

# Leistungsstarke Multiphasenpumpen für die steigende Öl- und Gasförderung im Golf von Mexiko

Jörg Narewski, Sven Olson, Hans Jürgen Schöner, Dr. Michael Radke

## Zusammenfassung

In den vergangenen zwei Jahrzehnten erfuhren die Multiphasenpumpen wachsende Akzeptanz. Insbesondere zweispindelige Multiphasenpumpen, die eine große Bandbreite an Fördermengen und Drücken abdecken, fanden vielfach bei älteren und fast ausbeuteten Ölfeldern, aber auch bei jüngeren Funden mit hohem Gasgehalt ihren Einsatz. Durch die niedrigen Installationskosten in Verbindung mit geringem Platzbedarf sind die zweispindeligen Multiphasenpumpen besonders für die Installation auf Offshore-Plattformen geeignet.

## Einführung

Seit den ersten Funden und der Ausbeutung ergiebiger Ölquellen Mitte des 19. Jahrhunderts, waren Öl und Erdgas eine elementare Grundlage für die modernen industriellen Entwicklungen. Als Ausgangsmaterial für die chemische Industrie oder als Quelle für die Erzeugung elektrischer Energie und Brennstoff für die dramatisch zunehmende Motorisierung haben Öl und Gas erheblich zu steigendem Wohlstand in vielen Ländern der Welt beigetragen. Der stetige Anstieg der Weltbevölkerung und das industrielle

- Mittlerer Osten
- Süd- u. Zentralamerika
- Europa u. Eurasien
- Afrika
- Nordamerika
- Asien Pazifik

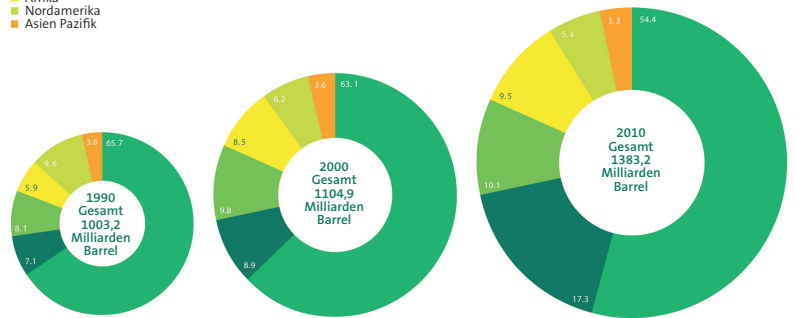


Abb. 2: Verteilung nachgewiesener Erdölreserven in den Jahren 1990, 2000 und 2010 in Prozenten (Grafik: Quelle BP)

Wachstum in den Schwellenländern führen zu einem steigenden Energiebedarf.

Man ist sich jedoch schon seit langem der Tatsache bewusst, dass die Zeiten, in denen Kohlenwasserstoffe leicht verfügbar und preiswert waren, vorbei sind. Die meisten ölproduzierenden Länder der Welt haben vor Jahren ihre Produktionsspitze erreicht und sehen sich jetzt mit zur Neige gehenden Kohlenwasserstoffvorräten konfrontiert, die ihren Bedarf nicht decken. Die größten Energiekonsumenten sind nicht immer große Produzenten. Die erfolgreiche Exploration jedoch verschafft Zugang zu neuen Öl- und Gasfeldern.

2010 stieg die tägliche Weltölproduktion um 1,8 Millionen Barrel/Tag an; das Wachstum war breit angelegt, mit Anstiegen in allen Regionen außer Europa und Eurasien. Außerdem teilte sich das Wachstum weitgehend zwischen OPEC- und nicht OPEC-Ländern auf. Der weltweite Ölverbrauch stieg um 2,7 Millionen Barrel/Tag; alle Regionen zeigten ein überdurchschnittliches Wachstum, wobei asiatisch-pazifische Länder für den Großteil (54%) der weltweiten Verbrauchssteigerung verantwortlich waren. (Grafik: Quelle BP)

Diese neuen Lagerstätten sind jedoch nicht leicht auszubeuten und die Ölgesellschaften sehen sich einer großen Herausforderung gegenüber. Die meisten der weltweit noch verbleibenden Öl- und Gasvorkommen befinden sich in der Nähe des nördlichen Polarkreises, in den Ozeanen in flachen, tiefen oder ultratiefen Gewässern, in Wüsten oder in anderen schwer zugänglichen Gebieten. Viele dieser Gebiete sind nicht oder wenig erschlossen und eine geeignete Infrastruktur muss erst noch geschaffen werden, um die erfolgreiche Exploration und Förderung dieser Öl- und Gasfelder zu ermöglichen. Ein starkes Wachstum an neu entdeckten Öl- und Gasvorkommen gab es in Süd- und Mittelamerika. Insbesondere Mexiko

