



Foto: Fotolia / Gieri

Ein großes Marktsegment für Mehrphasenpumpen ist die Abwasserbehandlung durch Druckentspannungsflotation, bei der die Mehrphasenpumpen die Luftsättigung ohne Einsatz von Druckluft übernehmen.

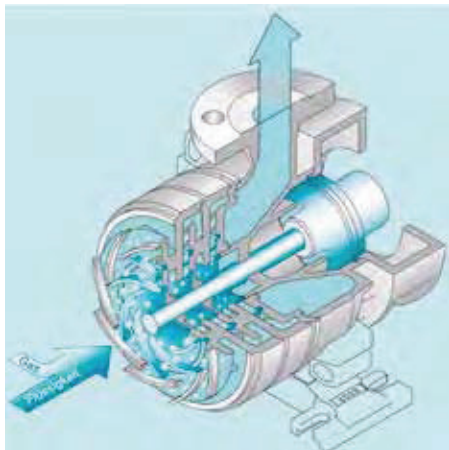
Mehrphasenpumpen für energieeffiziente Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung

■ Dr. Jürgen Holdhof

Die Mehrphasenpumpen sind einzigartige Produkte, die sich in ihren Eigenschaften deutlich von herkömmlichen Kreiselpumpen abheben. Der Ansatz besteht darin, die Pumpen nicht nur zum Fördern von Flüssigkeiten einzusetzen, sondern auch zur Teilgasförderung und zur Gasanreicherung als dynamischer Mischer. Damit hat das neuartige Pumpenkonzept kaum noch etwas mit einer Standardpumpe gemein. Selbst die Betriebsweise entspricht nicht mehr der gängigen Lehrmeinung: Mehrphasenpumpen werden saugseitig leicht eingedrosselt, um Gasanteile selbsttätig ansaugen zu können. Bei Standardkreiselpumpen führt dies unweigerlich zur Kavitation. Die Einsatzmöglichkeiten der Mehrphasenpumpen sind breitgefächert. In vielen Prozessen treten gasende Flüssigkeiten auf, die auch pumpentechnisch beherrscht werden müssen. Ein großes Marktsegment ist die Abwasserbehandlung durch die Druckentspannungsflotation, bei der die Mehrphasenpumpen die Luftsättigung ohne Einsatz von Druckluft übernehmen.



INNOVATIONEN & TRENDS



Quelle: EDUR

Abb. 1: Schnittbild der Pumpenhydraulik

Mehrphasenpumpen sind dynamische Mischer, die zwei Aufgaben erfüllen. Zum einen werden Flüssigkeiten mit Gasen angereichert, zum anderen wird dieses Flüssigkeits-Gas-Gemisch transportiert. Bei Letzterem findet während des Druckaufbaus in der Pumpe eine Durchmischung und eine ausgezeichnete Gassättigung statt. Durch nachgeschaltete Lösestrecken kann diese Gassättigung weiter gesteigert werden. Zur Gasanreicherung wird lediglich die Mehrphasenpumpe benötigt. Statische Mischer entfallen. Die Zuführung des Gases erfolgt direkt in die Saugleitung bzw. in den Saugstutzen der Pumpe. Die Pumpenhydraulik selbst bringt dann den Gasanteil in Lösung (Abb. 1).

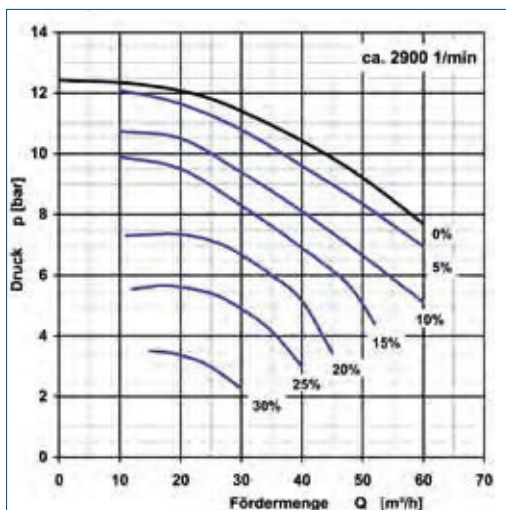
Typische Anwendungen sind:

