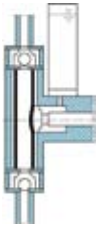




# Pumpen und Kompressoren 2009 mit Druckluft- und Vakuumtechnik

Sonderdruck  
FELUWA Pumpen GmbH aus  
Pumpen und Kompressoren 2009  
mit Druckluft- und Vakuumtechnik  
der Dr. Harnisch Verlags GmbH





## Hermetisch dichte Doppel-Schlauchmembranpumpen für den hydraulischen Transport nicht sedimentationsstabiler Suspensionen

Heinz M. Nägel

Hydraulischer Feststofftransport bezeichnet die Förderung von zwei-phasigen Gemischen, in denen das Wasser (Fluid) den hydraulischen Träger darstellt, der die Feststoffe in der Druckleitung befördert. Kleinere Partikel mit einer Größe bis ca. 100  $\mu\text{m}$  können in Abhängigkeit ihrer Stoffdichte als zweites Trägerfluid betrachtet werden. Sie bewirken eine Reduktion der Sinkgeschwindigkeit des zu transportierenden größeren Solids gegenüber dem Fluid (Wasser). Dabei erfolgt eine Differenzierung in homogene und heterogene Mischungen. Homogene Mischungen weisen eine relativ gleichmäßige Verteilung von Feststoffen und Flüssigkeit auf, so dass auch die Geschwindigkeits- und Volumenkonzentrationsverteilung über dem Rohrquerschnitt relativ gleichmäßig ist. Bei heterogenen Mischungen hingegen liegt eine starke Entmischung vor, weshalb der Anteil an Feststoffen im Gemisch in der oberen Hälfte horizontaler Rohrleitungen viel geringer ist als in der unteren. In der unteren Rohrleitungshälfte ist die Gemischgeschwindigkeit aufgrund der höheren Feststoffanteile gegenüber der oberen Rohrleitungshälfte erheblich geringer.

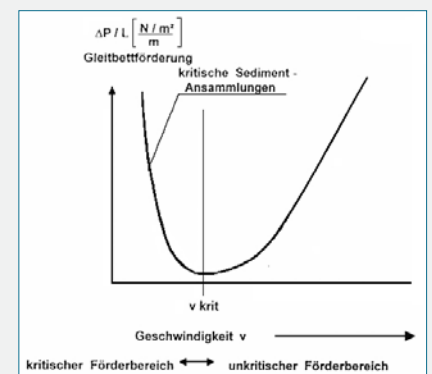
Ein höherer Anteil an feinen Feststoffen (ca.  $\geq 10\%$ ) bedeutet grundsätzlich auch eine Tendenz zu einem nicht-newtonschen Verhalten der Mischung (z.B. Thixotropie). Dabei muss unbedingt die so genannte kritische Geschwindigkeit  $v_{\text{krit}}$  beachtet werden. Eine Unterschreitung der kritischen Strömungsgeschwindigkeit gefährdet die Anlage, führt zu einer unkontrollierten Überschreitung der Druckhöhe und möglicherweise zur Verstopfung der Druck- oder auch der Saugleitung. Man spricht dann von Gleitbettförderung (siehe Abb. 2). Die Strömungsgeschwindigkeit sollte daher immer oberhalb von  $v_{\text{krit}}$  liegen.

Unabhängig davon, ob es sich um die Förderung homogener oder heterogener Mischungen handelt, ist auch in der Prozessindustrie ein positiv verändertes Umweltbewusstsein erkennbar, das sich einerseits in stärkeren Bemühungen um die Vermeidung

Abb. 1: Feststoffproben



Abb. 2: Gleitbettförderung



dung gefährlicher Leckagen und zum anderen in einem höheren Bewusstsein beim Umgang mit Energie ausgedrückt. Vor diesem Hintergrund ist gleichzeitig die Entwicklung zuverlässig dichter Pumpen zu sehen, deren Leistungs- und Anwendungsbereiche sich erheblich ausgeweitet haben und heute ein breites Spektrum von der kleinsten Dosierpumpe bis zur Hochdruck-Prozesspumpe mit enormen Antriebsleistungen abdecken. Zielsetzung der Entwicklungen war jedoch nicht nur die Vermeidung gefährlicher Leckagen, sondern auch die Verringerung der Instandsetzungs- und Entsorgungskosten zur Steigerung der wirtschaftlichen Wertigkeit und der Betriebssicherheit. Für Drücke  $\geq 10$  bar finden in der Regel hydraulisch aktivierte Membranpumpen mit ein- oder mehrlagigen Membranen Verwendung. Die Membrane dient dabei als hermetische Trennung zwischen Fördermedium und Hydraulikraum.