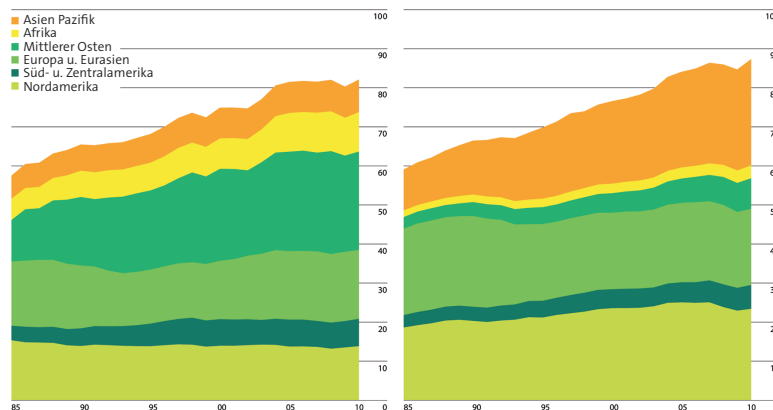


Abb. 1: Produktion nach Region (Millionen Barrel pro Tag) und Verbrauch nach Region (Millionen Barrel pro Tag)

und Brasilien erschlossen Lagerstätten, die ausreichende nationale Reserven für viele Jahre garantieren.

Eine große Zahl der heutigen Ölfelder sind ältere Felder. Im Laufe der Jahre hat der Quelldruck abgenommen und eine künstliche Druckerhöhung durch Gas- oder Wasserinjektion oder ESPs (Electrical Submersible Pumps = Elektrische Tauchpumpen) muss erfolgen, um die Kohlenwasserstoffe an die Oberfläche zu bringen und genügend Druck zu erzeugen, um konventionelle Abscheideanlagen betreiben zu können. Die Verwendung von Multiphasenpumpen mit ihrer Einsatzfähigkeit bei sehr niedrigen Drücken an der Sonde kann die Förderdauer älterer Quellen wirtschaftlich erhöhen.

Viele ölproduzierende Länder haben noch keine ausreichende Infrastruktur geschaffen, um das bei der

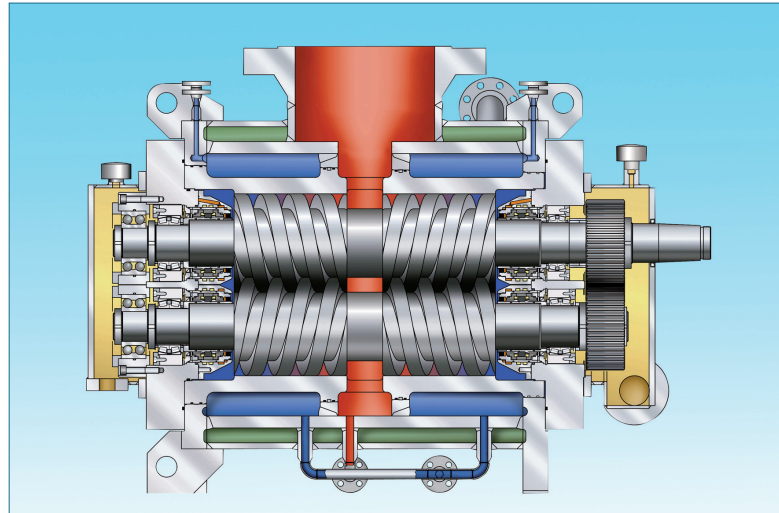


Abb. 4: Schnitzzeichnung einer zweispindeligen Multiphasenpumpe

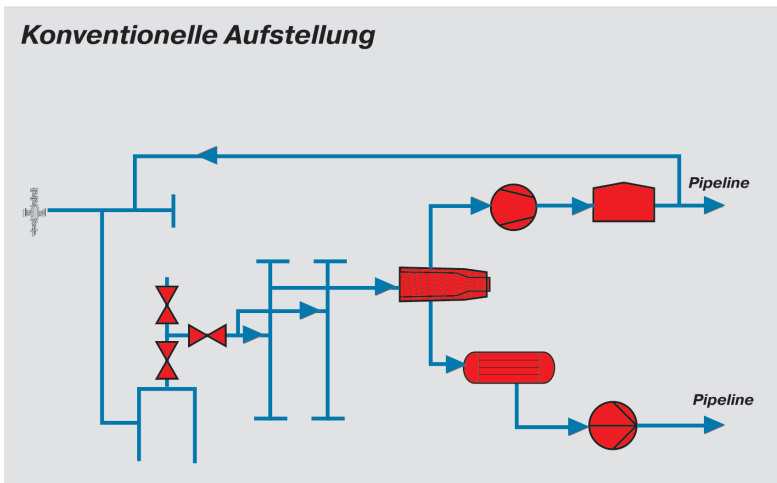
Förderung anfallende Gas als Ausgangsmaterial für chemische Produkte, Treibstoffe, zur Energieerzeugung oder zu Heizzwecken zu nutzen. Dieses Gas wird nach der Trennung