- Druckentspannungsfotation mit einem Drucksättigungssystem in Anlehnung an VDMA-Einheitsblatt 24430, Ausgabe März 2010
- Belüftung (Bioreaktoren)
- Ozonierung
- Öl-Wasser-Separation
- Kalkfallen in der Papierindustrie
- Rohstoffgewinnung (etwa Kupferextraktion)

Der Einsatz von Mehrphasenpumpen bringt zahlreiche Vorteile:

- Die Reduzierung der Anlagenkomponenten und die Vereinfachung des Anlagenkonzepts führen zu niedrigeren Investitionen und zu höherer Betriebssicherheit. Gegenüber konventionellen Anlagenkonzepten werden Kompressoren, Druckkessel und aufwendige Steuerungssysteme nicht mehr benötigt.
- Der hohe Wirkungsgrad verbessert die Energiebilanz und senkt die Betriebskosten.
- Hohe Lösegrade der eingesetzten Gase verbessern die Stoffausbeute.
- Ein gutes Regelverhalten und ein breiter Einsatzbereich der Mehrphasenpumpen führen zu einem anforderungsgerechten Betrieb und vermeiden unwirtschaftliche Anlagenfahrweisen.
- Die Prozesssicherheit wird deutlich erhöht.

Das neue Pumpenkonzept amortisiert sich also bereits nach kurzer Zeit, so dass dieses nicht nur für Neuanlagen, sondern auch für das Retrofitting bestehender Anlagen von Interesse ist.



Quelle: EDUR

Abb. 2: Kennliniencharakteristik einer Mehrphasenpumpe – 18,5 kW

Einsatzgrenzen von Kreiselpumpen

Der übliche Einsatzzweck von Kreiselpumpen ist die Förderung von reinen Flüssigkeiten. Dieser idealtypische Einsatz ist leider häufig unter realen Betriebsbedingungen nicht anzutreffen. Nicht selten müssen die Pumpen ungelöste Gase oder Dämpfe mitfördern. Die Ursachen können einerseits anlagenbedingt sein, wie etwa Undichtigkeiten in den Saugleitungen, ungenügende Überdeckung der Saugleitung mit Flüssigkeit in offenen Systemen usw. Andererseits sind prozessbedingte Anforderungen zu beachten: In vielen verfahrenstechnischen Anwendungen liegen häufig gleichzeitig mehrere Phasen unterschiedlicher Medien vor, die beherrscht werden müssen. Typischerweise sind



Flüssigkeiten mit Gasen anzureichern, Flüssigkeits-Gas-Gemische zu fördern oder gasende Flüssigkeiten sicher zu bewegen.

Die bekannten normalsaugenden Kreiselpumpen versagen bei derartigen Anforderungen oder erlauben keinen sicheren Betrieb. Die Ausfälle liegen hier im Wesentlichen in der Laufradkonstruktion begründet. Im Bereich der Laufradnabe bildet sich mit wachsendem Gasanteil ein zunehmend stabilerer stationärer Gasraum, der schließlich den Laufradeintritt blockiert und die Förderung unterbricht. Selbst bei geringen Gasanteilen ist die Kennlinie nicht mehr stabil. Damit sind derartige Standardpumpen zur Erfüllung obiger Betriebsbedingungen ungeeignet. Insbesondere die Prozessautomatisierung setzt einen kontrollierten und störungsfreien Pumpenbetrieb voraus.