Darüber hinaus besteht bei Sedimentationen im Pumpenkopf oder Saugventil die Gefahr, dass die Flachmembrane überdehnt und sogar durch das druckseitige Förderventil gepresst wird, was unweigerlich zum Bruch der ein- oder mehrlagigen Membranen führt (siehe Abb. 3). Dieser Havariefall

kann auch durch doppelte Anordnung von Flachmembranen nicht verhindert werden, weil beide Membranen fast identischen Spannungen unterliegen und gleichzeitig aufreißen.

### Hermetisch dichte Doppel-Schlauchmembranpumpen

Dem Nachteil herkömmlicher Membranpumpen tritt die Doppel-Schlauchmembranpumpe dadurch wirksam entgegen, dass die Flachmembrane in eine Schlauchmembrane modifiziert wurde. Das Produkt wird dabei geradlinig durch das Schlauchinnere geführt und kommt darüber hinaus nur mit den Förderventilen direkt in Berührung (siehe Abb. 4). Diese neuartige Membranpumpe erfüllt alle Kriterien einer hermetisch dichten, leckfreien, oszillierenden Verdrängerpumpe und bietet darüber hinaus einen glattflächigen und leicht zu reinigenden Arbeitsraum.

#### Wirkungsweise

Im Pumpengetriebe wird die rotierende Antriebsbewegung mit Hilfe eines Kurbeltriebs in eine oszillierende Bewegung des Kreuzkopfes umgewandelt, der mit dem Kolben verbunden ist. Der Kolben bewegt über eine

hydraulische Vorlageflüssigkeit ein Schlauchmembran-Paar, das das Förderfluid geradlinig umschließt und gleichzeitig die hermetische Trennung gegenüber dem hydraulischen Betätigungsfeld darstellt. Für die vom Kolben auf die Schlauchmembrane übertragene Hydraulikflüssigkeit werden in der Regel Hydrauliköle verwendet. Alternativ können jedoch auch andere, dem Medium gegenüber indifferente, inkompressible Flüssigkeiten mit einem physiologisch unbedenklichen Schmierstoff eingesetzt werden. Die aus der Schlauchmembrankontraktion resultierende Verdrängung des inneren Volumens erzeugt die Pumpwirkung.

Anders als bei mechanisch angetriebenen Schlauchpumpen (peristaltischen Pumpen) wird die Schlauchmembrane jedoch nicht zusammengequetscht, sondern macht je Hub lediglich eine geringe, etwa mit einer menschlichen Vene vergleichbare Bewegung. Die weggesteuerte, elastische Verformung der Schlauchmembranen erfolgt konzentrisch und ist stets gleichbleibend. Die Lebensdauer der Schlauchmembranen ist um ein Vielfaches höher als die herkömmlicher Flachmembranen [sehr gute MTBF (mean time between

