

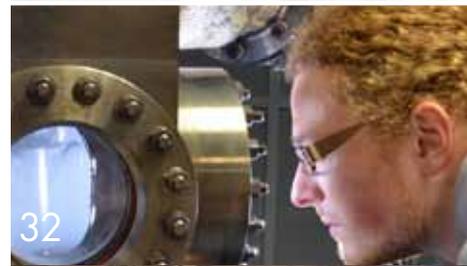
Maritime Erfolgsgeschichten

Forschung für Schifffahrt und Meerestechnik



Inhalt

| | |
|---|----|
| Schifffahrt und Meerestechnik für das 21. Jahrhundert | 4 |
| Begegnung an Land | 6 |
| Abwehr tückischer Invasoren | 12 |
| Bauen am virtuellen Schiff. | 16 |
| Wenn Passagiere zu Software-Agenten werden. | 20 |
| Punktgenaues Manövrieren bei langsamer Fahrt | 24 |
| Sicherheit auch bei rauer See | 26 |
| In der Schatzkammer | 28 |
| Weniger Emissionen bei Fahrt auf hoher See | 32 |
| Gefährdete Giganten | 34 |
| Schluss mit dem Fehlerteufel | 38 |
| Treffsicherheit im Vorentwurf | 40 |
| Hightech in Aspik. | 43 |
| Arbeitsplatz Tiefsee | 46 |
| Eine Hoffnung für die Ölunfallbekämpfung | 49 |
| Forschung mit Hebelwirkung | 52 |
| Maritime Technologien der nächsten Generation | 55 |



Schifffahrt und Meerestechnik für das 21. Jahrhundert

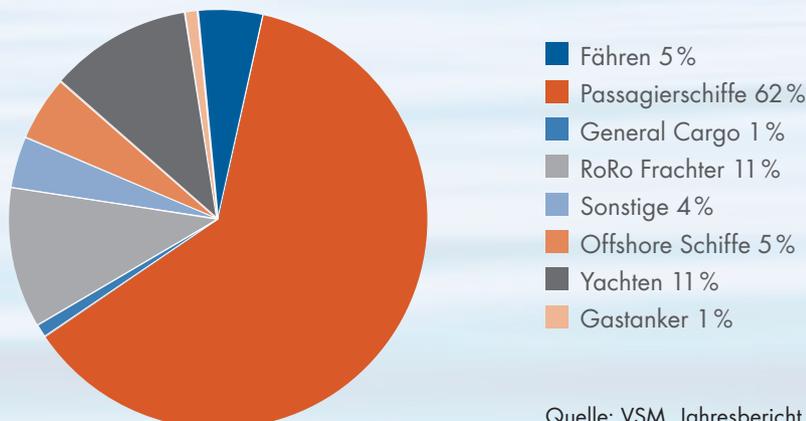
Mit der Globalisierung aller Märkte rücken Länder und Kontinente enger zusammen. Ozeane, die einst trennten, haben sich von beschwerlichen Handelswegen zu Schnellstraßen des internationalen Güterverkehrs gewandelt, laden Kreuzfahrer zu Entdeckungstouren ein, und nach und nach erkennen wir, von welch unschätzbarem Wert die Rohstoff- und Energie-Ressourcen sind, die das Meer oberhalb und unterhalb seiner Oberfläche für uns Menschen bereithält.

Die maritime Wirtschaft ist von herausragender Bedeutung für die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit Deutschlands als Technologie-, Produktions- und Logistikstandort. Seit Mitte der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts fördert die Bundesrepublik Deutschland deshalb kontinuierlich Forschung und Entwicklung in den Hochtechnologiebranchen Schiffs- und Meerestechnik; seit 2006 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Mit der Fortschreibung des Programms „Schifffahrt und Meerestechnik für das 21.

