

# Einsatz von Offshore Kolbenpumpen

## Anforderungen, Bauformen, Service und Wartung

Autor: Martin Hofschröder, Bentec Drilling & Oilfield Systems  
Rev. 1, 12.09.2005

Wir alle hören jeden Tag in den Schlagzeilen der Nachrichten, dass die Energiepreise unaufhaltsam steigen und wohl kaum wieder fallen werden. Die Nachfrage nach Primär-Energie übersteigt deutlich das Angebot, die Produktion läuft weltweit nahezu am Limit. Der Markt reagiert extrem sensibel auf jede zu erwartende Komplikation, sei es ein Brand in einer Raffinerie, ein Streik der Ölarbeiter oder ein Wirbelsturm im Süden der USA. Neue größere Erdöl- und Erdgas Lagerstätten sind nur noch in extrem schwierig zugänglichen Gegenden unserer Welt zu finden; auf Land unter meterdickem Eis und Schnee oder tief unter dem Meeresspiegel, Offshore.

### Die Bohranlage

Die Anforderungen an Material und Mannschaft von Öl- und Gas-Bohranlagen wächst also. Von Plattformen auf ausfahrbaren Beinen, den Jack-up's, oder schwimmenden Bohranlagen auf Schiffen oder Halbtauchern werden kilometertiefe Bohrungen senkrecht oder im Horizontal-Bohrverfahren abgeteuft. Alle Bohranlagen, Offshore wie Onshore, bestehen im wesentlichen aus drei Komponenten, dem Mast mit Unterbau und Hebewerk, der Tankanlage mit Pumpen sowie der Energie-Erzeugung, -Verteilung und -Regelung. Wenn die Erkundungs- bzw. Produktionsbohrungen beendet worden sind, wandern Bohranlagen nicht selten von dieser fest aufgebauten Offshore-Plattform zur nächsten. Die ‚alte‘ Plattform wird dann zu einer Produktionsplattform umgebaut. Die gesamte Offshore-Bohrindustrie ist übrigens gerade 58 Jahre alt.

Im weiteren Verlauf meines Vortrages kommen immer wieder Begriffe aus der Englischen Sprache vor. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass in Deutschland lediglich eine einzige Offshore Anlage und acht Onshore Anlagen operiert werden. Geprägt wird die gesamte Industrie und damit auch die Fachbegriffe durch die USA. Zentrum in den USA ist Houston in Texas.



Bild 1: Offshore, Jack-Up

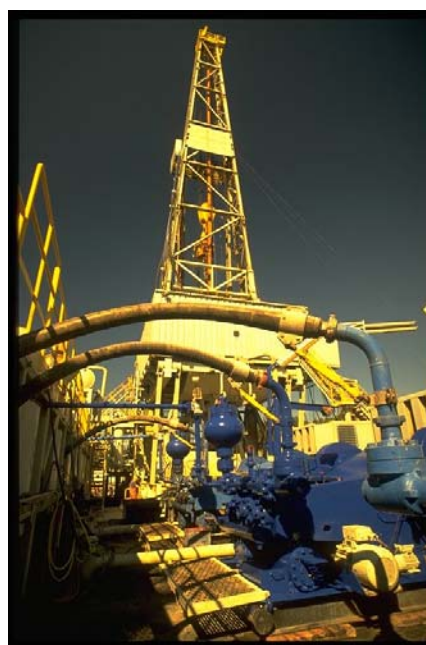


Bild 2: Onshore: KCADeutag Rig T-45

## Anforderungen an die Pumpen

Um in der Bohrphase das Bohrloch jederzeit kontrollieren zu können sind zuverlässige und leistungsstarke Spülpumpen notwendig. Die zirkulierende Spülflüssigkeit kühlt den Bohrmeißel, reinigt den Boden des Bohrloches, transportiert das Bohrklein an die Oberfläche, schmiert das Bohrgestänge, ermöglicht den Einsatz von hydraulisch angetriebenen Bohrmotoren direkt am Meißel und hält den Formationsdruck durch Zugabe von geeigneten Ballaststoffen in der Balance.

Die Spülung ist in den meisten Fällen ein auf Wasser oder Öl basiertes Gemisch, je nach notwendiger Dichte, Schmierung, Viskosität, pH-Wert und nicht zuletzt Porosität bzw. Beschaffenheit der aktuellen geologischen Formation.



Bild 3: Tankanlage zur Reinigung Aufbewahrung und zur Anmischung von Spülung

Spülpumpen werden klassifiziert durch die folgenden Leistungsparameter:

- Motor-Antriebsleistung in PS
- Kolbenhublänge
- Maximaler Kolbendurchmesser

Heutige Offshore Bohranlagen haben in der Regel leistungsstarke Triplex-Pumpen ab 1600 PS. Die stärkste Pumpe der Fa. Wirth in Erkelenz hat beispielsweise 2200PS Motorleistung, einen Hub von 14" bei einem Durchmesser von 7,5". Sie leistet maximal 3350 l/min, operiert bei bis zu 517 bar und wiegt 33 Tonnen. Die Geräuschemission liegt bei 85 dBa.

Um das maximale Volumen oder den maximalen Druck zu erreichen, muss die entsprechende Kolbenstange eingebaut werden. Hier ein typischer Aufriss der jeweiligen Arbeitsbereiche einer National Oilwell Pumpe 14-P-220 in Tabelle 1. Die Kolbendurchmesser sind von 9" bis 5" in 8 Größen abgestuft dargestellt. Der Umbau von einer auf eine andere Größe benötigt je nach Pumpentyp pro Pumpe zwischen 2 und 6 Stunden.