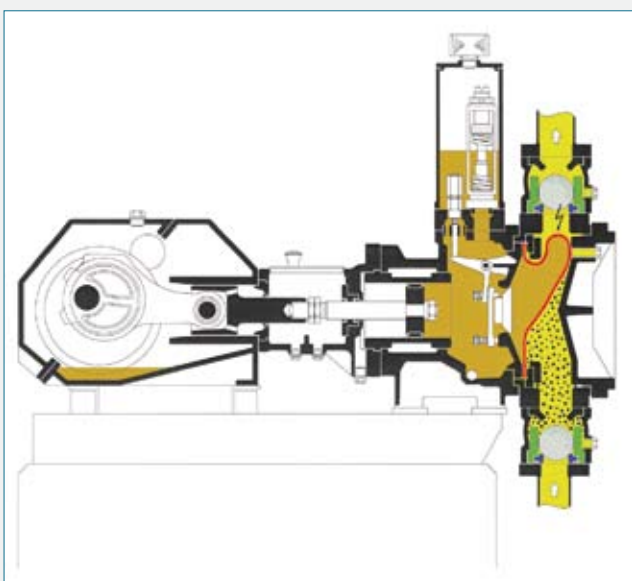


Abb. 3: Membranbruch infolge von Sedimentation

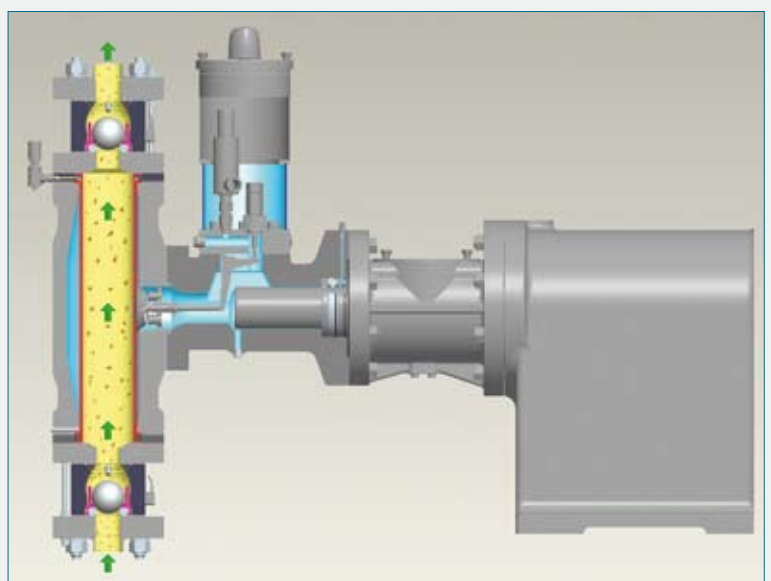


Abb. 4: Doppel-Schlauchmembranpumpe

failure)- und MTBR (mean time between repair)-Werte]. Aufgrund der hydraulischen Abstützung werden die Schlauchmembranen auch bei relativ hohem Betriebsdruck nur einer vernachlässigbar geringen Belastung ausgesetzt. Dabei ist das hydraulische Betätigungssystem durch das Schlauchmembran-Paar vollkommen von der mediumberührten Zone abgegrenzt.

Zur Kompensierung der bei Kolbenpumpen unvermeidbaren Pulsationen stehen Pulsationsdämpfer in Form von herkömmlichen Windkesseln oder speziellen Schlauchmembran-Windkesseln mit hermetischer Trennung des Mediums vom Luftpolster zur Verfügung.

#### Hohe Betriebssicherheit

Einer der wesentlichen Vorteile der Doppel-Schlauchmembranpumpe liegt in dem geradlinigen Durchgang, was sich vor allem bei der Förderung von Suspensionen, viskosen und solchen Flüssigkeiten, die keinen Scherkräften ausgesetzt werden dürfen, Feststoffe enthalten oder abrasiv sind, strömungstechnisch besonders günstig auswirkt. Die Schlauchmembrane mit einem Maximum an geradeaus verlaufenden Flusslinien kann Materialien mit höheren Viskositäten, Schlämme und andere korrosive und erosive Chemikalien in größeren Mengen mit einem Minimum an Verschleiß fördern. Die für Membranpumpen typischen Walkradien im Bereich der Membraneinspannung, in denen sich das Fördermedium absetzen und zu einer vorzeitigen Membranzerstörung führen kann, gibt es bei Schlauchmembranen nicht. Sie sind einerseits so dimensioniert, dass die Walkarbeit im Einspannbereich gegen Null verläuft und andererseits im Mediumbereich kein Walkradius erforderlich ist, so dass auch keine Ablagerungsmöglichkeiten gegeben sind. Konstruktive Vorkehrungen garantieren, dass sich die Schlauchmembranen bei Über- und Unterdruck synchron zum Kolben bewegen.

Die einzigartige Betriebssicherheit der Pumpe wird u. a. dadurch zum Ausdruck gebracht, dass selbst bei Undichtigkeit einer Schlauchmembrane gewährleistet ist, dass das För-

dermedium nicht mit dem Pumpengehäuse in Berührung kommt. Die zweite Schlauchmembrane sorgt vielmehr dafür, dass die Pumpe problemlos noch bis zum nächsten Betriebsstillstand weiterbetrieben werden kann. Leckverluste an Hydraulikflüssigkeit werden automatisch über die entsprechende Ergänzungssteuerung kompensiert.