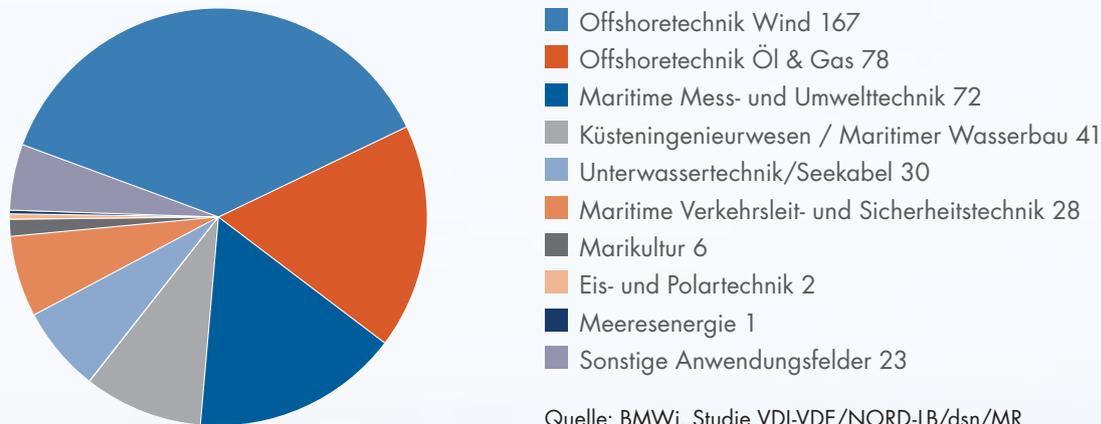
Jahrhundert“ hat das BMWi in der Zeit von 2005 bis 2010 einen besonderen Akzent auf die Forschungsförderung in vier Technologiefeldern gelegt. In der **Schiffstechnik** ging es darum, mit der Entwicklung neuartiger Hightech-Schiffe und -Komponenten die Technologieführung deutscher Unternehmen auszubauen. In der **Produktion** lag der Schwerpunkt auf der Optimierung der Prozesse in den Werften und bei den Zulieferern, um den Unternehmen Produktivitätssteigerungen und damit einhergehende Kostensenkungen zu ermöglichen. Um den **Transport** von Gütern vermehrt auf die Bundeswasserstraßen zu verlagern, galt es etwa, Umschlagtechniken und Schiffskonstruktionen an die Bedingungen von Binnen- und Küstengewässern anzupassen. Und schließlich lag ein Schwerpunkt der Forschungsförderung auf der **Meerestechnik**: Seitdem natürliche Ressourcen wie Öl, Gas oder wichtige mineralische Rohstoffe an Land immer knapper werden, wachsen in diesem Bereich der maritimen Wirtschaft die Herausforderungen an Mensch und Technik mit zunehmender Wassertiefe gewaltig.

Auftragsstruktur deutscher Werften Ende 2011, differenziert nach Schiffstypen



Quelle: VSM, Jahresbericht 2011

Anzahl der meeres-technischen Betriebe im jeweiligen Hauptanwendungsfeld in Deutschland



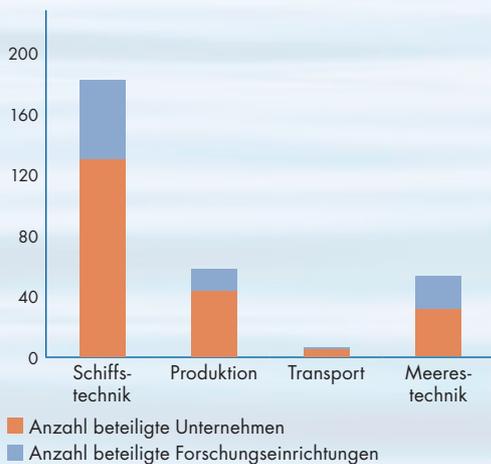
Quelle: BMWi, Studie VDI-VDE/NORD-LB/dsn/MR

In dieser Broschüre stellen wir die Ergebnisse einiger schon abgeschlossener Forschungsprojekte vor. Aus den Berichten der Beteiligten lässt sich heraushören, dass sich das jeweils angestrebte Forschungsziel – sei es ein neues Produkt oder eine neue Dienstleistung für die maritime Wirtschaft – nicht per Knopfdruck erreichen ließ, denn Forschung ist häufig ein Prozess mit ungewissem Ausgang entlang eines Weges voller Windungen und Wendungen. Das verlangte den Forscher-

teams Energie, Ausdauer und Geduld im Übermaß ab.