**14-P-220 Performance Data**

Stroke, in.(mm): 14 (356) . . . Gear ratio: 3.969 . . . Rated input: 2200 hp @ 105 spm (1642 kw @ 105 spm)

Liner size, in.(mm)		9+	8	7½	7	6½	6†	5½†	5†	*Rated maximum input horsepower and speed.  **Based on 90% mechanical efficiency and 100% volumetric efficiency.  †9-inch liner requires special liner bushing and liner clamp.  ‡ Plungers and packing recommended over 6000 psi. Premium modules required over 6000 psi.	
		(228.6)	(203.2)	(190.5)	(177.8)	(165.1)	(152.4)	(139.7)	(127.0)		
Maximum discharge pressure - psi (kg/cm <sup>2</sup> )		2795 (196.5)	3535 (248.5)	4025 (283.0)	4615 (324.5)	5360 (376.8)	6285 (441.9)	7475 (525.5)	7500 (527.3)		
Volume/stroke gal/rev (liters/rev)		11.57 (43.797)	9.14 (34.598)	8.03 (30.397)	7.00 (26.498)	6.03 (22.826)	5.14 (19.457)	4.32 (16.353)	3.57 (13.514)		
Pump speed (spm)	Max. input (hp)	Hydraulic (hp)	Gallons per minute** (Liters per minute**)								
105*	2200*	1980	1215 (4600)	960 (3634)	843 (3191)	735 (2782)	633 (2396)	540 (2044)	454 (1718)	375 (1419)	
80	1676	1509	925 (3501)	731 (2767)	643 (2434)	560 (2120)	483 (1828)	411 (1556)	346 (1309)	286 (1082)	
60	1257	1131	694 (2627)	548 (2074)	482 (1824)	420 (1590)	362 (1370)	308 (1166)	259 (980)	214 (810)	
40	838	754	462 (1748)	366 (1385)	321 (1215)	280 (1060)	241 (912)	206 (780)	173 (654)	143 (541)	

Tabelle 1 (Composite Catalogue, 43rd Edition)

Bei Offshore-Bohranlagen, die schwimmend auf die nächste Lokation verbracht werden spielen Abmaße und Gewicht eine wesentliche Rolle, um das ‚Schiff‘ stabil und manövrierfähig zu halten. Die schweren Pumpen werden daher meist so kompakt wie möglich unter Deck nahe der Tankanlage installiert.

Auf engstem Raum ist neben all der Bohr- und Produktionstechnik natürlich auch die Unterkunft für die Bohrmannschaften auf der Insel untergebracht. Bei schlechtem Wetter ist die Anlage oft tagelang nicht per Versorgungsschiff oder per Helikopter zu erreichen. Sicherheit an Bord ist daher lebenswichtig. Trotzdem muss der Lärm aller Komponenten der Bohranlage es ermöglichen, gleich nebenan Schlafräume für die Mannschaften einzurichten.

Allzeit einsatzbereite Pumpen sind einer der Garanten für die Kontrolle aller denkbaren Bohrsituationen. Sollte es zu einem sogenannten Kick, also dem Zufluss von Flüssigkeiten oder Gasen in das Bohrloch kommen, so steigt der Spülflüssigkeitstand im Tanksystem an. Schwere Spülung muss dann mit den Pumpen in das Bohrloch gepumpt werden bis der Zufluss auszirkuliert werden konnte und das Bohrloch wieder stabil beherrscht werden kann. Sollten die Pumpen hier versagen, muss das Loch mit dem BOP, dem ‚Blow-Out Preventer‘, abgeschlossen werden um zu verhindern, dass Gas an der Oberfläche unkontrolliert austreten kann. Um ausreichende Ausfall-Sicherheit und benötigtes Volumen zu erreichen sind heute drei Triplex-Pumpen als Standard anzusehen. Können die Pumpen nicht eingesetzt werden dann fällt das Bohrklein in der Spülung von oben auf den Bohrmeißel und setzt das Gestänge fest. Das Loch und das darin befindliche Material ist dann unter Umständen verloren.

Noch eklatanter ist die funktionierende Zirkulation wenn sensible Formationen im sogenannten ‚Underbalanced Drilling‘ Verfahren (UBD), also mit eigentlich zu leichter Spülung durchbohrt werden. Ist der Formationsdruck höher als der hydrostatische Druck der Spülung, so kann diese das Öl-tragende Gestein nicht verschließen und ermöglicht damit eine bessere Ausbeute der Lagerstätte. Gleichzeitig könnte bei sehr porösem Gestein eine zu schwere Spülung komplett ‚versickern‘, dies wäre eine Bohrung mit hohen Kosten und schlechten Erträgen.

Die gesamte zirkulierende Spülung ist beim UBD jedoch von der Atmosphäre getrennt, da H<sub>2</sub>S oder andere unerwünschte Gase mit der umlaufenden Flüssigkeit an die Oberfläche gelangen könnten. Ein Ausfall oder Fehlbedienung der Pumpen könnte in sehr kurzer Zeit zu einem Kick führen da die fehlende Zirkulation die Gasmenge im Bohrloch nicht mehr kontrolliert.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass höchste Verfügbarkeit aus sicherheitsrelevanten und ökonomischen Gründen notwendig ist. Gleichzeitig ist auf kompakte Bauform, geringes Gewicht und gute Wartungsmöglichkeit Wert zu legen.

### Bauformen

Die typische Bauform einer Spülpumpe hat sich in den vergangenen Jahrzehnten nicht wesentlich geändert. Die Duplex-Bauweise mit zwei Kolben wurde durch die Triplex Variante ersetzt. Die drei einzelnen Kolben laufen hier um 120° versetzt, starr gekoppelt an eine Antriebswelle. Die Pumpe wird dabei unterteilt in Antriebsteil und Wasserteil. Neu installierte Offshore Pumpen sind in der Regel von AC Motoren angetrieben. Die Hauptantriebsmotoren sind per Keilriemen oder Kette an das Getriebe gekoppelt, die darüber angetriebene Welle setzt die Drehbewegung in die Kolbenbewegung um.