Bei konventionellen Membran- und Kolbenmembranpumpen hingegen müssen die Werkstoffe für Membranen und das vor allem bei Hochdruckpumpen gewichtsmäßig dominierende Pumpengehäuse unbedingt nach Kriterien der Beständigkeit gegenüber dem Förderfluid ausgewählt werden. Insbesondere bei größeren Pumpen zum Transport von aggressiven und stark korrosiven Medien ist dies mit sehr hohen Fertigungskosten verbunden (siehe Abb. 5).

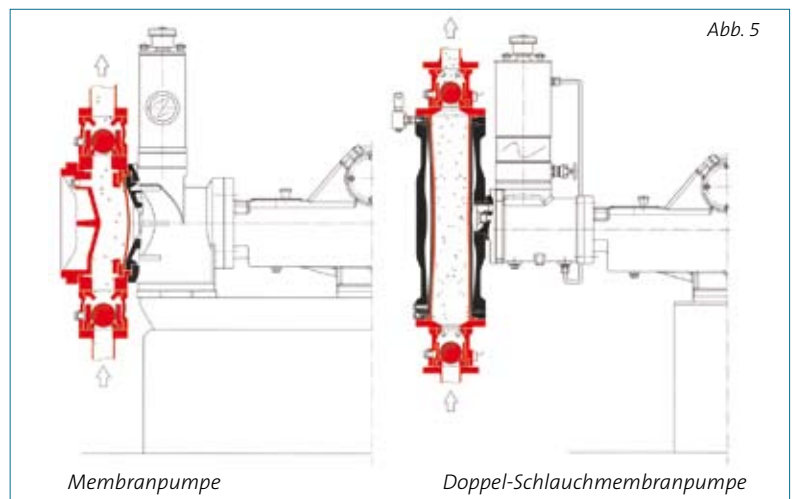
#### Hohe wirtschaftliche Wertigkeit

Die Auswahl der Pumpengehäuse erfolgt bei der Doppel-Schlauchmembranpumpe lediglich in Abhängigkeit der erforderlichen Pumpengröße und des Pumpendruckes, nicht jedoch nach Kriterien der Beständigkeit gegenüber dem Fördermedium. Daraus ergibt sich eine einzigartige wirtschaftliche Wertigkeit.

Schlämme und andere korrosive und/oder erosive Chemikalien mit einem Minimum an Verschleiß fördern. Sie eignen sich daher besonders für den hydraulischen Transport nicht sedimentationsstabiler Suspensionen. Die zylindrische Form der Membrane begünstigt das Fließverhalten und verhindert das Absetzen von Feststoffen.

Um zu gewährleisten, dass sich der Ventilkörper ausreichend (entsprechend der Partikelgröße) von der Dichtfläche abhebt, muss das Gewicht des Ventilkörpers für jeden Fall individuell angepasst werden. Bei zunehmender Ventilgröße steigt das Gewicht von Kugelventilen mit Stahlkugeln beispielsweise in dem Maße an, dass der im Spalt aufgebaute Druck nicht mehr ausreicht, um die Kugel in dem erforderlichen Maße von der Dichtfläche abzuheben. Um dem entgegen zu wirken, werden bei Doppel-Schlauchmembranpumpen u. a. Stahlhohlkugeln eingesetzt. Der Gewichtsunterschied macht dabei die entscheidenden Millimeter aus, wie in Abbildung 6 mathematisch dargestellt. Die bei der Berechnung angenommenen Größen sind beispielhaft. Der höchst mögliche (stabile) Abstand der Kugel zur Dichtfläche ergibt sich dabei aus der Gegen-

Abb. 5: Vergleich der mediumberührten Teile



#### Umkehrförderung verhindert Sedimentationen

Doppel-Schlauchmembranpumpen mit einem Maximum an geradeaus verlaufenden Flusslinien können Materialien mit höheren Viskositäten,

überstellung von Kräften. Zum einen ist die Gewichtskraft der Kugeln bekannt, zum anderen muss die Druckkraft der Strömung berechnet werden. Diese resultiert aus der Druckdifferenz zwischen Ventileinlass und dem Spalt zwischen Kugel und Kugelsitz. Die bei-