Einfluss des Gasanteils

Die Pumpenhydraulik einer zeitgemäßen Mehrphasenpumpe ist auf eine sichere Gasmitförderung ausgelegt. Bei getrennter Einspeisung von Flüssigkeiten und Gasen wird darüber hinaus eine gute Vermischung der beiden Phasen bzw. ein hoher Dispersionsgrad erreicht.

Die Pumpencharakteristik ist im Wesentlichen durch die Höhe des Gasanteils im Fördergut bestimmt. Die Höhe des Gasanteils beeinflusst Förderstrom, Förderhöhe und die erforderliche Antriebsleistung der Pumpe. Steigende Gasanteile führen tendenziell zu abnehmenden Förderströmen und Pumpendrücken, aber auch zu einem fallenden Leistungsbedarf (Abb. 2).

Gasmitförderanteile von bis zu 30 % werden erreicht, ohne dass die Pumpen die Förderung einstellen. Verfahrenstechnisch ist von Vorteil, dass die gesamte Pumpenkennlinie mit stabilen Betriebszuständen gefahren werden kann.

Einsatz als dynamischer Mischer

Mehrphasenpumpen übernehmen hierbei die Gasanreicherung von Flüssigkeiten. Die Zuführung des Gases erfolgt in die Saugleitung bzw. direkt in den Saugstutzen der Pumpe. Liegt der Druck des anstehenden Gases unter dem der getrennt anstehenden Flüssigkeit, ist die Pumpe lediglich saugseitig einzudrosseln. Eine Erhöhung des Gasdrucks entfällt. Die Pumpe arbeitet als dynamischer Mischer, da durch die Rotation der Speziaallaufräder der Gasanteil je nach gewähltem Betriebszustand in Lösung übergeht.

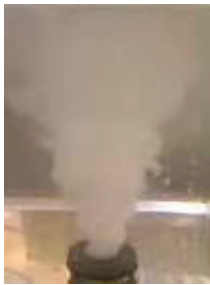


Foto: EDUR

Während des Druckaufbaus in der Pumpe findet eine Durchmischung und eine ausgezeichnete Gassättigung statt. Diese Gassättigung kann durch nachgeschaltete Lösestrecken noch gesteigert werden.

Abwasseraufbereitung durch Drucktensionsflotation

Die Drucktensionsflotation ist ein bewährtes und anerkanntes Verfahren zur Wasser- und Abwasseraufbereitung sowie zur Wertstoffrückgewinnung. Sie dient der einfachen Trennung von in Flüssigkeiten schwebenden bzw. emul-

Blasen verringern die Steiggeschwindigkeit zu stark. Zu große Blasen stören die Flotatbildung (Abb. 3).

Die maximale Löslichkeit von Luft in Wasser ist im Wesentlichen vom Sättigungsdruck, der Wassertemperatur und der Wasserqualität abhängig. Der Lösegrad eingetragener Luft beträgt im Zusammenspiel mit den anderen Anlagenkomponenten bis zu 100 %. Das Förderverhalten der Pumpe ist auch bei wechselnden Fördermengen und Luftanteilen stabil, so dass eine exakte Pumpenregelung und Anpassung an den betrachteten Prozess möglich wird.

In Abhängigkeit von den jeweiligen Anwendungen kommen die unterschiedlichsten Gase mit ihren spezifischen Eigenschaften zum Einsatz. Für die korrekte Pumpenauslegung ist die Löslichkeit des Gases in der betrachteten Flüssigkeit von herausragender Bedeutung. So liegen etwa die Löslichkeit und damit die Höhe des Gaseintrags von Luft oder Sauerstoff weit unter den Werten von Kohlendioxid.

Das hier zugrunde liegende Design der Mehrphasenpumpen ermöglicht eine direkte Zugabe des Gases in die Saugleitung. Somit können Anlagenkomponenten wie z. B. Kompressoren, Druckkessel, Pumpen, Steuerungen und Ventile gegenüber konventionellen Anlagen eingespart werden (Abb. 4).