immer noch weitestgehend abgefackelt oder abgeführt und trägt durch die Freisetzung von CO<sub>2</sub>-Emissionen – oder schlimmer noch CH<sub>4</sub> – in die Atmosphäre in hohem Maße zur globalen Erwärmung bei. Die meisten Länder ergreifen gesetzlich vorgeschriebene Maßnahmen, um im Laufe der nächsten Jahre das Abfackeln und die Freisetzung von Gasen zu verbieten. Durch die Weiterleitung der unbehandelten Öl-, Gas- und Wassergemische direkt zu zentralisierten Aufbereitungsanlagen, wo das Erdgas wirtschaftlich aufbereitet wird, tragen Multiphasenpumpen erfolgreich zur Erreichung dieses Ziels bei.

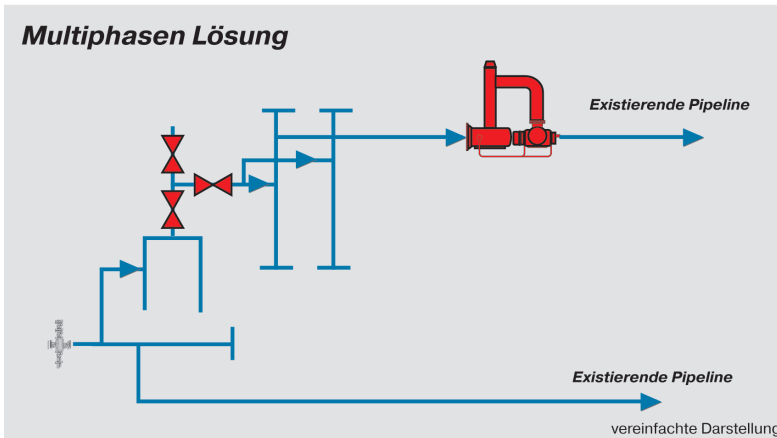
**Die zweispindeligen Schraubenspumpen als Multiphasensystem**

Zweispindeligen Multiphasenpumpen sind selbstansaugende, rotierende Verdrängerpumpen mit doppelflutigem Design. Sie sind hydraulisch entlastet ohne Axiallasten an den Pumpenlagern. Der Förderstrom wird nach Eintritt durch den Saugeinlass der Pumpe zu beiden Seiten geteilt. Innerhalb der Spindelpakete mit gegenläufigen Gewinden erfolgt die Druckerhöhung. Für maximale Steifigkeit sind die Spindeln aus einem einzigen Stück Stabstahl gefertigt, damit unter allen Betriebsbedingungen eine minimale Wellendurchbiegung gewährleistet werden kann. Sie sind in einem austauschbaren Gehäuseeinsatz aus Stahlguss eingebaut. Zum Schutz vor Verschleiß ist die Oberfläche der Spindeln nitriergehärtet. Das Dreh-

**Konventionelle Aufstellung**



**Multiphasen Lösung**



vereinfachte Darstellung

- 2 Phasen Abscheider
- Ausgleichsbehälter
- Kompressor
- Ventil
- Pipeline Pumpe
- Glykol System
- Multiphasenpumpe

Abb. 3: Vergleich zwischen konventionellem Verfahren und Multiphasenpumpen

moment wird über die ölgeschmierte Zahnräder von der Antriebsspindel zur Laufspindel übertragen. Ein externes Schmierölsystem versorgt die lebensdaueroptimierten Hochleistungs-Kegelrollenlager, in denen Antriebspindeln und Laufspindeln gelagert sind, mit gekühltem Schmieröl. Der Lagerabstand ist so klein wie möglich gehalten, um die Wellendurchbiegung zu minimieren.

Es besteht kein Kontakt zwischen den Pumpenspindeln und dem Gehäuseeinsatz. Die Einhaltung eines definierten Spaltes zwischen den Pumpenspindeln und dem Gehäuseeinsatz unter allen Betriebsbedingungen ist ein grundlegendes und wesentliches Konstruktionsmerkmal der zweispindeligen Multiphasenpumpen.

