LEISTUNGSFÄHIGKEIT UND ENERGIEEFFIZIENZ

Der obige Langzeitversuch wurde mit Pumpen mit 1-Phasen Wechselstrommotor durchgeführt. Die Pumpen laufen daher mit fester Drehzahl ( $\sim 1500 \text{ min}^{-1}$ ) unabhängig vom tatsächlichen Bedarf. Für optimale Leistungsfähigkeit und Energieeffizienz sind drehzahlvariable Antriebssysteme vorteilhafter, da bei diesen die aktuelle Drehzahl an den echten Bedarf angepasst werden kann. Dies erfolgt entweder durch ein externes Stellsignal, welches vom Gesamtsystem erzeugt wird, oder durch einen Vakuum-Controller, der die Drehzahl in Abhängigkeit vom Vorvakuum einstellt. Durch eine Drehzahlabenkung werden nicht nur die Vibrationen, das Geräusch und die Leistungsaufnahme verbessert, sondern auch das Endvakuum. Darüber hinaus verlängert sich natürlich auch die Standzeit der Membranen und Ventile. Bei Dauerbetrieb mit einer Drehzahl von  $700 \text{ min}^{-1}$  sowie gelegentlichem Abpumpen mit  $2200 \text{ min}^{-1}$  von Atmosphäre auf Endvakuum kann von einer verdoppelten Membranstandzeit (und damit Wartungsintervall) ausgegangen werden. In Anbetracht der obigen Ergebnisse kann in diesem Fall von einem praktisch wartungsfreien Vorpumpensystem gesprochen werden.

Beispielsweise ist die oben erwähnte MD 1 sowohl mit einem herkömmlichen Wechselstrom-Asynchronmotor (Abb.4, links), als auch mit einem drehzahlvariablen, elektronisch kommutierten (bürstenlosen) 24V-Gleichstrommotor erhältlich (Abb. 4, rechts).



Abb.4 MD 1 in Wechselstrom- und 24V-Gleichstromausführung

Selbstverständlich erlauben beide Motortypen den problemlosen Start der Pumpe auch gegen Vakuum.

Der Wechselstrom-Asynchronmotor kann als Weitspannungsvariante ausgeführt werden, so dass eine Pumpe alle weltweiten Netzspannungen abdeckt. Zugleich ist die Pumpe außerordentlich leise, kompakt und preisgünstig.

Der 24V-Gleichstromantrieb ist bürstenlos und daher wartungsfrei. Er ist nochmals deutlich kompakter als der Wechselstrommotor und erlaubt einen drehzahlvariablen Betrieb von 200 bis  $2200 \text{ min}^{-1}$ . Die Drehzahl kann durch digitale oder analoge Signale z. B. von der angeschlossenen Apparatur stufenlos gesteuert oder von Hand eingestellt werden. Das patentierte Anlaufsystem reduziert den Strombedarf bei Start der Pumpe gegen Vakuum erheblich, so dass auf ein übergroßes 24V DC -Netzteil verzichtet werden kann.

Durch die patentierte Bauweise beider Pumpen mit „fliegendem“ Motor werden die radialen Kräfte dort aufgefangen, wo sie anfallen - nahe an den Membranen. So wird eine statische Überbestimmung der Lagerung (nur zwei statt drei Lager) vermieden und eine sehr kompakte Bauweise ermöglicht. Zudem ist die Steuerelektronik der 24V DC -Pumpe voll integriert. Diese im wahrsten Sinne „mechatronische“ Lösung gestattet einen unübertroffenen kompakten Aufbau der Pumpe (mit Abmessungen etwa so groß wie ein DIN A5 Blatt) in Verbindung mit sehr hohem Saugvermögen.