Typische Einsatzfelder sind die Behandlung von Öl-Wasser-Emulsionen, Fettabscheidungen, Phosphatfällung und Schwermetallfällungen sowie Nachklärungen in biologischen Kläranlagen. Für die Behandlung von Sonderabfällen sind auch mehrstufige Flotationsanlagen bekannt. Viele Anlagenhersteller berichten von Einsparungen durch den Einsatz moderner Mehrphasenpumpen sowohl beim Investitionsvolumen als auch bei den laufenden Betriebskosten, die je nach Anlagentyp durchschnittlich zwischen 30 und 40 % gegenüber konventionellen Anlagen liegen.

Abb. 3: Blasengröße

Mehrphasenpumpen können nicht nur zum Fördern von Flüssigkeiten, sondern auch zur Teilgasförderung und zur Gasanreicherung eingesetzt werden.

gierten Stoffen. Dabei wird mit Luft unter hohem Druck gesättigtes Wasser auf Normaldruck entspannt und in den Abwasserbehälter geleitet. Die bei der Entspannung frei werdenden Mikroblasen lagern sich an die Schwebstoffe an und tragen diese an die Behälteroberfläche. Von hier werden sie mit Hilfe von Räumern abgescimmt. Der Partikelstrom ist also gegenläufig zu der bekannteren Sedimentation. Das Reinigungsergebnis wird im Wesentlichen von den beiden Einflussfaktoren Größe der Mikroblasen und Gasmenge bestimmt.

Um möglichst viel Flotat einzufangen, müssen feine und gleichmäßig verteilte Mikroblasen erzeugt werden. In Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Abwassers und dem Sättigungsdruck haben sich Dispersionen mit Blasengrößen zwischen 30 und 50 µm für ein optimales Reinigungsergebnis bewährt. Kleinere

Neubau und Nachrüstung bestehender Anlagen

Schlachthofabwässer:

Neben verbesserten Ablaufwerten und einem reduzierten Einsatz von Chemikalien berichten Anwender über erhebliche Energieeinsparun-

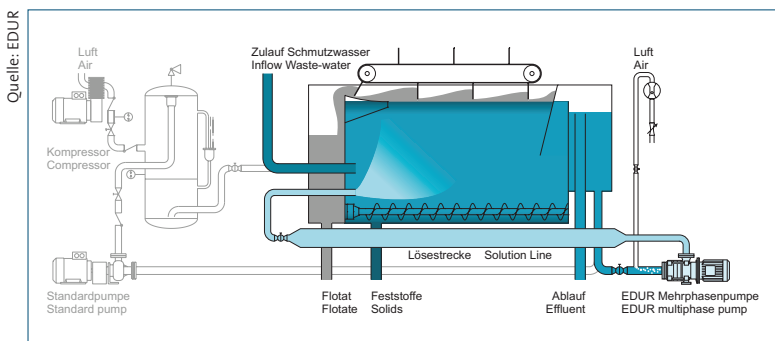


Abb. 4: Anlagenaufbau



gen nach erfolgtem Retrofitting bestehender Anlagen. So konnten die Energiekosten der in einem Schlachthofbetrieb installierten Flotationsanlage mit dem Ersatz von zwei Seitenkanalpumpen durch eine optimierte Mehrphasenpumpe deutlich gesenkt werden.

Die installierte Motorleistung wurde mehr als halbiert: Ursprünglich waren zwei Seitenkanalpumpen mit je einem 7,5-kW-Motor für einen Betriebspunkt von je 9 m³/h bei 6,7 bar mit 8,3 % Luftanteil im Einsatz. Diese sollten Fett und andere Verschmutzungen aus maschinell vorgereinigtem Schlachtabwasser (pH-Wert 7) abscheiden. Der Kunde reklamierte hierbei unzureichende Flotationswirkung (Blasenbild) und eine zu kurze Pumpenstandzeit von nur zwei Monaten.