Bild 4: 2200PS Wirth Spülpumpen für die T-150, 'Mittelplate' RWE-Dea/Wintershall

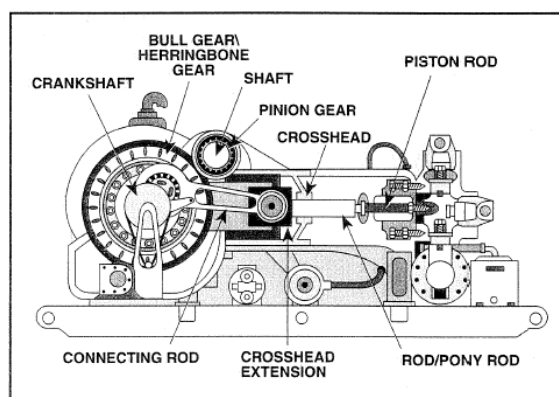


Bild 5: Schema einer Pumpe

Der sogenannte Kreuzkopf (Crosshead) trennt dabei Antriebs- und Wasserteil. Er übernimmt aus der Drehbewegung der Antriebswelle die reine Horizontal-Bewegung um den Kolbenhub durchzuführen. Neben den Hauptmotoren sind separate Motorlüfter, Kolbenstangen-Kühler (Liner-Wash) und Schmiermittelpumpen (Gear Oiler) für Getriebe und Kette als Hilfsantriebe vonnöten. Zum Befüllen der Pumpenzylinder drückt die Ladepumpe die Spülung in die Zylinderkammer bevor die Vorwärtsbewegung des Kolbens die Flüssigkeit in das Hochdruck-Spülsystem transportiert. Ein vorgespannter Dämpfer am Pumpenausgang versucht dabei die Druckspitzen der Kolben etwas auszugleichen. Über die Hochdruck-Leitung wird die Spülung in den Turm, durch das Bohrgestänge bis zum Bohrkopf gepumpt. Zusammen mit dem Bohrklein läuft sie dann im Ringraum zurück zum Rig um im Tanksystem gereinigt und erneut verpumpt zu werden.

Offshore Tagesraten für Bohranlagen liegen zur Zeit zwischen 100.000,- US\$ bis etwa 450.000 US\$, je nach Ausstattung und Vertragsverhältnis. Um die unproduktiven Zeiten des Lokationswechsels zu minimieren und die meist horizontal verlaufenden Trägerschichten optimal zu penetrieren, wird heute in der Regel abgelenkt oder horizontal gebohrt. So kann von einer Position oft ein komplettes Ölfeld abgebohrt werden. Dabei wird nicht jede Bohrung von der Oberfläche begonnen, sondern aus vorhandenen Bohrlöchern wird mit einem sogenannten Side-Track verzweigt, in verschiedenen Ebenen und Richtungen weitergebohrt. Diese Side-Tracks werden mit den Down-Hole Motoren gebohrt, bei denen sich der Bohrmeißel-Antrieb direkt oberhalb des Bohrkopfes befindet. Der Down-Hole Motor wird einzig über die Spülung angetrieben. Der Druckverlust liegt in der Regel bei 60 bis 100 bar. Nicht zuletzt das Verfahren der Ablenk-Bohrungen erfordert hohe Drücke bei relativ hohem Volumen, einzig erreichbar durch die Erhöhung der Pumpenzahl auf der Lokation.

Vor einigen Jahren hat in den USA die Entwicklung eines neuen Pumpentyps begonnen. Die nun auf dem Markt verfügbare Hex™ Pumpe der Firma National Oilwell Varco bietet einige Vorteile im Vergleich zur Standard Triplex Pumpe.

- die kompaktere, leichtere Bauform ermöglicht die Installation von drei Hex™ Pumpen auf der Stellfläche von zwei Triplex Pumpen.
- Verringerung der Druckschwankungen auf der Hochdruckseite mit verbesserter Fluss Charakteristik und präziserem Timing beim Befüllen und Entleeren der Zylinderkammern durch speziell angefertigten Antriebsteiler.
- Teure Verschleißteile wie Kolbenstangen und Zylinderbuchsen sind kleiner, leichter und damit kostengünstiger. Gleichzeitig sind sie präziser gefertigt und haben daher eine verlängerte Lebensdauer.
- Die ausschließlich AC-Motor angetriebene Pumpe deckt mit einer Kolbengröße den gesamten Volumen bzw. Hochdruckbereich ab. Umbauten während der Bohrphase zur Anpassung an benötigte Volumina oder Drücke entfallen somit
- Die Ventile zum Befüllen und Entleeren der Zylinder sind in einer Kartusche untergebracht, die bei Bedarf schnell getauscht werden kann.



Bild 6 NOV Hex™-Pumpe,

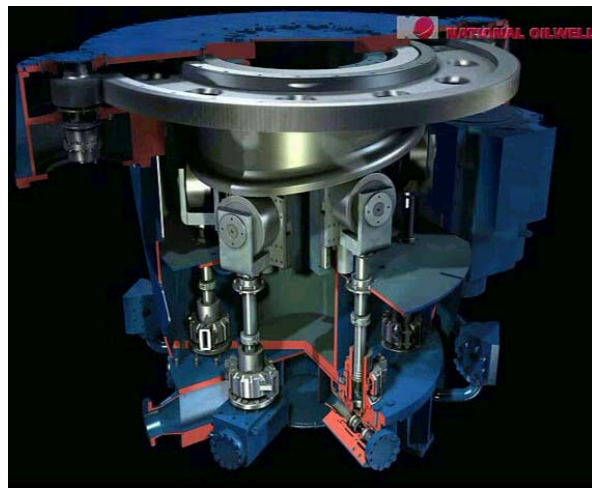


Bild 7: Innerer Aufbau

National Oilwell Varco (NOV) installiert zur Zeit die ersten zwei 6-Zylinder Pumpen in Europa an Bord des Jack-Up's Al White der Firma Noble in den Niederlanden. Diese 6-Zylinder Pumpe bietet zwar den Vorteil, ohne zeitaufwändigen Kolbenwechsel die notwendige Bandbreite von Druck und Volumen liefern zu können, die filigranere Technik wird allerdings noch unter Beweis stellen müssen, ob sich die sehr teure Anschaffung auch amortisiert.

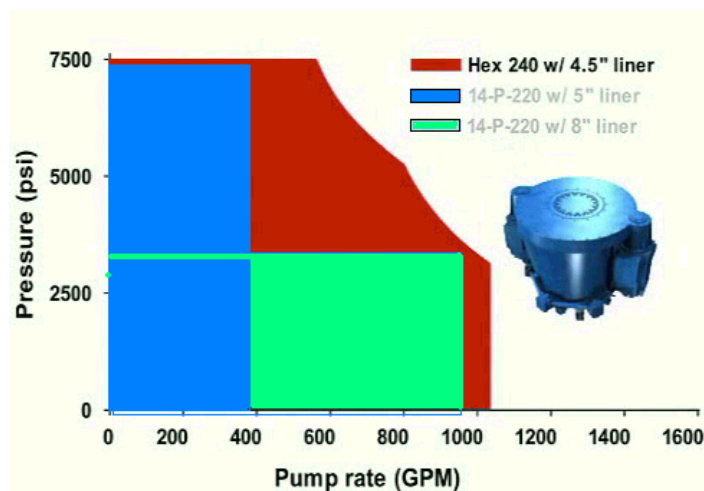


Diagramm 1: Leistungsvergleich Triplex / Hex™-Pumpe

## Aktuelle Projekte

Auf einer künstlichen Insel im Wattenmeer der Deutschen Bucht wird zur Zeit eine neue Bohranlage der Bentec für das Mittelplate Konsortium RWE-Dea/Wintershall aufgebaut.