In **Abb.2** ist das Saugvermögen dieser Pumpe bei verschiedenen Drehzahlen dargestellt. Es erreicht bis zu  $1.7 \text{ m}^3/\text{h}$  bei  $2200 \text{ min}^{-1}$ . Bei  $700 \text{ min}^{-1}$  wird ein Endvakuum von 1 mbar erreicht. Diese Steigerung der Leistungsdaten gegenüber der Wechselstromvariante



*Abb.5  
VACUUBRAND  
Membranpumpe  
MV 2 NT VARIO,  
Endvakuum  
0.3 mbar*

(bei 1500 min<sup>-1</sup>: 1.2 m<sup>3</sup>/h Saugvermögen und 1.5 mbar Endvakuum) wird durch die Drehzahlvariabilität erzielt. In der Anwendung spiegelt sich dies in kürzeren Abpumpzeiten sowie besserem Endvakuum des Gesamtsystems wieder.

Auch größere Membranpumpen sind mittlerweile mit 24V-Gleichstromantrieben erhältlich (VACUUBRAND VARIO®-Sp = VARIO®-Systempumpe). Diese sind ideal für die Integration in kompakte Systeme, besonders bei vorhandener 24V DC -Versorgung. Alle diese Pumpen zeichnen sich durch niedriges Laufgeräusch, geringe Vibrationen und beliebige Einbaulage aus. Besonders interessant für enge Einbausituationen sind 24V DC-Pumpen nicht nur wegen ihrer sehr kompakten Abmessungen, sondern auch aufgrund ihrer hohen Energieeffizienz, die sich in geringerem Stromverbrauch und Abwärme widerspiegelt. Betrachtet man wieder die Membranpumpe MD 1 bei Endvakuum, so nimmt die Wechselstromvariante eine elektrische Leistung von etwa 100 W auf, während die 24 DC-Variante bei Drehzahl 700 min<sup>-1</sup> etwa 24 W benötigt. Da bei Endvakuum praktisch die gesamte aufgenommene elektrische Leistung in Wärme umgesetzt wird, erzeugt die DC-Version also nur ein Viertel der Abwärme, mit entsprechenden Auswirkungen auf den Kühlluftbedarf bei Einbau der Pumpen in Geräte, bei Betrieb in klimatisierter Umgebung, und nicht zuletzt Energiekosten.

Für den Betrieb als eigenständige Einheit werden drehzahlvariable Membranpumpen auch mit Vakuum-Controller mit Vakuumsensor angeboten. Der Vakuum-Controller steuert die Drehzahl der Pumpe automatisch bedarfsgerecht. Zugleich bieten diese Geräte eine präzise Vorvakuumanzeige,

ersparen also ein zusätzliches Messgerät. In **Abb. 5** ist ein solches Komplettsystem bestehend aus drehzahlvariabler Membranpumpe und Vakuum-Controller dargestellt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der etwas aufwendigere Aufbau von Flachmembranpumpen in einer herausragenden Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit auch über sehr lange Betriebszeiten resultiert. Membranpumpen arbeiten ölfrei und erzeugen keinen Abrieb wie Scroll- oder Kolbenpumpen. Die Integration des Antriebs als Bestandteil der Pumpe ergibt bisher unerreichte kompakte Abmessungen und niedriges Gewicht. In Kombination mit drehzahlvariablen Antriebsystemen - wie 24V Gleichstrommotoren oder vollautomatisch selbstoptimierenden Vakuumsystemen - eröffnen sich neue Perspektiven für den Endanwender wie auch den Einbauer solcher Pumpen in Systeme.

### AUTOR



*Jürgen Dirscherl*

*Dr. Jürgen Dirscherl, Dipl. Phys., Jahrgang 1967, 1986-91 Studium der Physik an der Universität Bayreuth und der Ludwig-Maximilians-Universität München. 1992-95 Promotion am Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching, sowie Assistent an der LMU München. 1996- 99 wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Philips Forschungslaboratorien GmbH, Aachen, Projektleiter. Seit 1.9.1999 für die VACUUBRAND GMBH + CO KG tätig und seit 1.9.2000 deren Technischer Leiter.*

[www.vacuubrand.com](http://www.vacuubrand.com)

VACUUBRAND GMBH + CO KG  
Alfred-Zippe-Straße 4  
97877 Wertheim, Germany

T +49 9342 808-5550  
F +49 9342 808-5555  
info@vacuubrand.com

© 2014 VACUUBRAND GMBH + CO KG · 10/2014