Diese Pumpen wurden jetzt durch nur eine neu entwickelte Mehrphasenpumpe mit 5,5 kW Antriebsleistung für einen Betriebspunkt von 17 m³/h bei 5,0 bar mit ca. 15 % Luftanteil ersetzt. Das Reinigungsergebnis hat sich durch das verbesserte Blasenbild erheblich verbessert.

Zudem ist das Flotat deutlich kompakter (Abb. 5). Des Weiteren wird weniger Flockungsmittel benötigt. Die Pumpenstandzeit beträgt jetzt statt zwei Monaten drei Jahre. Auch die Energiebilanz hat sich wesentlich verbessert (von vorher 2 x 7,5 kW = 15,0 kW gesamt auf jetzt nur 5,5 kW). Es ergibt sich für 220 Arbeitstage und je 16 Stunden Betriebsdauer eine Einsparung nur an Stromkosten von über € 3.500 p. a. (bei € 0,10/ kWh). Das Retrofitting hatte sich somit bereits nach sechs Wochen amortisiert.

Kommunale Klärbwässer:

Seit 1929 werden Abwässer aus der Stadt Kiel und den angeschlossenen Umlandgemeinden über lange Schmutzwassertransportkanäle bis zur Büller Kläranlage gepumpt, dort aufbereitet und anschließend in die Ostsee geleitet.

Etwa 20 Millionen Kubikmeter Schmutzwasser pro Jahr fließen dem Klärwerk zu, das entspricht einem Anschlusswert von ca. 310.000 Einwohnern (EW) und 65.000 Einwohnergleichwerten (Industrie und Gewerbe).



Foto: EDUR

Abb. 5: Flotat

Im Zuge eines Umbaus in den Jahren 2011/2012 wurde die nachgeschaltete Flotation, die zur Klärung des Reinigungswassers der Tuchfiltration genutzt wird, vom konventionellen System mit Dispersionspumpen, Kompressor und Druckkessel auf das neu entwickelte System umgebaut. Installiert waren vier Normpumpen als Dispersionspumpen mit jeweils 15 kW Antriebsleistung, die das Recycelwasser zur Luftsättigung mit ca. 8 bar den Druckkesseln zugeführt haben. Zur Luftsättigung des Recycelwassers waren zusätzlich ein Druckkessel, zwei Lösebehälter und zwei Kompressoren mit 4 kW Leistung installiert.

Die Dispersionspumpen, Druckkessel und Kompressoren wurden durch drei der neu entwickelten Mehrphasenpumpen mit jeweils 15 kW Antriebsleistung ersetzt, wobei eine der drei Pumpen als Standby-Pumpe dient (Abb. 6).

Durch den beschriebenen Umbau wurden alle drei Komponenten (Dispersionspumpen, Druckkessel und Kompressoren) durch Mehrphasenpumpen ersetzt.

Die Pumpen saugen die benötigte Luft saugseitig in das Fördergut hinein, indem diese auf ca. 0,2 bis 0,3 bar eingedrosselt werden. Die Pumpen wirken gleichzeitig als dynamischer Mischer und bewirken nachgeschaltet durch die Druckerhöhung auf ca. 8 bar eine sehr gute Dispersion. Es ergibt sich dann bei der Entspannung in der Flotation eine feinblasige Entgasung des Fördergutes, welche zu einem sehr guten Flotationsergebnis führt.

Im Dreischichtbetrieb bei unterstellten 220 Arbeitstagen beträgt allein die Einsparung bei den Stromkosten über € 100.000 p. a. (bei 0,1 kWh).

Weltweit wurden viele kommunale Kläranlagen auf das neue Mehrphasensystem umgerüstet (Abb. 7). Sämtliche Anwender berichten über Einsparungen in einer ähnlichen Größenordnung.