Gegebene Daten (beispielhaft):		Berechnungen:	
Gewicht der Vollkugel	$m_{VK} = 10,4 \text{ kg}$	Gewichtskraft der Vollkugel	$F_{G,VK} = 104,3 \text{ N}$
Gewicht der Hohlkugel	$m_{HK} = 5,99 \text{ kg}$	Gewichtskraft der Hohlkugel	$F_{G,HK} = 59,9 \text{ N}$
Eintrittsdurchmesser am Ventileingang (Kugelauflage)	$d_{VE} = 97 \text{ mm}$	Resultierende Hubhöhe	$h_1 = 10 \text{ mm}$ $h_2 = 8 \text{ mm}$
Volumenstrom der Pumpe	$Q_p = 50 \text{ m}^3/\text{h}$	Druckkraft am Spalt	
Dichte des Fördermediums	$\rho_M = 1 \text{ kg/dm}^3$	– Hohlkugel	$F_{Sp1} = 63,7 \text{ N}$
Kugeldurchmesser	$d_K = 137 \text{ mm}$	– Vollkugel	$F_{Sp2} = 106,8 \text{ N}$

Abb. 6: Berechnung der Druckkraft und Hubhöhe an Ventilkugelspalten

**Allgemeine Formel zur Berechnung der Druckkräfte an Ventilkugelspalten:**

$$F_{Sp,x} = \frac{d_{VE}^2 \times \rho_M \times \pi}{8} \left[ \left( \frac{Q_p}{\pi \times d_{VE} \times h} \right)^2 - \left( \frac{4Q_p}{\pi \times d_{VE}^2} \right)^2 \right]$$

(x = Indizes für Voll- oder Hohlkugel)

(siehe Abb. 7, Detail „X“) eingesetzt, die ebenfalls in Kassettenbauweise konzipiert sind und sich durch einen geradlinigen Durchfluss auszeichnen. Rückflussleckagen als Folge von eingeklemmten Feststoffen werden sicher ausgeschlossen.

den Druckkräfte für unterschiedliche Hübe machen deutlich, dass bei geringerem Gewicht der Kugeln ein größerer Spalt möglich ist. Während die Hohlkugel (im Beispiel) bei 8 mm gehalten wird, fällt die Vollkugel auf 6 mm und genau diese 2 mm können den notwendigen Unterschied ausmachen, ein Festklemmen von Partikeln zu verhindern. Durch ungehindertes Ausweichen in alle Richtungen bietet die Kugel die größtmögliche Öffnung und erlaubt den Feststoffen somit eine ungehinderte Durchströmung. Ausfälle und Förderverluste infolge von blockierten Förderventilen werden auf diese Weise effektiv verhindert.

Bei Umkehrventilen kann je nach technisch-physikalischer Anforderung ebenfalls auf verschiedene Schließkörpersysteme zurückgegriffen werden. Dies können sowohl Kugelkalottenkörper mit Federschließung (siehe Detail „X“ zu Abb. 7) als auch Spezialschwimmkugelventile, beispielsweise in Form von Stahl-Hohlkugeln (siehe Detail „Y“ zu Abb. 7) sein. Beide vorgenannten Systeme können groben Feststoffen im Förderstrom ausweichen, wenn sie mit Grobführungen ausgestattet sind.

**Leistungsstärke auch bei extremen Fördertemperaturen**

Auch im Hinblick auf die Fördertemperatur hat das Baukastensystem der Doppel-Schlauchmembranpumpen diverse Optionen zu bieten: Bis 130°C werden in der Regel Elastomer-Schlauchmembranen eingesetzt. Für höhere Temperaturen bis 200° C haben sich PTFE-Mischungen bewährt, die speziell zur Verwendung in Verbindung mit Schlauchmembranpumpen entwickelt wurden. PTFE findet auch dann Verwendung, wenn von dem Fördermedium eine besonders starke chemische Aggressivität ausgeht. Zur

Bei besonders schweren Feststoffen und heterogenen Mischungen wird das traditionelle Förderprinzip im wahrsten Sinne des Wortes auf den Kopf gestellt, d.h. die Förderung erfolgt von oben nach unten (siehe Abb. 7). Unabhängig davon, ob das traditionelle Förderprinzip von unten nach oben oder aber das Umkehrprinzip mit Strömung von oben nach unten angewandt wird, sind bei der Förderung von Flüssigkeiten mit großen Feststoffen spezielle, maßgeschneiderte Förderventile erforderlich. Bei traditioneller Förderung kann den verschiedenen Fördermedien, den Massendurchsätzen und auch dem Sedimentierungsverhalten mit Hilfe von Kugelventilen, Kugelkalottenventilen, federbelasteten Kegelventilen oder Hohlkugelventilen Rechnung getragen werden.

