

# Pumpensysteme in Unterwasserproduktionsanlagen

**ISUP-PROJEKT** Im Rahmen des Workshops der GMT im Mai 2008 zum Thema „Maritime Technik und Systeme in tiefem Wasser“ wurde das vom BMWi geförderte Projekt ISUP (Integrated Systems for Underwater Production of Hydrocarbons) in einer Vortragsfolge vorgestellt. In der Ausgabe von Schiff & Hafen 10/08 ist das Automatisierungssystem IMPaC-DCAS vorgestellt worden. Der Beitrag zum letzten Teilprojekt von ISUP erscheint in der nächsten Ausgabe von Schiff & Hafen. Dieser Beitrag der Joh. Heinr. Bornemann GmbH beschäftigt sich mit dem Herz einer Unterwasserproduktionsanlage: dem Pumpensystem und dessen Energieversorgung.

Axel Jäschke

Die Erdöl- und Erdgasgewinnung weitet sich in den letzten Jahrzehnten immer mehr auf die offene See aus. Damit steigen die Wassertiefen an, und die Bereitstellung der für die sichere Produktion notwendigen technischen Hilfsmittel wird immer aufwendiger.

Wenn in flachem Wasser (bis einige hundert Meter Wassertiefe) die Installation von Plattformen oder anderen oberflächengestützten Anlagen noch ökonomisch war, ist dies bei großen Wassertiefen von 1000 m und tiefer häufig nicht mehr sinnvoll.

In diesen Fällen werden schon seit Jahrzehnten die Öl- und Gasbohrlöcher als Unterwasserbohrungen betrieben, das heißt die Bohrlöcherköpfe mit

den notwendigen Sicherheitseinrichtungen befinden sich unter Wasser, direkt auf dem Meeresgrund. Die Produktion wird von diesen Bohrungen über Rohrleitungssysteme zur nächsten Sammelstation oder Aufbereitungsanlage an der Oberfläche – an Land oder offshore – geleitet. Öl- und Gasbohrungen werden zukünftig in Meerestiefen von mehreren tausend Metern betrieben.

Ein besonderes Kennzeichen der Öl- und Gasproduktion ist der mit der Zeit abfallende Druck in den untertägigen Lagerstätten. Zu Beginn des Förderzeitraums ist der Lagerstättendruck meistens hoch genug, um die Produktion ohne zusätzliche Hilfsmittel bis zum Bohrlöcherkopf und weiter durch die Rohrleitungssysteme

bis zur Sammelstation an Land oder der Meeresoberfläche hinaufzudrücken. Mit der Zeit lässt der Druck nach und die Produktionsraten gehen zurück. Ab einem bestimmten Zeitpunkt müssen zusätzliche Maßnahmen getroffen werden, um die Produktion aufrecht zu erhalten. Unter anderem werden hierfür Spezialpumpensysteme eingesetzt.

Bei der Ölproduktion befindet sich das Rohöl in der Lagerstätte unter hohem Druck. Auf dem Weg des Rohöls aus der Lagerstätte hoch bis zum Bohrlöcherkopf und weiter bis zur Wasseroberfläche sinkt der Druck im Öl und damit treten aus dem Öl gelöstes Gas und mitgeführte leichterflüchtige Kohlenwasserstoffkomponenten aus. Zudem wird mit

dem Rohöl, gerade in älteren Bohrungen, häufig Formationswasser mitgefördert. Bei der Ölproduktion wird das Gemisch aus Öl, Wasser und Gas als Mehrphasengemisch oder Multiphasemixture bezeichnet.

Die oben genannten Spezialpumpensysteme können das beschriebene Öl-/Wasser-/Gas-Gemisch gemeinsam ohne vorherige Trennung der Phasen verpumpen. Diese Pumpen werden als Multiphasen-Pumpen (multiphase pumps) bezeichnet.

Seit ca. zwei Jahrzehnten wird von den Öl- und Gasproduzenten die Installation von Unterwasser-Produktionsanlagen vorangetrieben. Unterwasser-Produktionsanlagen können Multiphasen-Pumpen, Separatoren, Kompressoren und andere technische Komponenten enthalten. Alle diese Bauteile benötigen eine Überwachung und Steuerung. Zudem brauchen die Pumpen und Kompressoren Energie zum Antrieb. Als einzig sinnvolle Energieform hat sich hier die elektrische Energie herausgestellt. Typische Anlagen brauchen heute Leistungen im Bereich von einem bis mehreren Megawatt an Antriebsleistung. Diese Energie muss über lange Distanzen angestrebt sind hundert Kilometer und mehr übertragen werden können.