Die Spindelwellen sind mit doppelt wirkenden Gleitringdichtungen mit Dichtflächen aus Siliziumkarbid sowohl produkt- als auch atmosphärenseitig abgedichtet. Ein externes Sperrflüssigkeitssystem entsprechend den Anforderungen des API Plan 54 liefert sauberes und kühles Sperröl zu den Dichtungen. Alle Gleitringdichtungen sind saugseitig an den Pumpen angeordnet und daher nur dem Zuluftdruck ausgesetzt.

### Großes Multiphasen-Fördersystem im Golf von Mexiko

Der Golf von Mexiko ist für die Lieferung von Öl und Gas sowie von Rohmaterial für die petrochemische Industrie in den USA und Mexiko historisch gesehen das wichtigste Gebiet Nordamerikas. Seit Beginn der Offshore-Öl- und Gasförderung in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts, wächst seine Bedeutung durch die jedes Jahr neu entdeckten, größeren Kohlenwasserstoffvorkommen an. Anfänglich wurde entlang den US-amerikanischen und mexikanischen Küsten nur aus Lagerstätten in flachen Gewässern von bis zu 100 m Tiefe gefördert. Die Entwicklung neuer Explorations- und Untersuchungstechnologien machten es möglich, immer tiefer zu gehen. Heute können Vorkommen in einer Wassertiefe von 3000 m wirtschaftlich gefördert werden. Ungeachtet der Meinung, dem Golf würden eines Tages die Kohlenwasserstoff-Vorkom-

men ausgehen, wird tatsächlich mehr Öl und Gas entdeckt und deren wirtschaftliche Förderung dank seismischer 3-D-Untersuchungen, des Richtbohrrens, und dem Einsatz moderner Förder- und Produktionsanlagen auf dem Meeresgrund ermöglicht.

In den Gewässern des mexikanischen Hoheitsgebietes wurden in den letzten 30 Jahren bedeutende Öl- und Gasvorkommen gefunden. Das größte Vorkommen, das in der westlichen Hemisphäre je gefunden wurde, war Cantarel, das erst jüngst seinen ersten Platz an das Pre-Salt Tupi-Feld in Brasilien abtreten musste. Neben Cantarel gibt es weitere bedeutende Felder in flachen Gewässern (bis zu 100 m Tiefe) in Mexiko. Die Förderung des gigantischen Ku-Maloob-Zaap-Feldes begann in den 80er und 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts. Hierbei handelt es sich um einen großen Komplex fester Plattformen in 60–80 Meter tiefem Wasser. Einige Plattformen sind Förderplattformen, während andere mit Verarbeitungs- und Energiegewinnungsanlagen ausgerüstet sind. Auch ein FPSO ist in der Nähe verankert und dient als erweiterte Produktions- und Lagerstätte.

Mit einer API-Dichte von 18 bis 22 handelt es sich meist um Schweröl und erheblichem Gasanteil, welcher mit dem Öl gefördert wird. Das Öl und etwas Gas werden mit Pipelines zur Küste transportiert. Eine große Menge Gas wird zur Energieerzeugung für gasturbinengetriebene Pumpen und Kompressoren sowie zur Verarbei-

tung von Rohöl gebraucht. Bei Produktionsbeginn wurde Wasser injiziert, um den Lagerstättendruck aufrechtzuerhalten. Mit zunehmendem Alter der Lagerstätten wurde dann Gas injiziert. Bei der Gasinjektion wird komprimiertes Erdgas durch den Ringraum der Bohrung und durch ein Gasventil geschickt. Das Gas macht die Ölsäule im Steigrohr leichter und lässt es zur