Die Möglichkeit, Öl durch eine neue Pipeline von der Insel an Land zu bringen führte zu der Entscheidung die alte Anlage durch ein modernes Gerät auf der einzigen deutschen Offshore Plattform zu ersetzen. Bisher wurde das geförderte Öl mittels Lastkahn an Land transportiert. Staukapazität auf der Insel und die Abhängigkeit vom Tidenhub beim Schiffstransport verhinderten bisher diese Investition von knapp 40 Mio. Euro. Die in Rekordzeit gebaute Anlage wird im Dezember diesen Jahres die Arbeit aufnehmen.

Die Anlage arbeitet auf einem Cluster, eine Art Schachbrett. Für jedes Bohrloch wird sie auf ein neues Cluster verschoben. Eine Vielzahl der geplanten Bohrlöcher verläuft nicht senkrecht, es wird also abgelenkt oder horizontal gebohrt werden. Dazu wurden drei 2200PS Wirth-Spülpumpen installiert. Kötter Consulting Engineers war für die Geräusch-Emissions- und Vibrationsberechnung im Projekt involviert. Tankanlage und Pumpen der Bohranlage sind auf dem separaten Fangedamm der Insel untergebracht. Die Struktur der Insel musste von den Vibrationen der Pumpen befreit werden, daher wurden speziell berechnete Schock-Absorber unter die Pumpen und die Hochdruckleitung gesetzt.

Die gesamte Anlage ist für eine Laufzeit von 25 Jahren ausgelegt.

Hier einige Bilder der Anlage



Bild 8: Mittelplate, Mitte August 05



Bild 9: Druckleitungsmontage an Pumpe



Bild 10: Bohranlage vor Abnahme im Mai 2005

Die unterschiedlichen Bauformen betreffend ist auch bei aktuellen Neubauten oder Erweiterungen von Offshore Bohranlagen die Verwendung von Triplex Pumpen dominierend. Trotzdem lassen sich die technischen Vorzüge der Hex<sup>TM</sup>-Pumpe nicht von der Hand weisen.

Allerdings zeigt die Vergangenheit, dass die Akzeptanz von technischen Neuheiten in der Bohrindustrie sehr viel länger braucht als in anderen Industriezweigen.

### Service und Wartung

Das Hauptaugenmerk dieses Vortrags möchte ich jedoch auf den Bereich Service und Wartung legen.

Die sehr teuren Kernkomponenten einer Bohranlage, die Pumpen, das Hebewerk und der Top Drive (Drehantrieb des Bohrstranges) sind in der Regel für eine Betriebszeit von mehr als 20 Jahren vorgesehen.

Die Ursache von Störungen lässt sich an folgender Tabelle ablesen.

Pumpe I																	
	Wartung								Trouble							Σ Wartung & Trouble Zeit [h]	
	Linear		Kolben		Ventile		Ventiltitze		Linear		Kolben		Ventile		Ventiltitze		sonstiges
	Anzahl	Zeit [h]	Anzahl	Zeit [h]	Anzahl	Zeit [h]	Anzahl	Zeit [h]	Anzahl	Zeit [h]	Anzahl	Zeit [h]	Anzahl	Zeit [h]	Anzahl	Zeit [h]	Zeit [h]
Dieksand 6	3	4,5	15	7,5	9	4,5	6	6	1	1,5	2	1		0		0	24
Dieksand 7	9	13,5	15	7,5	12	6	6	6	1	1,5	3	1,5		0		0	36
Dieksand 8	3	4,5	6	3	6	3	6	6		0		0		0		0	16,5

Tabelle 2: Beispiel Pumpe 1, T-76

Die T-76 hat insgesamt drei Pumpen. Die aufsummierten Störzeiten gegenüber den normalen Laufzeiten der Maschinen sind in dem folgenden Diagramm dargestellt:

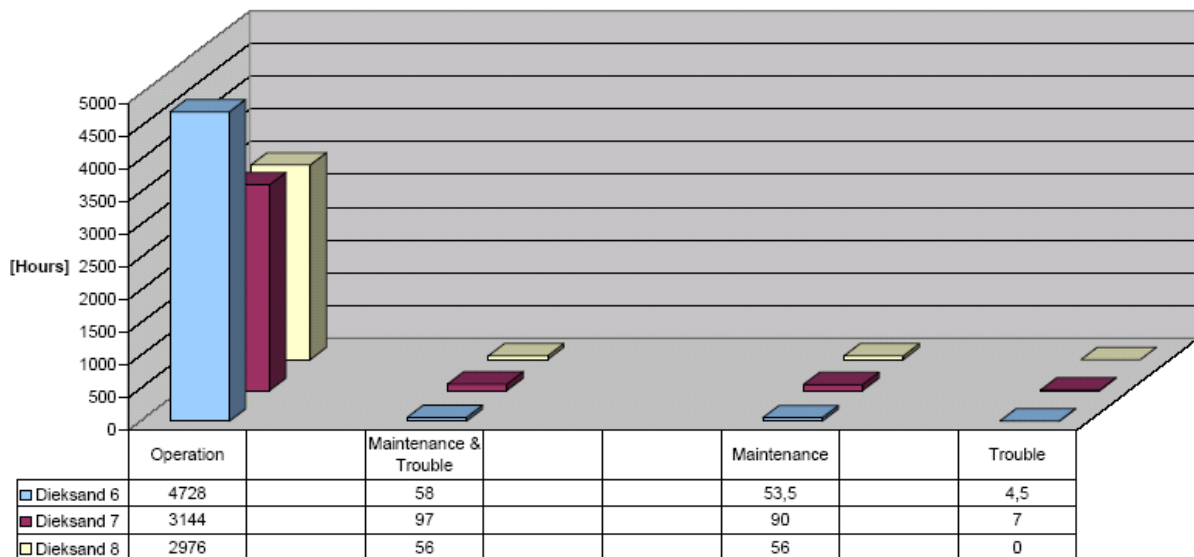


Diagramm 2 Pumpenstatistik T-76

Diese Tabelle zeigt deutlich die Anzahl der Stunden, die für geplante und ungeplante Wartung an den Spülpumpen aufgewendet wurden. Die KCADeutag Bohranlage T-76 bohrt ebenfalls für RWE-Dea/ Wintershall. Sie wird im gleichen Ölfeld wie die neue oben beschriebene Mittelplate Anlage eingesetzt, allerdings bohrt sie von einer Landbasis aus. Von den klimatischen Bedingungen ist sie somit einer Offshore Bohranlage vergleichbar.