In Fällen kritischer Prozessbedingungen, in denen die kontinuierliche Förderung nicht unterbrochen werden darf, werden Doppelventile

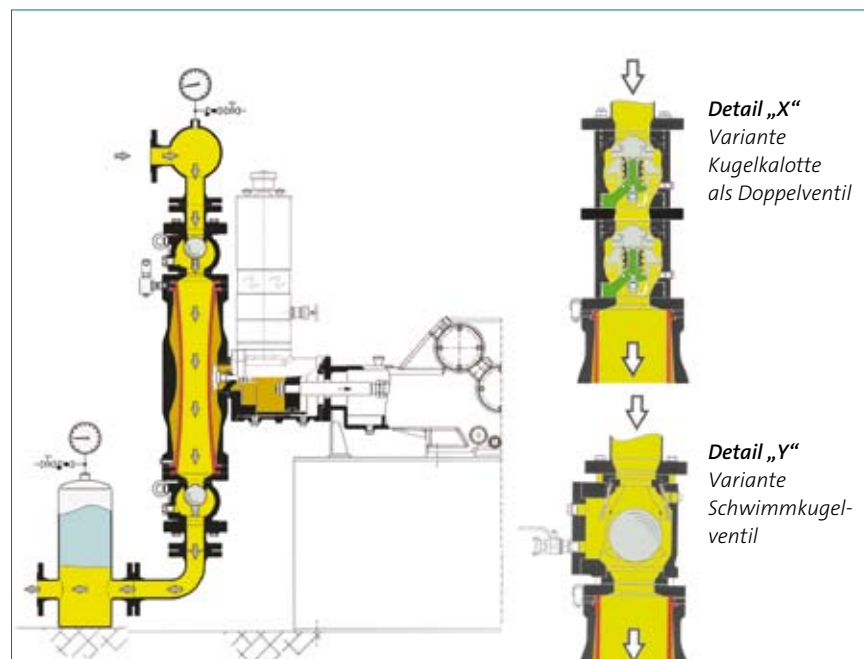


Abb. 7: Umkehr-Förderprinzip

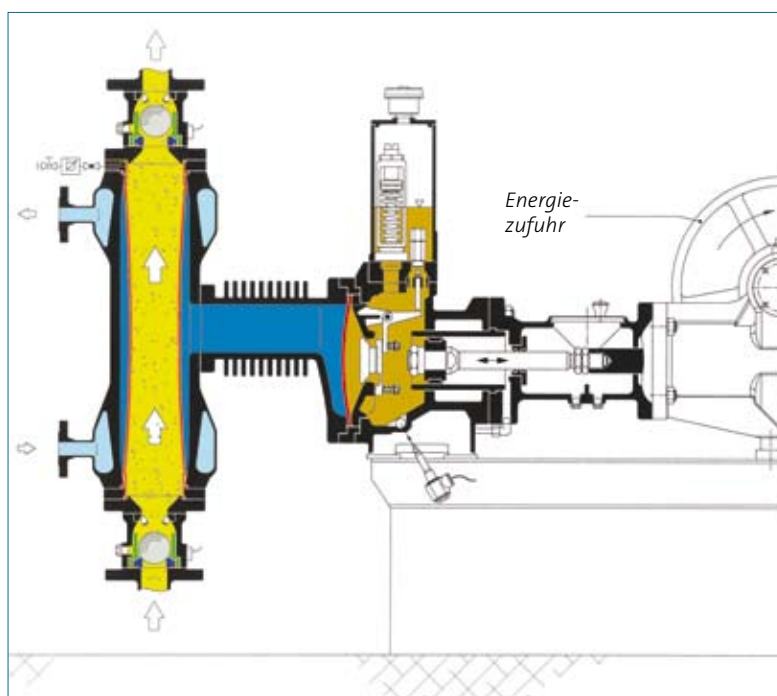
Bewältigung extremer Fördertemperaturen von 200° C und darüber hinaus werden die Pumpen mit einer Konvektorfläche zwischen Flüssigkeits- und Antriebsende ausgestattet. Dieses Zwischenstück trägt zu einer effektiven Wärmeableitung bei. Eine zusätzliche Option bietet die Variante mit doppelt redundanter Membrane, d. h. eine Kombination aus Doppel-Schlauchmembrane und Flachmembrane (siehe Abb. 8).