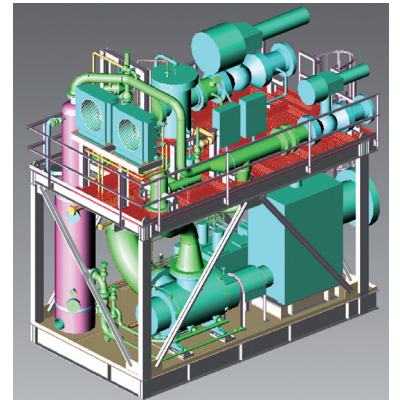


Abb. 6: Fertiggestelltes Multiphasen-Pumpenaggregat in 3D



Abb. 7: Vollständiges Multiphasen-Pumpenaggregat vor dem Versand

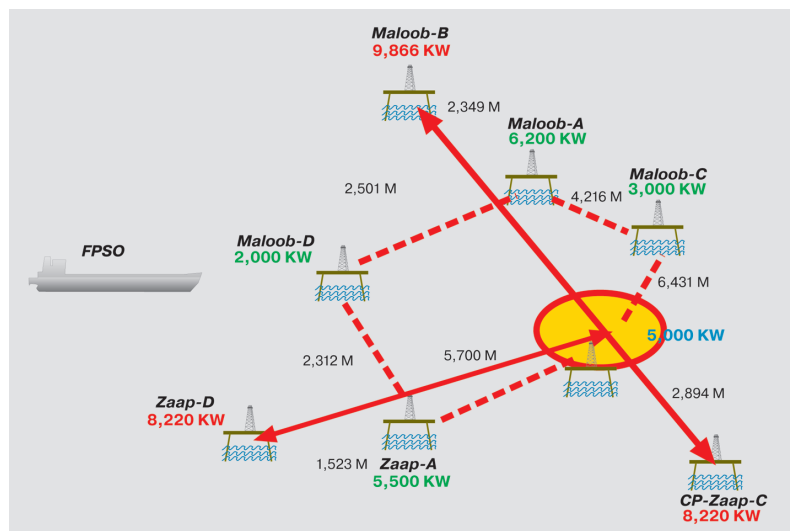


Abb. 5: Plattform-Standorte und Stromverteilung

Oberfläche steigen. Für einen gewissen Zeitraum ist diese Art der Förderung ausreichend, um das Öl an die Oberfläche zu bringen und genügend Druck zu erzeugen, um die Rohrleitungsverluste und den Eingangsdruck der ersten Stufe des Separators zu überwinden.

Mit der Zeit reicht dann die Gasinjektion nicht mehr aus, um das Öl in der Lagerstätte zu fördern und der Druck am Grund der Quelle erreicht einen Punkt, an dem sich das Öl nicht mehr von der Formation zum Bohrloch bewegen kann.

Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es nur noch wenige Möglichkeiten, um die Lagerstätte vor der Stilllegung zu bewahren, und eine von ihnen ist die sich schnell entwickelnde Multiphasenpumpen-Technologie.

Im Fall des Ku-Maloob-Zaap Feldes hat man erwartet, dass die Ergiebigkeit der Lagerstätten sehr schnell nachlässt und in den nächsten paar Jahren ein Punkt erreicht würde, an dem sie aufgegeben werden müssten. Nach langwierigen Untersuchungen wurde von der staatlichen mexikanischen Ölgesellschaft entschieden, drei der Bohrplattformen mit Multiphasenpumpen auszurüsten.

Das Ziel war, die Aufrechterhaltung der Förderung für viele zukünftige Jahre zu ermöglichen, die Stilllegung der Vorkommen zu verzögern und die Gesamtaus-

beute an Kohlenwasserstoffen aus der Formation drastisch zu erhöhen.

Die geplanten Multiphasenpumpen wurden im Detail analysiert. Förderkurven zeigten, dass eine Druckabsenkung an der Mündung der Bohrung von 12 bar einen deutlich positiven Einfluss auf den Druck am Grund des Bohrloches und die Eignung für weiteren kontinuierlichen Betrieb der Lagerstätte hat. Bei diesem niedrigen Druck dehnt sich das Gas stark aus, was bedeutet, dass der Gasanteil (GVF) am Pumpeneinlass bis zu 97% betragen kann. Durch die Gefahr gelegentlich unterbrochener Flüssigkeitsförderung (Öl und Wasser) war es erforderlich, die Pumpen mit einem Rezirkulationssystem auszustatten, um die Pumpe selbst bei längeren Gasblasen ohne Flüssigkeitsanteil jederzeit in Betrieb zu halten. Jede der drei Plattformen verfügt über 24 Förderbohrungen, die in eine gemeinsame Ansaugleitung fördern und an die, je nach Plattformauführung, wiederum fünf oder sechs Multiphasenpumpen angeschlossen sind. Die Pumpen arbeiten parallel und werden von 1900 kW starken, frequenzgeregelten Elektromotoren angetrieben. Die Motordrehzahl regelt die Fördermenge der Pumpen und somit automatisch den Druck in der gemeinsamen Ansaugleitung auf den gewünschten optimalen Saugdruck.