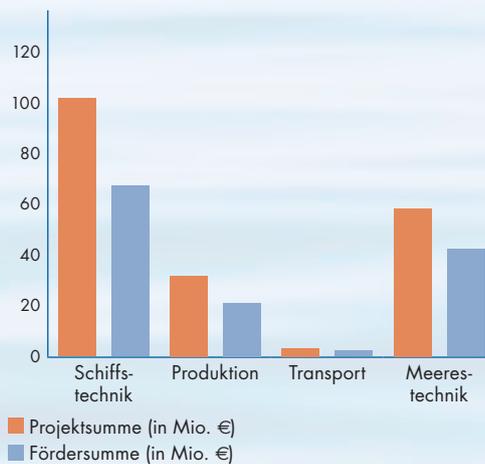
Aber auch das zeigen die Berichte: Der Lohn ist die Verwirklichung des Neuen, dessen Nutzen die Forscher nur in großer Vorfreude vorausahnen konnten, als sie an den Start gingen. Und natürlich der Markterfolg, der nicht nur individuell zählt, sondern zugleich immer auch ein Baustein für die Zukunftsfähigkeit unseres Landes ist. ■

Anzahl der geförderten Forschungsprojekte im Zeitraum 2005–2010



Quelle: Profi-Datenbank, PTJ

Finanzvolumen der Forschungsprojekte und Umfang der staatlichen Förderung im Zeitraum 2005–2010



Quelle: Profi-Datenbank, PTJ

Begegnung an Land

Der Schiffbauer Wolfgang Bühr und der Meerestechniker Günther F. Clauss treffen sich in Berlin, um im Interview Perspektiven der Forschung und ihrer Förderung auszuloten. Beide haben sich über ihr gesamtes Berufsleben hinweg in Forschungsprojekten dafür engagiert, dass die maritime Wirtschaft in Deutschland auch in einem schwierigen weltwirtschaftlichen Umfeld auf Erfolgskurs fahren kann.



Forschung und Entwicklung in Schifffahrt und Meerestechnik fördert die Bundesregierung kontinuierlich im Rahmen von fünfjährigen Programmperioden. Was macht aus Ihrer Sicht den besonderen Charme dieser Forschungsprogramme aus?

Prof. Dr.-Ing. Günther F. Clauss: Für mich ist es die gewollte Partnerschaft von Wissenschaft und Industrie. Das vitale Interesse des Staates – und somit unserer Gesellschaft – an Synergieeffekten, die in der Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis in diesen Projekten der Verbundforschung geradezu entfesselt werden.

Dipl.-Ing. Wolfgang Bühr: Wenn wir in der maritimen Industrie erfolgreich sein und bleiben wollen, müssen wir mit der Wissenschaft darüber diskutieren, was mittelfristig in den nächsten drei oder fünf Jahren oder auch längerfristig gemacht werden kann bzw. gemacht werden muss. Die Zusammenarbeit in den Projekten öffnet uns dafür den Blick.

Clauss: Ich habe eine sehr positive Erfahrung gemacht: In der Projektzusammenarbeit hat die Rivalität unterschiedlicher Interessen von Industrie und Wissenschaft kaum eine Rolle gespielt.

Wie finden sich die Projektpartner?

Bühr: Ein guter Ausgangspunkt für ein gemeinsames Forschungsprojekt ergibt sich immer dann, wenn sich die Interessenten für ein Projekt schon aus einer früheren Zusammenarbeit kennen und die Fachkompetenz der Partner zu schätzen wissen. Für uns in der Industrie birgt eine solche produktive Projektzusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Hochschulen neben der Erreichung des unmittelbaren Projektziels beispielsweise auch die Chance, potenzielle neue Mitarbeiter kennenzulernen.