### Diagnosesysteme zur Früherkennung von Fehlern

Die Doppel-Schlauchmembranpumpe stützt sich auf langjährige Erfahrungen im Bereich oszillierender Verdängerpumpen und die Forderung nach zuverlässiger Wartung ab. Die permanente Zustandsüberwachung ist daher primär auf die rechtzeitige und zuverlässige Erkennung von Leckagen im Bereich der Schlauch-

Übergabestelle mündet, ist konstruktiongemäß drucklos. Falls eine der beiden Schlauchmembranen undicht wird oder bricht, gelangt entweder Medium oder Vorlageflüssigkeit in den Zwischenraum. Der dabei entstehende Druckaufbau wird zwangsläufig zur Schlauchmembran-Zustandsüberwachung geführt. Auf jeden Fall ist eine frühzeitige Warnung sichergestellt, und die Funktionstüchtigkeit bleibt selbst noch bei Leckage einer Schlauchmembrane bis zur Reparatur gewährleistet.

Abb. 8: Doppel-Schlauchmembranpumpe mit zusätzlicher Flachmembrane sowie Konvektionsstrecke und Kühlmantel (optional)



### Saug- und Druckventile in Kassettenbauweise

Zur individuellen Anpassung an die jeweiligen Einsatzbedingungen steht eine Vielzahl unterschiedlicher Kugel-, Kugelkalotten- und Kegelventile mit metallischer und/oder Weichabdichtung zur Auswahl, die auch bei hohem Druck zuverlässig vor den Folgen rückströmender Flüssigkeiten aus Rohrleitungssystemen schützen. Die Spaltverluste sind dank der hohen Verschleißarmut der Ventile auch über längere Anwendungsperioden sehr gering. Alle Ausführungen sind besonders montage- und wartungsfreundlich. Die Kassettenbauweise sorgt dafür, dass die Ventile über Abdrückvorrichtungen ohne vorherige Demontage von Rohrleitungen schnell aus- und wieder eingebaut werden können.

membranen und Förderventile ausgerichtet. Die frühzeitige Detektion auch kleinster Undichtigkeiten verhindert unplanmäßigen Stillstand und bietet dem Betreiber die Möglichkeit, Wartungsarbeiten längerfristig einzuplanen.

### Schlauchmembran-Zustandsüberwachung

Das Herzstück der Pumpe besteht aus einem redundanten Schlauchmembran-System (zwei Schlauchmembranen ineinander). Beide Barrieren sind jedoch auch alleine funktionsfähig. Die Qualität der dem Medium zugewandten Schlauchmembrane wird individuell den Betriebsbedingungen angepasst. Diese ist hydraulisch mit der komplementärseitigen (der Hydraulikflüssigkeit zugewandten) Schlauchmembrane verbunden. Der Zwischenraum, der in eine zentrale

### Verbesserte Energieeffizienz durch Webservice

Das Internet entwickelt sich sukzessiv zu einem umfassenden Medium für den Transport von Daten aller Art. Bis 2015 wird die Zahl der Internetnutzer voraussichtlich auf rund fünf Milliarden anwachsen. Auch die Industrie setzt verstärkt auf den drahtlosen Datenverkehr und profitiert von den daraus resultierenden, neuen Perspektiven.