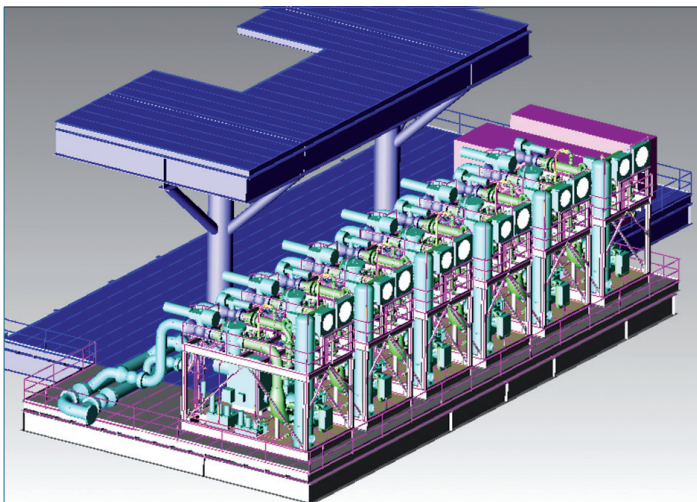


Abb. 8: Anordnung der Multiphasenpumpen auf dem Plattformdeck in 3D

Alle Aggregate einschließlich Steuerungen und Instrumentierung wurden als Module nach Kundenspezifikation gefertigt. Der Aggregateaufbau erfolgte an der US-Golfküste und jedes Pumpenmodul wurde zur Installation vor Ort per Schiff zur Plattform transportiert. Zusätzlich zu den Pumpen (insgesamt 16), wurden drei sogenannte Steuerungscontainer geliefert, die die gesamten Frequenzumwandler, Automation, Schalttechnik und Steuerungen enthalten. Die Container sind klimatisiert, obwohl jede Plattform für unbemannten Betrieb ausgelegt ist.

**Betriebsdaten und Konstruktionsdetails der Pumpen**

Die zweispindeligen Multiphasenpumpen, die an jeder Seite der drei Plattformen installiert sind, sind für folgende Parameter ausgelegt:

	Maloob B	Zaap B	Zaap D
<b>Gesamtfördermenge</b>	19,300 m <sup>3</sup> /h (2,912,700 bpde)	13,500 m <sup>3</sup> /h (2,174,850 bpde)	15,400 m <sup>3</sup> /h (2,325,800 bpde)
<b>Differenzdruck</b>	12 bar (174 psi)	9 bar (130 psi)	12 bar (174 psi)
<b>GVF (Gasanteil)</b>	97 %	97 %	97 %
<b>Anzahl der installierten Pumpen</b>	6	5	5
<b>Motorleistung pro Pumpe</b>	1,866 kW (2,500 HP)	1,493 kW (2,000 HP)	1,866 kW (2,500 HP)

Abb. 9

Das Pumpengehäuse in Schweißkonstruktion ist aus C-Stahl gefertigt, wobei der Saugstutzen seitlich und der Austrittsstutzen auf der Oberseite angebracht sind. Alle Schweißnähte wurden einer ausführlichen Qualitätskontrolle mittels zerstörungsfreier Prüfung unterzogen. Beide Pumpenspindeln sind zur Verschleißminimierung aus nitritgehärtetem C-Stahl gefertigt. Der austauschbare Gehäuseeinsatz ist aus Stahlguss gefertigt.

Die Bauwerkstoffe für alle flüssigkeitsberührten und druckbeaufschlagten Pumpenteile entsprechen den Anforderungen der aktuellen Version des NACE Standards MR 0175.

Alle Pumpen sind mit einem Flüssigkeitsmanagementsystem (Rezirkulationssystem) ausgerüstet. Diese Systeme sind dem Pumpenauslass nachgeschaltet, aber innerhalb der Grenzen des Grundrahmens montiert. Während des Pumpenbetriebs wird

die Flüssigkeit mit einem Mindestabscheidegrad von 97 Prozent kontinuierlich von der Multiphasenströmung abgeschieden. Die abgeschiedene Flüssigkeit wird in einem Behälter des Flüssigkeitsmanagementsystems aufgefangen. Ein Rückführungsvolumen von ca. 3,0 Prozent des tatsächlichen Durchflusses wird vom Flüssigkeitsbehälter kontinuierlich in beide Saugbereiche der Pumpen eingespritzt. Bei einem möglichen Flüssigkeitsabfall im Förderstrom reicht diese injizierte Flüssigkeitsmenge aus, die kontinuierliche Gaskompression sicherzustellen. Die große Oberfläche des Flüssigkeitsbehälters trägt zur raschen Wärmeabfuhr bei und macht zusätzliche Kühlung überflüssig. Das Volumen des Behälters des Flüssigkeitsmanagementsystems ist auf die vom Kunden spezifizierte, maximal zu erwartende Dauer möglicher Gasblasen ausgelegt.