Clauss: Dies ist natürlich eine Wechselbeziehung: Auch wir an den Hochschulen profi-



„Wenn wir in der maritimen Industrie erfolgreich sein und bleiben wollen, müssen wir mit der Wissenschaft diskutieren“, sagt Wolfgang Bühr (rechts), „die Zusammenarbeit in Forschungsprojekten öffnet uns den Blick für das, was getan werden muss.“ „Es profitieren beide Seiten“, ist Professor Günther F. Clauss (links) überzeugt: „Synergieeffekte werden in den Projekten der Verbundforschung geradezu entfesselt.“

tieren von der Zusammenarbeit in indirekter Weise, indem wir zum Beispiel Spitzenleute aus der Wirtschaft für Lehraufträge gewinnen können.

Sind die Forschungsprogramme thematisch richtig justiert?

Bühr: Die thematische Entwicklung der Programme ist ein interaktiver Prozess. Gegen Ende der Förderperiode 2005 bis 2010 wurden zu jedem Schwerpunkt Arbeitsgruppen gebildet, um auch das Know-how der Akteure – also unsere Einschätzungen und bisherigen Erfahrungen – in die strategischen Überlegungen zur Weiterentwicklung einfließen zu las-

sen. Ich habe hier zum Beispiel angeregt, in künftigen Verbundforschungsprojekten stärker als bisher auf die Prozessabläufe zu achten, die bei uns Herstellern und bei unseren Kunden von Bedeutung sind.

Clauss: Also, ich bin sicher, dass sowohl in der Vergangenheit als auch im Rahmen des aktuellen BMWi-Programms, das mit „Maritime Technologien der nächsten Generation“ überschrieben ist, Technologieentwicklungen stattfanden und stattfinden, die mittel- bis langfristig extrem wichtig sind – und sich in der Rückschau auch immer als wichtig erwiesen haben. So haben wir zum Beispiel in einem Projekt mit dem Kürzel SOS, das für seegangsunabhängiger Ölskimmer



steht, einen neuartigen Skimmer zur Öl-Unfallbekämpfung entwickeln können. Oder ein anderes Beispiel, bei dem wir noch am Anfang der Arbeit stehen: Wir haben an meinem Fachgebiet ein Programm entwickelt, mit dem wir im übertragenen Sinne in die Zukunft sehen können. Man kann damit nämlich die von einem Seegangsradar in größerer Entfernung erfassten Wellen mithilfe schneller Rechentechnik analysieren und weiß dann, was in drei Minuten vor Ort los sein wird. Drei Minuten – das ist zwar kein sehr weiter Blick in die Zukunft. Er reicht aber aus, um entscheiden zu können, ob etwa eine Kran-Operation zwischen einem Schiff und Offshore-Einrichtungen sicher auszuführen ist, wenn diese nur eine oder zwei Minuten in Anspruch nimmt.

Bühr: Auch Forschungsschiffe mit extrem teurem Equipment an Bord müssen in Schlechtwetterlagen flexibel einsetzbar sein. Da braucht man ebenfalls eine Vorausschau auf das Bewegungsverhalten des Schiffs in der nächsten Minute.

Clauss: Oder zur sicheren Hubschrauberlandung auf einer schwimmenden Plattform.

Günther F. Clauss: „Dass der Schiffbau in Deutschland noch und die Meerestechnik überhaupt existieren und prosperieren, ist zu einem großen Teil den schnellen und flexiblen Förderstrukturen des Bundes zu verdanken.“

Bühr: Was diese Beispiele zeigen: In den gemeinsamen Projekten zwischen Industrie und Wissenschaft versuchen wir immer, Antworten auf Fragen zu bekommen, die sich uns in der Praxis stellen, und wir versuchen gemeinsam, Lösungen zu entwickeln.