### Ursachen der Störungen

Wie alle Maschinen, die nicht vollautomatisch laufen, hängt die Lebensdauer von Spülpumpen entscheidend von dem bedienenden Personal, dem Driller ab. Eine häufig in Grenzbereichen betriebene Maschine wird sicherlich deutlich mehr belastet als Pumpen, die immer im optimalen Druck/Volumen-Bereich eingesetzt sind. Hohe **Feststoff-Anteile** in der Spülung, die bei der Reinigung nicht mit einem Schüttelsieb oder einer Zentrifuge entfernt werden konnten wirken für die Einlass- und Auslassventile und im Zylinderbereich der Pumpe wie Sandpapier. Ähnlich wie der Anteil der Feststoffe verhält es sich mit der Dichte der Spülung.

Lediglich eine kontinuierliche Analyse der chemischen Zusammensetzung der Spülflüssigkeit, des aktuellen Feststoffanteils, der Dichte, Temperatur und Homogenität verhindert eine frühzeitige Abnutzung der mit der Spülung in Berührung tretenden Komponenten.

Rückwirkungen auf den Antriebsteil hat allerdings auch eine falsche Fahrweise der Pumpe. Die Befüllung der Zylinderkammer erfolgt über das Ladeventil mittels einer Ladepumpe. Ist die Ladepumpe für hohes Volumen bei schwerer Spülung zu schwach ausgelegt, bzw. wird die Spülpumpe zu schnell gefahren, so entsteht während des Ladevorganges im Zylinder ein Vakuum-Raum oder sogar eine Luftblase. Diese Luftblase bzw. der Vakuum-Raum wird erst geschlossen, wenn sich der Kolben bereits im Ausstoßzyklus befindet. Es entsteht ein hörbares **Klopfen**. Dieser stoßartige Druckaufbau kann zu Fehlern an dem Ein- und Auslassventil führen aber auch zu Rissen im Pumpengehäuse, an den Kolbenstangen oder an der Hochdruckleitung hinter dem Auslassventil.

Eine falsche **Leitungsführung** der Zuleitung von der Tankanlage zu den Einlassventilen wird Offshore durch festen Einbau normalerweise vermieden. Trotzdem besteht auch hier die Möglichkeit, das durch zu große Distanzen zwischen Tank und Spülpumpe ein Reibungsverlust auftritt, der die komplette Befüllung der Zylinderkammer im Ladezyklus verhindert.

Bauformbedingt kann die Pumpe nicht kontinuierlich die identische Menge an Spülung aufnehmen, der Fluss gerät ins Stocken. Ein Einlasseitiger Pulsationsdämpfer versucht, die Schwankungen so zu minimieren, dass Auswirkungen durch Rückstoß zur Ladepumpe vermieden werden.

Da der Dämpfer jedoch für alle Betriebszustände, Spülungsarten und Volumina identisch bleibt, kann es auch hier zu ähnlichen Problemen kommen wie bei zu hoher Pumpengeschwindigkeit der Spülpumpe.

Wann immer die Zylinderkammer nicht vollständig gefüllt werden kann hat dies zur Folge, dass das berechnete Pumpenvolumen nicht mit dem tatsächlichen übereinstimmt. Die gewünschte Verfahrensweise kann somit nicht erreicht werden. Tritt Luft in die Spülung ein, so wird die Luft in das Bohrloch gepumpt, die Volumen-Effizienz ist nicht mehr gegeben.

Wie oben erwähnt ist die einfach-wirkende Triplex Pumpe so aufgebaut, dass die drei Kolben um 120° versetzt arbeiten. Auch bei korrekt arbeitender Ladepumpe und richtiger Fahrweise der Spülpumpe entsteht ein Leerraum vor dem sich zurückziehenden Kolben und der vergleichsweise zähen Spülung. Wenn der Ladezyklus in den Ausstoßzyklus übergeht, wird zunächst der entstandene Leerraum geschlossen, bevor der Kolben auf die noch in Gegenrichtung fließende Spülung trifft. Es kommt zu einem **Druckstoß**. Dieser resultiert in ungleichmäßigen Kolbenbewegungen, pulsierendem Spülungsfluss, Druckunterschieden innerhalb der Pumpe, in der Hochdruckleitung und im Bohrstrang. Letztendlich kann dies zu Rissen in dem Bohrgestänge führen, speziell an den verbindenden Gewinden. Pulsierender Spülungsfluss kreiert Vibrationen, Geräusche und Kavitation.

Die erste Maßnahme, die Pulsation soweit wie möglich zu senken ist der Einsatz eines Pulsationsdämpfers. Ein mit Stickstoff vorgespanntes Diaphragma an der Austrittsseite der Pumpe dämpft die Druckspitzen etwas ab.

### **Bentec Soft Pump System**

Die oben beschriebene Dämpfung ist nicht komplett ausgeglichen, lediglich die Druckspitzen sind reduziert. Da jedoch der Einsatz von drei, manchmal sogar von vier Pumpen gleichzeitig häufig vorkommt, kann ein synchrones Arbeiten von mehreren Spülpumpen auf eine Hochdruckleitung zu wirklichen Problemen führen.

Laufen drei einzelne Kolben parallel, so addieren sich die Druckstöße in der Hochdruckleitung mit all den negativen, bereits beschriebenen Folgen.

Das Bentec Soft Pump System (SPS) ist ein für Triplex Pumpen einfach nachzurüstendes System um dies zu verhindern.