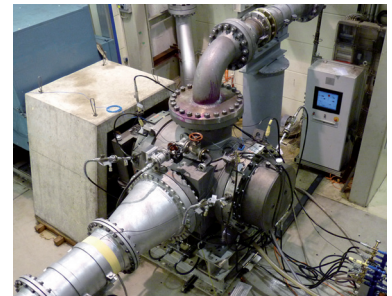


Abb. 11: Multiphasenpumpe im Test

**Die Zukunft**

Nach Fertigstellung und erfolgreicher Inspektion der Aggregate und aller Zubehörteile wurden sie zum Transport zu ihren endgültigen Bestimmungsorten auf den jeweiligen Plattformen auf Schiffe verladen. Die Installation auf den drei Plattformen und die Inbetriebnahme sind für 2012 geplant.

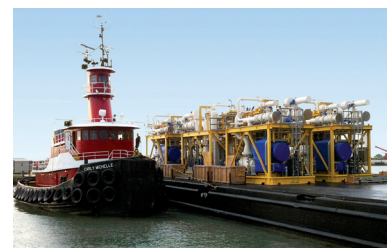
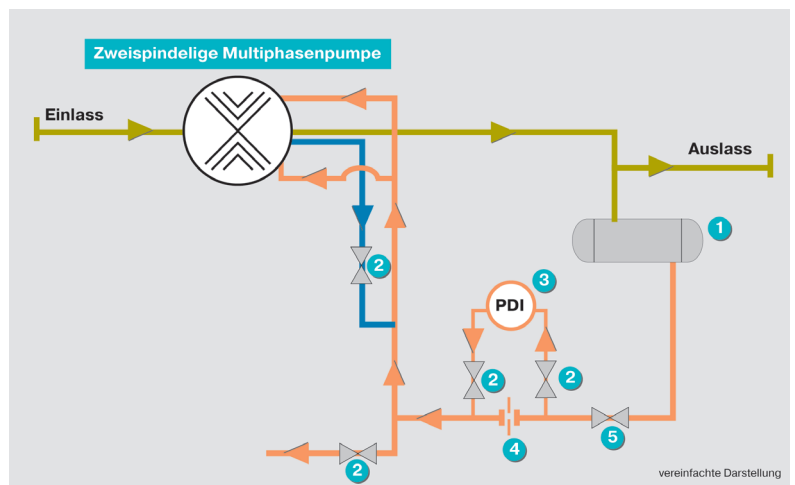


Abb. 12: Auf ein Transportschiff verladene Multiphasenpumpenaggregate und Steuerungscontainer

**Motorgetriebene Multiphasenfördersysteme im Golf von Mexiko**

In den vergangenen Jahren wurden mehrere zweispindelige Multiphasenpumpen auf Offshore-Plattformen

Vor dem Versand wurden die Pumpen einer Druckprobe und einem Werksabnahmetest im Beisein des Kunden unterzogen.



- 1 Flüssigkeitsmanagementsystem
- 2 Absperrventil
- 3 Differenzdruckanzeige
- 4 Blende
- 5 Regelventil

Abb. 10: Rohrleitungs- und Instrumentierungsfließbild des Flüssigkeitsmanagementsystems

im US-Hoheitsgebiet des Golfes von Mexiko installiert. Der fehlende elektrische Strom auf diesen Plattformen machte den Antrieb durch Gasmotoren erforderlich. Ein unabhängiger Betreiber installierte eine zweispindelige Multiphasenpumpe für eine Fördermenge von 880 m<sup>3</sup>/h, einen Differenzdruck von 19 bar und einen GVF von 97%. Der Gasmotor hat eine Nennleistung von 630 kW. Ein Flüssigkeitsmanagementsystem zur Sicherstellung des Betriebs auch bei ausbleibender Flüssigkeit ist ein Bestandteil des Aggregates.

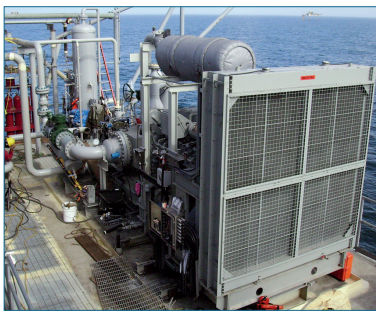


Abb. 13: Zweispindelige Multiphasenpumpe mit 630 kW Gasmotor

Von einem bedeutenden internationalen Betreiber wurde eine große zweispindelige Multiphasenpumpe auf einer anderen Plattform im Golf von Mexiko installiert. Die Pumpe ist für die Förderung einer Mischung aus Öl, Wasser und Gas mit einem GVF von 95% bei einer Fördermenge von 991 m<sup>3</sup>/h und einem Differenzdruck von max. 44 bar für eine zentrale Separationsanlage ausgelegt. Mit dem Flüssigkeitsmanagementsystem und dem 1.500 kW Gasmotor ist dies eines der größten Multiphasen-Pumpenaggregate, das je gebaut wurde.