Dabei ist für Sie als Wirtschaftspartner der Eintritt in die Verbundforschung nicht zum Nulltarif zu haben. Unternehmen müssen einen erheblichen Teil der veranschlagten Gesamtkosten eines Projekts selbst beibringen.

Bühr: Nicht nur aus diesem Grund ist es häufig nicht einfach, die Notwendigkeit einer Beteiligung an den staatlicherseits geförderten Verbundforschungsprojekten im eigenen Haus zu kommunizieren. Insbesondere da die Ergebnisse aus dieser Forschungszusammenarbeit ja häufig erst mittel- oder langfristig wirtschaftlich fruchtbringend sind. Aber im Rückblick auf die letzten Jahrzehnte muss ich sagen, dass sich dieser Dialog mit der Wissenschaft und das Bemühen, weit vorzuschauen, für uns in der maritimen Wirtschaft als beste Vorsorgemaßnahmen herausgestellt haben. Andernfalls gäbe es unsere Werft in Flensburg vielleicht gar nicht mehr. Vor etwa 15 Jahren haben wir erkannt, dass der Bau von Serienschiffen in Europa keine Zukunft hat. Dafür sind unsere Lohnkosten einfach zu hoch. Wir mussten die Fähigkeit entwickeln zu erkennen, wo neue Chancen liegen.

Clauss: Man kann wohl sagen: Dass der Schiffbau in Deutschland noch und die Meerestechnik überhaupt existieren und prosperieren, ist zu einem großen Teil den schnellen und flexiblen Förderstrukturen des Bundes zu

verdanken. Und das hat sich als sehr segensreich erwiesen, denn es handelt sich hier um Querschnittstechnologien. Wenn wir heute die Experten auf der Ebene Schiffbau und Meerestechnik nicht hätten, stünde es zum Beispiel nicht gut um das Ziel, Offshore-Windenergie in großem Maßstab für die Energiewende zu nutzen.

Bühr: Als in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts erste Experimente unternommen wurden, Windenergie großtechnisch zu nutzen, war uns in der maritimen Wirtschaft relativ schnell klar, dass das auf die See hinausgehen würde und damit Problemlagen zu lösen waren, in denen unser Know-how gefragt sein würde.

Clauss: Da geht es zum Beispiel um die Fundamente der Windenergieanlagen und deren Installation, wie wir sie in der Meerestechnik für Förderplattformen längst entwickelt haben. Aber die Energieunternehmen dachten zunächst, mit den für die Energiegewinnung an Land hoch entwickelten Anlagen einfach aufs Meer gehen zu können. Erst später kamen dann Fragen auf. Etwa: Wie müssen die Fundamente in der völlig andersgearteten Umwelt aussehen? In der Meerestechnik haben wir inzwischen Plattformen für Wassertiefen von 300, 400 oder gar 500 Metern entwickelt, sodass Fundamente für die jetzt geplanten Windfarmen in 40 Metern Wassertiefe im Prinzip zur Verfügung stehen und mit großen Hubinseln installiert werden können. Allerdings gilt es, diese Standardtechniken weiterzuentwickeln, um z.B. wetterunabhängiger zu werden.

Bühr: Das wird dann natürlich alles etwas teurer, als ursprünglich vorgesehen. Aber nachdem nun die Windenergiebranche schon eine Menge Lehrgeld bezahlt hat ...

Wolfgang Bühr: „Vor etwa 15 Jahren haben wir erkannt, dass der Bau von Serienschiffen in Europa keine Zukunft hat.“

Clauss: ... ergeben sich eine Reihe von neuen Verbindungen zum Schiffbau und zur Meerestechnik. Denn vieles, was in unserer Branche als Technologie bereits existiert, muss an die Anforderungen der Windenergienutzung nur angepasst werden.

Bühr: Mir scheint, dass die Unternehmen der Energiewirtschaft inzwischen verstehen, wie wertvoll das in Schiffahrt und Meerestechnik vorhandene Know-how für die Errichtung großer Windfarmen auf See ist. Wir sollten den sich entwickelnden Gesprächsfaden zwischen unseren Branchen vertiefen.