Andere Projekte

Kalkhaltiges Kreislaufwasser in der Papierindustrie:

In der Papierindustrie werden kalkhaltige Ablagerungen aus dem Kreislaufwasser in Rohren, Kühlsystemen, Wärmetauschern usw. mit dem Einsatz von Kalkfallen unterbunden. Hierdurch wird der Frischwasserverbrauch deutlich reduziert und eine nachhaltige Verbesserung der Prozesszuverlässigkeit erzielt. Auch werden die Kosten für die Instandsetzung und Wartung der Systeme erheblich verringert.

Ursprünglich wurde in einer Papierfabrik ein Teilstrom von ca. 288 m³/h in einem Druckreaktor mit Druckluft gesättigt. Die eingebrachte Druckluftmenge war eingeregelt auf ca. 400 bis 500 l/min. Für die Belüftung der Flotation waren konventionell eine Standardpumpe mit 75,0 kW Motorleistung (QN 288 m³/h, HN 6,5 bar, Leistungsaufnahme bei QN ca. 68,0 kW) sowie ein 7,5-kW-Kompressor, ein Druckreaktor zur Luft-Wasser-Gemisch-Aufbereitung und ein Druckluftkessel installiert.



Foto: EDUR

Abb. 6: Kläranlage Bülk

Unter gleichen Betriebsbedingungen wurden zwei neue Mehrphasenpumpen mit 18,5 kW mit Lufteintrag vor der Pumpe installiert.

Die Ergebnisse zeigten einen einwandfreien Betrieb der Kalkfalle bei einem Förderstrom von 45 m³/h und einer Förderhöhe von 4 bar inkl. ca. 20 % Luft sowie einer Leistungsaufnahme von ca. 13,0 kW je Pumpe.

Im konventionellen System wurden insgesamt 75,5 kW (Motor und Kompressor) benötigt. Bei Einsatz der Mehrphasenpumpen ist dagegen kein Kompressor erforderlich. Die Leistungsaufnahme der beiden Pumpen liegt bei lediglich 26,0 kW.

Die Gesamtantriebsleistung reduziert sich somit um 49,5 kW oder beachtliche 65,6 %. Die jährliche Energiekostensparnis beträgt bei einem Strompreis von € 0,10/kWh und einer jährlichen Betriebsstundenzahl von 8.000 Stunden (Dreischichtbetrieb) etwa € 39.600.

Der energieeffiziente Umbau der Anlage hat sich nach etwa 5 Monaten amortisiert.

Regenerative Energien:

Bei der Verarbeitung regenerativer Energieträger wie Biodiesel, Holz, heizwertreichen Abfallfraktionen oder Tiermehl wird aus Synthesegas das inerte CO₂ ausgewaschen. Hierzu wird das Gas mit einem Verdichter in einen Absorptionsbehälter gedrückt, wo es aufsteigend eine Füllkörperschüttung durchströmt. Diese Schüttung wird von oben mit Wasser besprüht, das mit einer Mehrphasenpumpe gefördert wird. Das Wasser reichert sich mit dem CO₂ aus dem Synthesegas an und wird anschließend in einem Desorptionsbehälter weitgehend entgast. Da dieses Wasser noch zu 100 % gesättigt ist, entstehen beim erneuten Ansaugen Gasbläschen, die jedoch durch die Mehrphasenpumpe wieder eingelöst werden – der Kreislauf beginnt erneut.

Rohstoffgewinnung:

Historisch belegbar begann die Flotationstechnik mit der Gewinnung von Rohstoffen. Der Großteil etwa der Kupfergewinnung beruht auf Roherzen, die gebrochen, in Gesteinsmühlen zermahlen und danach der Flotation zugeführt werden. Feine Luftbläschen befördern die Mineralpartikel an die Wasseroberfläche und halten sie in der Schaumdecke. Durch das Wasser-Luft-Gemisch und Beigabe von Flotationshilfsmitteln wird das Kupfererz gleichzeitig von anderen Erzen getrennt. Die Erzkonzentrate werden dann im weiteren Prozess verhüttet.