Energie, Signale und Hilfsfluide werden heutzutage gemeinsam durch sogenannte

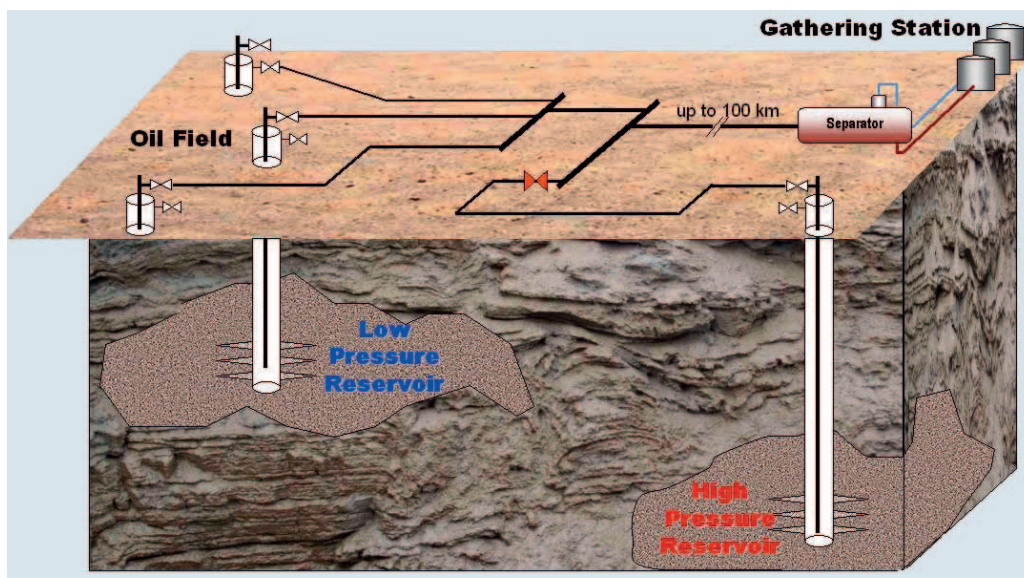


Abb. 1: Produktions-Szenario von der Formation bis zur ersten Sammelstelle im Feld



Abb. 2: Installation von zwei Bornemann Subsea Pumpen

Umbilicals von den Anlagen an der Oberfläche zu den Unterwasser-Produktionsanlagen übertragen. Ein Umbilical ist die Verbindungsleitung zu einer Unterwasser-Anlage und fasst Elektroleitungen, Glasfaserkabel, Hydraulikrohre zu einer gemeinsamen „Nabelschnur“ zusammen. Die Zugänglichkeit zu allen Unterwasseranlagen ist sehr schwierig. Zum einen ist die Wassertiefe an sich bereits eine Herausforderung, zum anderen wird versucht, mit

Hilfe von Unterwasser-Anlagen auch sonst unzugängliche, weil zeitweise eisbedeckte Gebiete zu erschließen. Zuverlässigkeit und Wartungsfreiheit der Anlagen für lange Zeit ist eine wesentliche Voraussetzung für den ökonomischen Betrieb. Die Firma Bornemann (Joh. Heinr. Bornemann GmbH) in Obernkirchen bei Hannover beschäftigt sich seit ca. 30 Jahren mit der Entwicklung und Herstellung der Multiphasenpumpen und seit ca.

zehn Jahren auch intensiv im Rahmen von verschiedenen Forschungsprojekten mit der Entwicklung von Subsea-Multiphasen-Pumpen.

In Kooperation mit AkerSolutions (damals noch AkerKvaerner) wurden in den Jahren 2006 und 2007 mehrere Unterwasser-Multiphasen-Anlagen installiert und in Betrieb genommen.