Gibt es neben diesen Synergieeffekten zur Energiewirtschaft weitere Vorteile, die für eine Weiterentwicklung und Förderung der maritimen Wirtschaft am Standort Deutschland sprechen?

Bühr: Die gegenwärtig weithin wahrgenommene Krise in der Schiffahrt, die auf der Herausbildung von Überkapazitäten in der Vergangenheit beruht, überdeckt ein wenig die Sicht auf die exzellenten Entwicklungs- und Produktionsbedingungen von Schiffbau und Meerestechnik in Deutschland. Unsere Kreuzfahrtschiffe zum Beispiel sind weltweit gefragt, und dieser Schiffstyp gibt die Richtung für unsere Werften an. Wie ich eben schon sagte, Serienschiffe – wenn man so will Massenware – haben bei uns keine Zukunft. Aber wir sind in Deutschland stark, wenn es



um die Entwicklung und Integration neuer Technologien in Spezialschiffe geht – bessere Verbrennungsmotoren zum Beispiel oder gar das Vorhaben von Siemens, die neue Hochtemperatursupraleitung für elektrische Antriebsaggregate zu nutzen.

Clauss: Die deutschen Werften verkaufen mit Erfolg Spezialschiffe. Es ist doch auffallend, dass es kaum Schwesterschiffe gibt. Jedes Schiff ist eine Einzelfertigung – ganz spezifisch auf den jeweiligen Zweck hin optimiert. Die Luftfahrt belässt vergleichsweise ihre Flugzeugtypen über Jahrzehnte hinweg kaum verändert. Allein dieser Vergleich zeigt, wie enorm der Innovationsgrad im deutschen Schiffbau ist.

Bühr: Wir verkaufen sozusagen Prototypen! Unsere Schiffe müssen nicht erst jahrelang auf Prüfständen getestet werden. Unser Kunde, der Reeder, weiß das, und er weiß auch, dass das nicht selbstverständlich ist und seinen angemessenen Preis hat. Schiffe aus Deutschland fahren mit einem Mehrwert, der über solche Selbstverständlichkeiten wie exakte Einhaltung von Lieferterminen oder die Umsetzung aller vereinbarten Leistungskriterien weit hinausgeht. Sie sind äußerst energieeffizient, und sie sind in besonderer Weise dauerhaft.

Ist dies ein besonderer Standortvorteil?

Clauss: Sicherlich. Wir haben gemeinsam mit der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft Schiffe entwickelt, die zwar äußerlich anderen Schiffen ähneln, die aber sicherer sind. Weil wir gemeinsam geforscht haben. Etwa in dem Verbundprojekt „Lasten auf Schiffe im See-gang“, kurz LaSSe.

Bühr: Die für Schiffe noch heute gültigen Stabilitätskriterien wurden um 1920 anhand damals gängiger Konstruktionen empirisch ermittelt, die – man erinnert sich vage – vorne und hinten spitz zuliefen. Alle noch heute gültigen statischen Annahmen etwa zum aufrich-

tenden Stabilitätsmoment beruhen auf dieser altertümlichen Schiffsform. Wir wissen aber aus unserer gemeinsamen Verbundforschung, dass die Lagestabilität bei modernen Konstruktionen, wie sie für Kreuzfahrtschiffe oder Fährschiffe inzwischen gang und gäbe sind, gemäß den alten Richtlinien dramatisch versagt. Da es sich bei den gültigen Konstruktionsrichtlinien jedoch um internationales Recht handelt, benötigt eine Anpassung dieser Vorschriften sehr viel Zeit – die wir nicht haben. Wir raten unseren Kunden, besser jetzt schon mit den von uns mittels moderner Rechenverfahren exakt ermittelten Stabilitätskriterien zu fahren. Wie gesagt, wir bieten Mehrwert.

Wenn Sie beide eine Summe ziehen würden: Was bewirkt die staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung im Verbund von Wissenschaft und Industrie im Kern?