Das SPS arbeitet dabei mit der vorhandenen elektrischen Regeleinrichtung der Pumpen. Über einen Sensor pro Pumpe wird die Lage eines Kolben im Totpunkt erfasst. Durch die starre Kopplung sind die anderen Kolbenlagen der Pumpe bekannt.

Eine Pumpe wird als Referenz für die Phasenverschiebung der weiteren aktiven Pumpen herangezogen. Sind drei Pumpen im Einsatz, arbeiten also 9 Kolben, so erfolgt bei einer Rotation der ersten Pumpe (360°) alle 40° ein Druckstoß. Bei zwei Pumpen, also 6 Kolben, erfolgt alle 60° ein Stoß.

Durch die Reduzierung der Druckamplituden wird der Spülfluss kontinuierlicher, die Leitungen sind vibrationsärmer, die Lebensdauer der Komponenten verlängert sich.

Ein weiterer Nebeneffekt ist wichtig für die Übertragung von Informationen aus dem Bohrloch. Für die Richtbohrung notwendige Daten wie Temperatur, Position, Druck und Richtung der Bohrung werden durch Schall über die Hochdruckseite durch die Spülung an die Oberfläche übertragen. Hier werden die Schallwellen ausgewertet. Dies ist deutlich einfacher, wenn störende Druckschwankungen der Pumpen soweit wie möglich reduziert wurden und die Frequenz der Stöße bekannt ist um sie herauszufiltern.

Funktionen wie das Mitzählen der Kolbenhöhe, das automatische Stoppen nach Abarbeitung einer vorgegebenen Anzahl von Hüben und das Anpassen aller Pumpengeschwindigkeiten mit nur einer Sollwertvorgabe sind natürlich im System enthalten.

Einfache, intuitive Bedienung mittels Klartextanzeige sind bei dem System ebenso selbstverständlich.

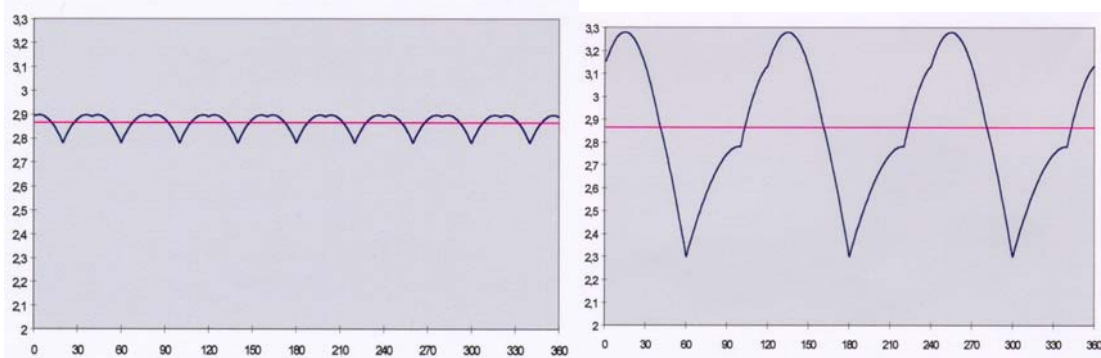


Diagramm 3: Druckstöße der Pumpen, SPS kontrolliert und ungerregelt

Die Hex<sup>TM</sup> Pumpe der Firma National Oilwell Varco reduziert die Amplituden der Druckstöße bereits durch das neue Design.

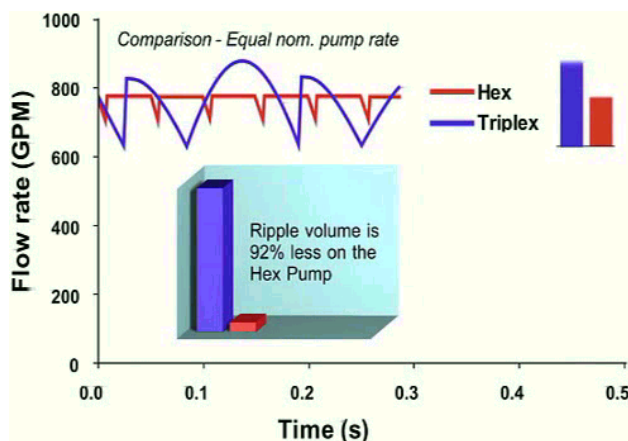


Diagramm 4: Druckstöße bei 1500PSI im Vergleich

### Qualitäts- und Preisunterschiede

Die international angebotenen Triplex Pumpen auf dem Markt unterscheiden sich auf den ersten Blick nicht wesentlich voneinander. Rahmendaten werden durch das American

Petroleum Institute (API) vorgegeben. Trotzdem sind die Qualitäts- und Preisunterschiede im Detail gravierend.

Durch die Dominanz der Amerikaner auf dem Weltmarkt liegt der Anteil der US Fabrikate bei den Internationalen Operatoren wie Shell, BP oder ChevronTexaco bei 98%. Amerikanische Pumpen sind weltweit akzeptiert, robust und entsprechend oft im Einsatz. Die Ersatzteil-Versorgung und Verfügbarkeit von erfahrenem Service-Personal stellt kein Problem dar. Im Vergleich zu der einzig verbliebenen Europäischen Fertigungsstätte für Hochleistungspumpen dieser Art, der Firma Wirth in Erkelenz, sind die Fertigungstoleranzen jedoch relativ groß. Dies führt dazu, dass es schon nach relativ kurzer Zeit zu Verbiegungen im Bereich der Kolbenstangen kommt, da die Last nicht nur in Kolbenrichtung sondern auch quer dazu wirkt. Auch Lagerschäden oder Geräusche durch schlagende Ketten kommen bei US Fabrikaten nicht selten vor.

Durch die Öffnung Chinas vor einigen Jahren, den damit verbundenen ‚Energie-Hunger‘ des Landes und dem Zwang, die nationalen Ölquellen zu erschließen rückte auch das bis dahin unbekanntes Chinesische Bohrgerät ins Rampenlicht.

Kopien bekannter US-Fabrikate werden in Bao Ji nachgebaut und sind zu unschlagbaren Preisen auf dem Weltmarkt verfügbar.