Das Kooperations-Forschungsvorhaben ISUP beschäftigt sich seit ca. zwei Jahren intensiv mit Teilsystemen einer Unterwasser-Produktionsanlage. Die Firma Bornemann ist daran mit dem Teilprojekt MBS (Multiphase-Boosting-System Subsea) beteiligt, das nachstehende Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte umfasst:

- ▶ Energieübertragung von großen Leistungen über lange Entfernungen durch Seekabel
- ▶ Drehzahlregelung der Subsea-Pumpen
- ▶ Wirkungsgrad Verbesserung von Mehrphasen-Systemen durch Einsatz von Jet-Pumpen.
- ▶ Energiegewinnung aus druckstarken Bohrungen

durch Einsatz von Mehrphasen-Motoren.

### Energieübertragung

An der Oberfläche werden Multiphasen-Pumpen heute fast ausnahmslos mit Asynchronmotoren betrieben. Die Drehzahlregelung erfolgt durch Frequenzmodulation der in den Motor eingespeisten Wechselströme in den vorgeschalteten Frequenzumrichtern.

Die Übertragung von Wechselströmen über lange Kabel bereitet auf mehreren Ebenen Probleme:

- ▶ hohe Betriebskapazität des Kabels aufgrund der geringen Abstände der leitenden Pole
- ▶ Blindleistung nimmt mit der Kabellänge und der Betriebsfrequenz zu
- ▶ hohe Verluste im Kabel
- ▶ Laufzeiteffekte mit eingeschränkter Dynamik
- ▶ Überspannungen
- ▶ Wanderwellen.

Eine komplexe Modellierung und Analyse des Gesamtsystems Pumpe, Motor, Kabel, Frequenzumrichter, elektrische Filter, Transformatoren usw. sind erforderlich. Eine ers- ▶