Clauss: Es ist schon beeindruckend, wie dadurch die unterschiedlichen Disziplinen zusammengeführt werden. Schiffbau, Schiffstechnik, Meerestechnik – das impliziert so vielfältige Fragestellungen, dass keiner behaupten könnte, alles alleine und aus eigener Kraft beherrschen zu können. Das wiederum bedeutet, dass man Achtung vor dem Partner haben muss, dass man teamfähig sein muss. Und das alles funktioniert aufgrund der Verbundforschung in den Branchen Schiffbau und Meerestechnik ganz gut.

Bühr: Dem kann ich nur zustimmen, möchte jedoch hinzufügen, dass diese positiven Effekte nicht nur auf unsere Branche im engen Sinn beschränkt bleiben. Da kommen nicht nur der typische Meerestechniker einer Universität und der Ingenieur einer Werft zusammen. Wir haben die Elektronikfirma mit am Tisch, wir haben Maschinenbauer aus Zulieferunternehmen – deren spezielles Know-how und alle diese unterschiedlichen Sichtweisen kommen entlang den Wertschöpfungsketten in den Forschungsprojekten zusammen. ■

Dipl.-Ing. Wolfgang Bühr studierte Schiffbau in Hamburg und stieg 1967 als junger Ingenieur bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft (FSG) ein. Dort war er bis 1995 Gruppenleiter Technik, dann bis 2005 Leiter Entwicklung Konstruktion und schließlich Executive Vice President. Auch nach seiner Pensionierung ist Bühr „seiner FSG“ als Berater verbunden.

Prof. Dr.-Ing. Günther F. Clauss studierte Physik an den Technischen Universitäten München und Berlin und promovierte 1968 am Institut für Luft- und Raumfahrttechnik der TU Berlin. Während eines Forschungsaufenthalts am Massachusetts Institute of Technology (MIT) entdeckte

Clauss seine wahre Profession: Vom *outer space* zum *inner space*; fortan wurde die Meerestechnik seine Leidenschaft. Er war Mitinitiator dieses Fachgebiets an der TU Berlin und wurde dort 1973 auf den ersten Lehrstuhl für Meerestechnik in Deutschland berufen.

Ebenso wie Wolfgang Bühr steht auch Günther F. Clauss nach seiner Emeritierung auf der Brücke: Beide eint der unbändige Wille, ihre Erfahrungen und ihr Wissen auch künftig mit Tatkraft in die Waagschale von Forschungs- und Entwicklungsprojekten zu werfen, um der Erfolgsgeschichte von Schiffbau und Meerestechnik in Deutschland weitere Kapitel hinzuzufügen.

Jedes Schiff ein Unikat: Die deutschen Werften verkaufen mit Erfolg Spezialschiffe. Für die Konstruktion nutzen die Ingenieure selbstverständlich Computerpower. Dann folgt eine erste Prüfung der Fahrtauglichkeit mit maßstabsgetreuen Modellen im Wellenkanal.





Abwehr tückischer Invasoren

Im Ballastwasser der Schiffe tummeln sich eine Menge Organismen. Im Zielgewässer angekommen, können sie riesige ökologische, gesundheitliche und ökonomische Schäden verursachen. Ein Behandlungssystem an Bord kann solche Invasionen verhindern.

Die Chinesische Wollhandkrabbe verdrängt die heimische Fauna und zerstört Netze und Reusen; die Rippenqualle aus Nordamerika dezimiert die Fischbestände; giftige Mikroalgen, sichtbar als „Rote Tide“, werden von Austern gefressen und landen auf dem Teller; in Südamerika löste der aus Indien eingeschleppte Choleraerreger Epidemien aus. Ursache solcher Probleme ist Ballastwasser, das nicht voll oder gar nicht beladene Schiffe in Tanks mitführen, um ihre Lagestabilität zu sichern. Mindestens 3 Millionen Tonnen werden jährlich in den Zielhäfen wieder abgepumpt und mit ihnen Organismen, die dort nicht hingehören. Die Vereinten Nationen zählen die Einschlepfung fremder Arten zu den vier größten Gefahren für die Meeresumwelt. Sie verursacht jedes Jahr Schäden in Milliardenhöhe.