Allerdings versagen noch viele Pumpen bei Einsätzen deutlich unter der Nennleistung ihren Dienst, sind sehr reparaturanfällig und entsprechend unzuverlässig.

Die Preise der US-Amerikanischen Produkte sind mit denen der Firma Wirth vergleichbar.

Die sehr engen Fertigungstoleranzen, die dadurch deutlich verlängerte Standzeiten liefern, ein patentiertes, hydraulisches System zum einfachen Austausch von Kolben/Zylinder und auch Ein-/Auslassventil bieten technische und kommerzielle Vorteile, die trotz des geringen Marktanteils dazu geführt haben, dass viele neue Offshore Units mit Wirth Pumpen ausgestattet wurden und werden.

#### Preise

USA:	National 12-P-160	748.000,- US\$
Europa:	Wirth 7,5“ x 12“ 1600	650.000,- Euro
China:	Bomco F1600 7“ x 12“	216.000,- US\$

#### Wartung

Wie bei allen Maschinen ist die regelmäßige Wartung für die Lebensdauer entscheidend. Regelmäßige Überprüfung der Hilfsantriebe zur Kühlung, Auswechseln der Dichtungen, der Lager, der Maschinenöle und Fette nach Herstellervorgaben garantieren beste Ergebnisse. Wird dies vernachlässigt, so kommt es zu Schäden wie an dieser Pumpe aus Nigeria:



Bild 11: Lagerschaden



Bild 11: Reparatur der Pumpe

Eine Reparatur gestaltet sich Offshore allerdings deutlich schwieriger. Platzprobleme, fehlende Deckenkräne, Werkzeuge, Maschinen und entsprechend qualifiziertes

Fachpersonal stehen hier nicht zur Verfügung. Die folgenden Bilder wurden an Bord eines Noble Rigs in der Holländischen Nordsee aufgenommen. Die Welle wurde mit 14 Kettenzügen aus der Pumpe ‚bugsiert‘.

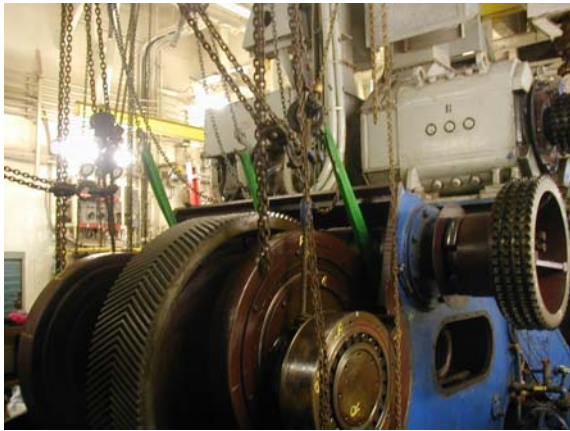


Bild 12: Pumpenreparatur



Bild 13: Pumpenreparatur

### Preventive Maßnahmen

Damit sich solche Fälle minimieren und geplante Reparaturen oder Überholungen in Werften erledigt werden können, wurden an Bord von einigen Noble Offshore Rigs sogenannte ‚Preventive Maintenance‘ Systeme installiert.

Das System läuft unter dem Namen ‚Condition Monitoring‘, also Zustandsüberwachung.

Dabei werden die folgenden Bereiche überwacht:

1. Monitoring des Maschinenzustandes, gekennzeichnet durch Alterung, Abnutzung, Verschleiß, Wirkungsgrade, Fehlfunktionen, Schäden, ...
2. Monitoring der Inanspruchnahme (Belastungshistorie), gekennzeichnet durch Laufzeiten, Lastkollektive, Temperaturbeanspruchung, Dynamik in der Betriebsweise
3. Monitoring des Instandhaltungstagebuches (Logbuch), gekennzeichnet durch Wartungsmaßnahmen und Reparaturen, ...

Alle Maschinen nutzen sich während des Einsatzes ab. Aus Erfahrungen lassen sich Grenzwerte festlegen, wenn bestimmte Zustände über- bzw. unterschritten werden.

### Verschleißverlauf und Grenzwertfestlegung

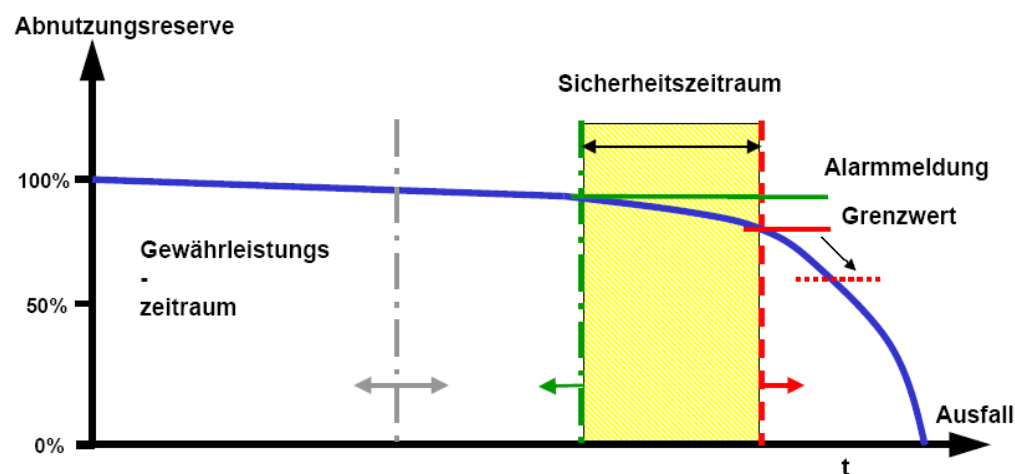


Diagramm 5: Verschleiß und Grenzwert

Diese frühzeitige, vorausschauende Instandhaltung erhöht die Verfügbarkeit, reduziert die Kosten, vermeidet Folgeschäden und macht eine anstehende Reparatur planbar.