Abb. 14: Ölförderplattform im Golf von Mexiko

Die Zielsetzungen des Einsatzes der zweispindelligen Multiphasenpumpen gegenüber konventionellen Anlagen bei beiden Anwendungen waren:

- Die Reduzierung des Lagerstätten-druckes zur Steigerung der Ölge-winnung
- Reduzierung der Gasinjektion
- Geringer Platzbedarf
- Reduzierung der Prozessanlagen an den Lagerstätten
- Weniger Gewicht
- Geringere Investitionskosten
- Schnelle Amortisation

### Zweispindelige Rohöl-Export-Pumpen auf einer Plattform im Golf von Mexiko

2012 werden vier zweispindelige Schraubenpumpen als Exportpumpen für schweres Rohöl auf einer Förderplattform im mexikanischen Abschnitt des Golfes von Mexiko installiert. Die Anlagen werden von Gasturbinen angetrieben und fördern schweres Rohöl mit einer API-Dichte von 15 bei einer Fördermenge von 1.070 m<sup>3</sup>/h und einem Differenzdruck von 56 bar. Das Öl enthält eine kleine Menge Wasser, Spuren von H<sub>2</sub>S sowie Chloride. Doppelt wirkende Gleitringdichtungen im Saugbereich der Pumpen und ein Sperrflüssigkeitssystem gemäß API Plan 54 sorgen für den Betrieb ohne Umweltbelastung.

### Fazit

Zweispindelige Multiphasenpumpen und konventionelle zweispindelige Schraubenspindelpumpen

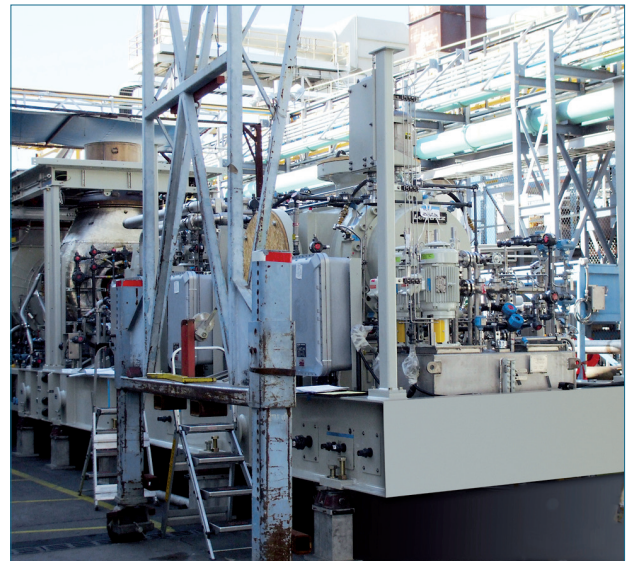


Abb. 15: Gasturbinengetriebene zweispindelige Schraubenspindelpumpe

werden mit Erfolg offshore im Golf von Mexiko eingesetzt. Die steigende Zahl lang genutzter und nahezu ausgebeuteter Felder, die Verlängerung der Lebensdauer alter Ölfelder oder die besonderen Merkmale der neu erschlossenen Lagerstätten werden einen stetigen Bedarf an Multiphasentechnologie hervorrufen. Die vielseitigen zweispindelligen Schraubenpumpen haben ein großes Einsatzspektrum und verarbeiten Gemische aus Flüssigkeit und Gas jeglicher Konzentration. Sie decken eine große Bandbreite an Viskositäten bei Fördermengen von bis zu 5.000 m<sup>3</sup>/h und Differenzdrücken von bis zu 150 bar ab. Die Investitions- und Betriebskosten für die zweispindelige Multiphasenpumpeninstallationen sind gering und die Pumpen tragen zum Schutz der Umwelt bei, da sie das Abfackeln und die Freisetzung von Gasen überflüssig machen.

Autoren: Jörg Narewski  
(Geschäftsführer Leistritz Pumpen GmbH),  
Sven Olson  
(Präsident Leistritz Corporation),  
Hans Jürgen Schöner  
(Vertrieb Multiphasenpumpen & Systeme Leistritz Pumpen GmbH),  
Dr. Michael Radke (Vorstand)  
Leistritz Aktiengesellschaft