Foto: EDUR

Abb. 7: Kommunale Kläranlage Columbia, Ohio (USA)

Ammoniak-Stripanlage:

Dem Düngemittel-Produktionsprozess ist eine Stripanlage nachgeschaltet, die den Ammoniak-Stickstoffgehalt und den chemischen Sauerstoffbedarf (COD) im Abwasser des Prozesses auf die gesetzlichen Richtwerte reduziert. Das Abwasser wird zunächst in Bodennähe in den Tank eingeleitet und von dort in eine Mehrpha-

Überlegene Prozesssicherheit, Energieeffizienz, die Vereinfachung des Anlagenkonzepts sowie die Reduzierung störanfälliger und wartungsintensiver Anlagenkomponenten ergeben eine breite Akzeptanz des innovativen Mehrphasenkonzepts.

senpumpe geführt, wobei Luft eingesaugt und unter Druck in Lösung gebracht wird. Nach der Entspannung gelangt das so entstandene Wasser-Luft-Gemisch über Düsen von oben zurück in den Tank. Durch diese Berieselung wird das Ammoniak im Abwasser frei und kann gasförmig an den Düngemittel-Produktionsprozess zurückgeleitet werden.

Kühlwasseraufbereitung mit Ozon:

Das innovative Konzept der Mehrphasenpumpe führte zur Teilnahme am siebten Rahmenprogramm der EU für Forschung und technologische Entwicklung. Marines Bio-Fouling ist ein Hauptproblem für Materialien, die in andauerndem Kontakt mit Seewasser stehen. Ablagerungen von Seewasserorganismen beeinflussen die Funktion der Antriebe und anderer Einrichtun-

gen an Bord, die eine gleichmäßige Kühlung benötigen – und damit die Sicherheit der Schiffe.

Das Projekt umfasst die Entwicklung eines Systems zur Vermeidung von Bio-Fouling. Mittels Ozon soll die Qualität des Seewassers zur Kühlung der Schiffsmotoren verbessert und auf diese Weise erhebliche Instandsetzungskosten vermieden sowie ein störungsfreier Betrieb der Seeschiffe gewährleistet werden.

Rohöl-Wasser-Separation:

Anstelle von Hydrozyklonen kann die Gemischtrennung ebenfalls durch Flotationstechnik und Mehrphasenpumpen erfolgen. Generell fällt bei der Rohölförderung in erheblichem Umfang ein Öl-Wasser-Gemisch an. Mit Mehrphasenpumpen ausgestattete Flotationsanlagen separieren Öl und Wasser. Das gewonnene Öl wird weiterverarbeitet, das Wasser wieder in die Bohrlöcher zurückgeführt. Im Gegensatz zu industriellen Anwendungen sind die Mehrphasenpumpen allerdings aus Beständigkeitsgründen in Superduplex auszuführen. Die Wellenabdichtung erfolgt nach sogenanntem API-Plan (API 682 / ISO 21049). Statt Umgebungsluft wird im Wesentlichen Methan zur Separation verwendet.

Ergebnis

Überlegene Prozesssicherheit, Energieeffizienz, die Vereinfachung des Anlagenkonzepts und damit einhergehend die Reduzierung störanfälliger und wartungsintensiver Anlagenkomponenten ergeben eine breite Akzeptanz des innovativen Mehrphasenkonzepts. Sowohl die großen Einsparungen bei den Investitionen als auch die deutlich niedrigeren laufenden Kosten gegenüber dem bisherigen Aufwandsaufbau führten zu sehr kurzen Amortisationszeiten. Selbst das Retrofitting bestehender Anlagen rechnete sich bereits nach kurzer Zeit.

Autor:

Dr. Jürgen Holdhof

EDUR-Pumpenfabrik

Eduard Redlien GmbH & Co. KG, Kiel