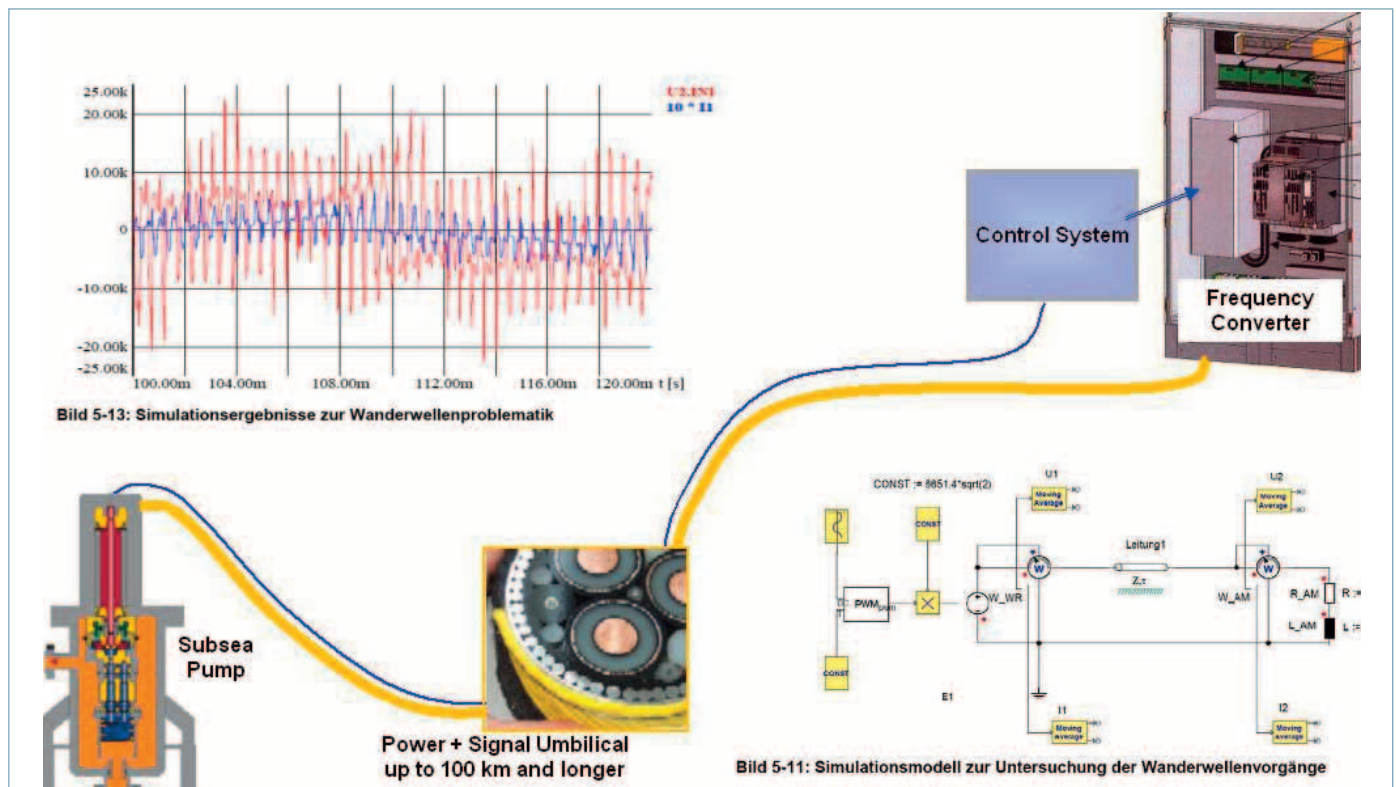


Abb. 3: Energieübertragung über lange Kabel – Darstellung des Aufbaukonzeptes, des elektrischen Ersatzmodells und der simulierten Signalqualität an der Pumpe

te wichtige Erkenntnis dieser theoretischen Untersuchungen ist, dass nur eine intelligente Steuerung, unter Einbeziehung aller aktiven Komponenten, mit ausreichend Informationen zum jeweiligen Betriebsverhalten in der Lage sein wird, die Energieversorgung des Unterwasser-Motors zuverlässig sicherzustellen.

Die sich ergebenden Lösungen für den Unterwassereinsatz lassen sich evtl. auch an Land und auf Plattformen nutzen. Speziell in unzugänglichen Gebieten wie Wüsten, Tundren, oder eisbedeckten Gebieten ist ein Bedarf an zentralisierten Energieversorgungsstationen mit dezentral installierten Pumpenstationen erkennbar.

**Drehzahlregelung**

Die frequenzmodulierte Drehzahlregelung von elektrischen Antrieben ist heute Stand der Technik. Hierfür benötigt jeder Motor einen eigenen Frequenzumrichter. Da diese komplexen elektrischen Geräte für den Subsea-Einsatz derzeit kommerziell nicht verfügbar sind, muss jeder Motor über ein separates langes Subsea-Kabel mit einem eigenen Frequenzumrichter an der Oberfläche verbunden werden.

Alternativ zu der elektrischen Drehzahlregelung von Pumpen ist der Einsatz von drehzahlregelbaren Getrieben denkbar. In den betrachteten Leistungsklassen von 0,5 bis 5 MW, und unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen im Unterwasser-Einsatz kommen hier nur hydraulische Getriebe in Frage. Es wurden

- ▶ hydrostatische Getriebe
- ▶ hydrodynamische Getriebe diesbezüglich untersucht.

Die Funktionsweise beider Varianten ist konzeptionell ähnlich. Eine Pumpe erzeugt einen hydraulischen Energiestrom, der von einem Motor bzw. einer Turbine in mechanische Leistung zurückverwandelt wird. Durch Beeinflussung des hydraulischen Verhaltens wird die Drehzahl bzw. die Leistung auf den gewünschten

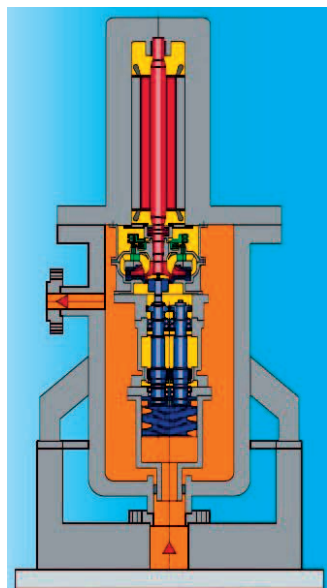


Abb. 4: Subsea Pumpe mit integriertem Drehzahlwandler

Wert am Abtrieb des Getriebes eingeregelt.

Hydrostatische Getriebe bestehen durch ihren recht guten Wirkungsgrad über den gesamten Betriebsbereich, hydrodynamische Getriebe durch ihre extrem verschleiß- und wartungsarme Mechanik sowie ihre gute Eignung für hohe Übertragungsleistungen von 5 MW und darüber hinaus.

Aus diesen Gründen wird in Zusammenarbeit mit dem Forschungspartner VOITH TURBO eine Unterwasserpumpeneinheit mit integrierter VOITH Turbokupplung entwickelt. Die begleitenden

Tests werden bis Mitte nächsten Jahres abgeschlossen sein.