Ebenfalls unter dem Aspekt einer verbesserten Energieeffizienz und der Vermeidung unplanmäßiger Stillstände wurden zur Früherkennung von Verschleißentwicklung in den Förderventilen spezielle und hierfür maßgeschneiderte Detektoren entwickelt. Das Messprinzip basiert auf der Körperschallanalyse der Förderventile und erkennt Leckagen zwischen Ventilsitz und Kugel/Kegel bereits zu einem Zeitpunkt, wenn der Fördermengenverlust noch < 1,5% liegt. Dank der Ventilüberwachung müssen bei einer Triplexpumpe mit sechs Ventilen beispielsweise nicht mehr alle Ventile demontiert werden, um das tatsächlich Beschädigte zu bestimmen. Ein Valve Performance Monitoring System gibt zuverlässig Auskunft darüber, welches der Ventile undicht ist und gegebenenfalls ausgetauscht werden muss. Die Information wird über einen potentialfreien Kontakt weitergeleitet und bietet dem Betreiber dadurch die Möglichkeit der prädiktiven Wartung und einer exakten Bestimmung der MTBR-Werte. Wartungskosten können erheblich reduziert werden.

Mit der Weiterentwicklung der Diagnosesysteme und der Verwendung von Touch Panels bietet sich



Abb. 9



Abb. 10

dem Kunden bereits jetzt die als HMI (Human Machine Interface) bekannte Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine mit vollständiger Integration der Pumpendiagnose in Industrielleitsysteme. Die in den Schaltschrank integrierten Touch Panels geben dem Betreiber Aufschluss über die aktuellen Betriebsdaten und Messwerte, wie z.B. Hubzahl, Saugdruck, Druckschwankungen, Temperatur von Hydraulik- und Getriebeöl oder den Zustand von Schlauchmembranen und Förderventilen sowie daraus resultierende eventuelle Mengen- und Wirkungsgradverluste und leisten damit einen beachtlichen Beitrag zur Reduzierung der Energiekosten. Touch Panels bieten darüber hinaus eine opti-

male Ausgangsbasis für Web-Service, der in vielen Fällen einen Service vor Ort erübrigt.

Fördern mehrere Drillingspumpen in die gleiche Druckleitung, sorgt eine Inkremental-Überwachung der Frequenzumformer für die Vermeidung von Rohrleitungsschwingungen (siehe Abb. 9).

#### Zusammenfassung

Mit einer pulsierenden Vene als Verdrängungsorgan verkörpert die Doppel-Schlauchmembranpumpe (siehe Abb. 10) Bionik im Pumpenbau und gewährleistet einen schonenden, geradlinigen Durchfluss des Förderfluids ohne Umlenkungen. Doppel-

Schlauchmembranpumpen werden nach einem Modulkonzept mit verschiedenen Triebwerksgrößen in Simplex-, Duplex-, Triplex-, Quadruplex- und Sextuplex-Ausführung gebaut. Mit einer Förderkapazität von 0,1 bis 600 m<sup>3</sup>/h bei Drücken bis max. 320 bar gewährleisten sie auch unter extremen Förderbedingungen einen sicheren Betrieb mit Schutz gegen Überdruck und ungünstige Saugverhältnisse.

Abb. 9: Doppel-Schlauchmembranpumpen mit inkremental überwachten Frequenzumformern und Touch Panel

Abb. 10: Doppel-Schlauchmembranpumpe auf dem Prüfstand

Autor:  
Heinz M. Nägel,  
Geschäftsführer der  
FELUWA Pumpen GmbH,  
Mürtenbach



FELUWA Pumpen GmbH  
Beulertweg  
D-54570 Mürtenbach  
Fon +49 (0)6594/10-0  
Fax +49 (0)6594/1640  
E-Mail info@feluwa.de  
www.feluwa.com



# HERZ.ARBEIT WELT.WEIT

BIONIK IM PUMPENBAU

Wie eine pulsierende Vene funktioniert die **MULTISAFE Doppel-Schlauchmembranpumpe** mit zwei ineinander angeordneten Schlauchmembranen und gewährleistet einen schonenden, geradlinigen Durchfluss des Mediums - sicher und umweltfreundlich.



PREISTRÄGER  
Großer Preis des  
MITTELSTANDES

Oskar-Patzelt-Stiftung

**Innovative Pumpentechnik:** 100% sicher gegen Überdruck, Vakuum und ungünstige Saugverhältnisse. **Höchste Betriebssicherheit:** Bei Undichtigkeit einer Schlauchmembrane sichert die zweite die Funktionstüchtigkeit bis zur Reparatur. **Einzigartiges Diagnosesystem:** gewährleistet beispielsweise die ständige Überwachung von Förderventilen und Schlauchmembranen.