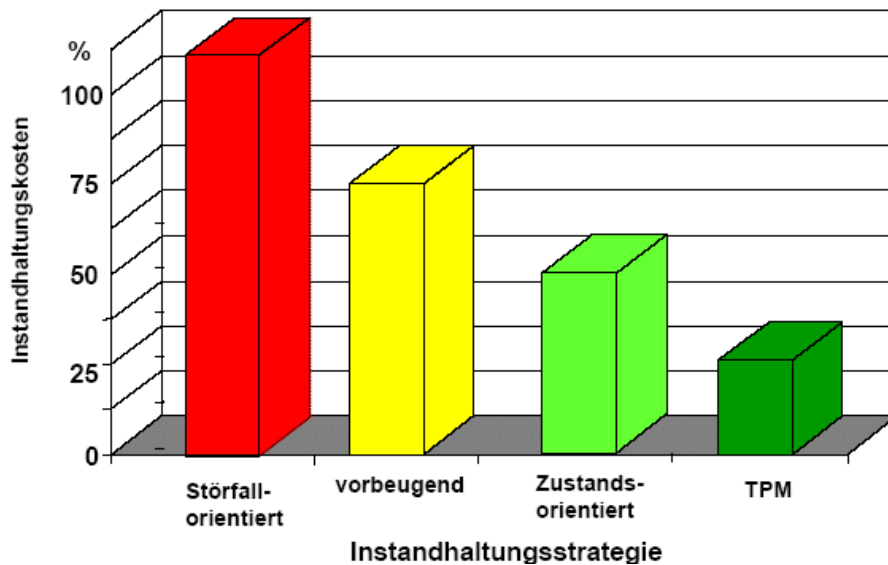


Diagramm 6: Instandhaltungsstrategien/Kosten, Quelle: El. Power Research Institute

Um diese Zustandsänderung zu erfassen wird der entstehende Körperschall mit Sensoren aufgezeichnet und kann online zu einer zentralen Sammelstelle übermittelt werden. Vor Ort wird ebenfalls ein nieder- und hochfrequentes Frequenzspektrum erstellt, das kleinste Änderungen erkennbar macht und frühzeitig auf z. B. beginnende Lagerschäden aufmerksam macht.

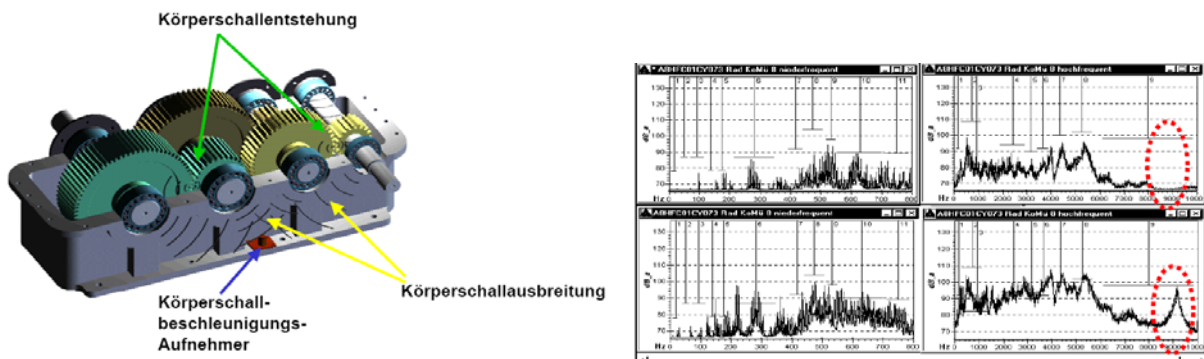


Diagramm 7: Verschleißerkennung durch Körperschallmessung, Diagramm 8: Auswertung der Frequenzen, ohne, bzw. mit Lagerschaden

Eine vorausschauende Instandhaltung darf natürlich nicht bis zum tatsächlichen Lagerschaden an einer Pumpe warten. Es gilt, die Trends der Frequenzänderung zu überwachen und mittels Schwellwert den Zustand darzustellen. Wird dieses Verfahren auf alle Pumpen einer Bohranlage oder sogar auf eine komplette Flotte angewendet, so erreicht ein auftretender ‚Alarm-Schwellwert‘ die Aufmerksamkeit der Instandhaltungsteams sofort um entsprechende Maßnahmen einleiten zu können.

An einer Triplex Pumpe können beispielsweise die folgenden Sensoren angebracht werden:

Monitoring possibilities:

	sensor	present project
• Electrical parts of the motors (temperature of winding)	T	(Y)
• Mechanical parts of motors (bearings, unbalance of shafts)	AC	Y
• Belt drives	AC	N
• Bearings, gears, shafts (unbalance) of the power end	AC	Y
• Crosshead guides	AC	N
• Piston rod	PR	N
• Liners, pistons, piston rings	PG	Y
• Valves	PG	Y
• Lubrication pump, oil temperature, oil pressure	AC,PG,T	(Y)

T: Temperature AC: Accelerometer PR: Proximity PG: Pressure gauge

Tabelle 3: Sensoren-Übersicht / Spülpumpe

Das Flottenkontroll-Center kann von oben nach unten die Zustände der einzelnen Bohranlagengruppen bis zur einzelnen Pumpe überprüfen.



Bild 14: Top Down Anzeige der Zustände

Sind Reparaturarbeiten durchzuführen, so hängt es von der Qualifikation des Personals und sicherlich von dem Pumpentyp ab, wie lange die Behebung des Problems andauert. Eine Pumpe aus der Wirth Produktion lässt sich mittels Hydraulik-Handpumpe sehr schnell auf andere Kolbendurchmesser umbauen. Auch der notwendige Ventilwechsel kann mit diesem patentierten System so in kurzer Zeit durchgeführt werden.

Die durch den Wirbelsturm „Katrina“ verursachten Ausfälle von Bohranlagen im Golf von Mexiko und die Preise von 70,- US\$ pro Fass Rohöl lassen die Nachfrage nach neuen Pumpen zur Zeit explodieren. Lieferzeiten von mehr als 12 Monaten sind bereits genannt. Gleichzeitig wächst die Anforderung an Verfügbarkeit, Bediener-/ Wartungsfreundlichkeit und Sicherheit der Spülpumpen stetig.

Dieser Teilbereich ist ein Spiegel der hoch komplizierten Techniken die mittlerweile eingesetzt werden um die Energieversorgung der Welt auch weiterhin zu sichern. Neue Produktvarianten, verbesserte Antriebsregelungen und Meßsysteme zur Früherkennung und Diagnose von Schäden zeigen diese Interessante Entwicklung, die sich letztendlich auf fast alle Komponenten einer Offshore Bohranlage übertragen lassen.