**Mehrphasen-Strahl-Pumpe**

Die Bereitstellung von Energie auf dem Meeresgrund ist eine besondere technologische Herausforderung, die mehr und mehr auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet und optimiert werden muss. Deshalb kommt der Steigerung des Wirkungsgrades des Gesamt-Pumpen-Systems eine besondere Bedeutung zu.

Gerade bei Produktionsanlagen mit sehr hohem Gasanteil (über 90 % Gas) kann eine zusätzliche Kompression des Gases vor Eintritt in die Multiphasen-Pumpe großen Einfluss auf die Antriebsleistung der Multiphasen-Pumpe haben.

Eine Strahlpumpe (Jet-Pumpe) ist ein mechanisch einfaches Bauteil, welches hydraulische Energie vom Treibstrom direkt auf den Förderstrom überträgt und damit den Druck im Förderstrom anhebt.

Der Treibstrom wird der Multiphasen-Pumpe auf der Druckseite entnommen und dem Förderstrom saugseitig durch die Jet-Pumpe zugeführt.

Bei günstigen Betriebsbedingungen kann der Energieaufwand zum Transport des Förderstromes leicht halbiert werden.

Jet-Pumpen bestehen gerade für den Unterwassereinsatz durch ihre einfache und extrem robuste Bauform ohne jegliche bewegliche Teile. Allerdings schränkt der recht schlechte Wirkungsgrad der Strahlpumpe von praktisch höchstens 10 % den Einsatzbereich ein.

Derzeit werden detaillierte Untersuchungen zum komplexen Verhalten von Kohlenwasserstoff/Wasser-Gemischen in Zusammenhang mit dem Betrieb der Jet-Pumpe durchgeführt.

**Multiphasen-Motor**

Die Idee, aus druckstarken Öl- und Gasbohrungen – also Bohrungen, die mehr Druck bereitstellen, als für den Transport des Mehrphasengemisches notwendig ist – überschüssige hydraulische Energie in elektrische Energie umzuwandeln, ist nicht ganz neu.

Große Anstrengungen zur Ausnutzung dieser Energie wurden jedoch bisher nicht unternommen. Einerseits liegt das Betreiberinteresse nicht in der Stromerzeugung selber und lokal benötigte Energie konnte günstig durch den Einsatz von Gasmotoren und Turbinen erzeugt werden. Zudem ist derzeit keine adäquate Technologie zur Ausnutzung der hydraulischen Energie aus Mehrphasengemischen vorhanden, die die ökonomi-

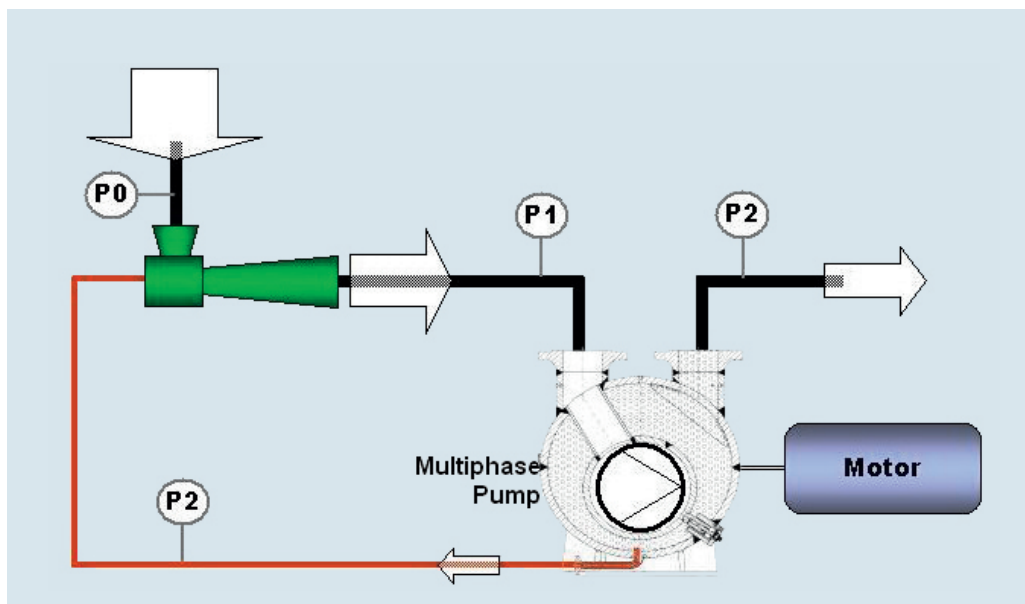


Abb. 5: Typisches Installations-Schema einer Jet-Pumpe

schen Anforderungen zu erfüllen vermag.

Subsea kann das jedoch anders aussehen. Hier sind die Kosten zur Bereitstellung von elektrischer Energie extrem hoch und der Einsatz von Verbrennungskraftmaschinen unter Wasser ist kaum möglich.

Aber auch an der Oberfläche werden die Energiekosten immer weiter steigen. Gas wird teurer und steht damit nicht mehr fast kostenlos zur Verbrennung in Gasmotoren bereit. Und ähnlich wie bei Windkraftanlagen könnte langfristig die Nutzung von überschüssiger potentieller Energie (Druck) bei der Öl- und Gasproduktion interessant werden.

Wie bei den Multiphasen-Pumpen müssen auch die Multiphasen-Motoren mit dem natürlichen Gemisch aus Öl, Wasser und Gas zu recht kommen. Die Modifi-

kation der erprobten Technik der Multiphasen-Pumpe und deren Anpassung auf die Anforderungen eines Multiphasen-Motors werden zurzeit untersucht.

Ein erstes interessantes Einsatzgebiet als Unterwasser-Notstromaggregat wurde bereits mit potentiellen Kunden diskutiert.

#### Aktueller Stand

Die wissenschaftlichen Untersuchungen zu den Forschungsthemen wurden weitgehend abgeschlossen. Die theoretischen Ergebnisse werden in den kommenden Monaten anhand von realen Test-Modellen auf einem eigens hierfür entwickelten Prüfstand überprüft. Die Umsetzung der Erkenntnisse in marktreife Produkte muss vorangetrieben werden. Weitere wissenschaftliche Anstrengungen werden notwendig bleiben, um den stetig steigenden Technolo-

gieanforderungen der Öl- und Gasproduzenten mit konkurrenzfähigen und zuverlässigen Lösungen begegnen zu können.

Es hat sich gezeigt, dass Partnerschaften mit wissenschaftlichen Instituten, Universitäten und spezialisierten Hochtechnologie-Firmen notwendig sind, um diese anspruchsvollen Aufgaben lösen zu können.

Im Bereich der Energiebereitstellung und Energieübertragung über lange Distanzen, und besonders unter Wasser sind noch viele offene Fragen zu beantworten. Im Hinblick auf die Energiesituation in der Welt, der erkennbaren Verknappung von fossilen Energiereserven und dem steigenden Energiebedarf von Schwellenländern fällt der effizienten Übertragung von Energie und der Ausnutzung aller Energiequellen eine besondere Bedeutung zu.

#### Der Autor:

Dipl.-Ing. Axel Jäschke,  
Leiter des Forschungsvorhabens MBS Multiphase Boosting Systems Subsea,  
Joh. Heinr. Bornemann GmbH, Obernkirchen

### ► NACHTRAG

#### Autorenangaben ISUP-Projekt Schiff&Hafen 10/08

Zum Artikel „Asset Management über das Internet bis in die Tiefsee“ aus Ausgabe 10/08 lauten die vollständigen Autorenangaben:  
Dr.-Ing. Sven Hoog und Dipl.-Ing. (FH) Hartmut Kupke, IMPaC Offshore Engineering GmbH, Hamburg, sowie  
Dipl.-Inform. Dipl.-Ing. (BA) Günther Reimann, Dr.-Ing. Igor Tchouchenkov und Prof. Dr.-Ing. Heinz Wörn, Universität Karlsruhe (TH)

## Schiff&Hafen online

www.schiffundhafen.de

## zeigt sich von einer neuen Seite!

- Mehr tägliche Branchen-News, jetzt nach Rubriken sortiert
- Alle wichtigen Termine für Sie auf einen Blick
- Video-Specials von wichtigen Branchen-Events
- Fachbücher inkl. Probelesen- und E-Book-Funktion
- Übersicht aller Studien- und Ausbildungsmöglichkeiten im Bereich maritime Technik
- Online-Jobbörse
- Buyers Guide

NEU!