Um Ballastwasser zu behandeln, ist die Erfahrung von Experten unterschiedlicher Disziplinen gefragt: der Meeresbiologie, Wasserchemie, Verfahrenstechnik, des Anlagenbaus, der Schiffsbetriebstechnik und des Schiffbaus. Daraus ergibt sich im Vergleich zur Behandlung von Trink- oder Badewasser eine sehr viel komplexere Aufgabe. Mit deren Lösung beschäftigte sich bereits seit 2002 ein Forschungsprojekt – zu einem Zeitpunkt, als kaum mehr als das Problem bekannt war. Welche Verfahrenstechniken geeignet sind, um Ballastwasser an Bord wirksam behandeln zu können, ohne den normalen Schiffsbetrieb stark zu beeinträchtigen und die

Sicherheit zu gefährden, lag bei Projektbeginn völlig im Dunkeln. „Wir haben es hier mit einer äußerst großen Artenvielfalt zu tun“, erklärt Dr.-Ing. Anja Kornmüller von der Firma VWS Deutschland GmbH/Berkefeld, die das Projekt koordinierte. Zwar konnten die Forscher auf Datenbanken zu invasiven Organismen zurückgreifen, aber um diese bekämpfen zu können, mussten sie auch deren jeweilige Eigenschaften, wie Größe, Lebenszyklen oder Widerstandskraft, besser kennen. Auch über die unterschiedlichen Qualitäten von Fluss-, Brack- und Seewasser wusste man zu wenig Genaues; Sedimentkonzentration, Trübung, Salzgehalt, Temperatur oder pH-Wert etwa können die Wirksamkeit von Behandlungsverfahren erheblich beeinflussen. „Wir mussten daher zuerst die Grundlagen erarbeiten“, sagt Kornmüller. Als die Internationale Seeschiffahrts-Organisation (IMO) 2004 eine Konvention zum Ballastwasser-Management verabschiedete, waren schließlich zumindest die Grenzwerte für die Einleitung von Ballastwasser in das Zielgewässer festgelegt.

Die Ingenieure im Forschungsprojekt entschieden sich, für ihre Reinigungsanlage einen zweistufigen Prozess vorzusehen: Der eigentlichen Desinfektion geht eine mechanische Vorabtrennung größerer Organismen und Partikel voraus. „Sedimente im Ballastwasser erhöhen unnötig das Gewicht, und Organismen können sich in ihnen verstecken und überleben“,

Die Forscher erkannten zu einem frühen Zeitpunkt, dass dem unkontrollierten Transport der Organismen im Ballastwasser ein Riegel vorgeschoben werden musste.

Die Anlage in der Werkhalle: Um Ballastwasser zu behandeln, fängt zunächst ein Scheibenfilter Partikel, Sedimente und größere Lebewesen ab. Danach beseitigt ein elektrochemisches Desinfektionsverfahren ohne Zusatz von Chemikalien kleinste Organismen. Optional können Schiffseigner mit einem Algenmonitor die Wirkung der Behandlung an Bord überprüfen.



Für den praktischen Betrieb entwickelten die Ingenieure die Anlage im großtechnischen Maßstab für einen Volumenstrom von 500 m³ pro Stunde; am Containerkai in Bremerhaven wurde sie getestet. Das Foto zeigt einen Mitarbeiter am Dosiertank für Testorganismen.

erklärt Kornmüller. Alles Grobe vorher zu entfernen, entlastet daher die anschließende Desinfektion erheblich. Sieben auf dem Markt erhältliche Filter und Fliehkraftabscheider erprobten die Forscher; bestanden hat den Härtestest allein ein Scheibenfilter, der Partikel unterschiedlicher Art und Größe auch in höheren Konzentrationen am besten zurückhalten und gleichzeitig einen hohen Volumenstrom des Ballastwassers gewährleisten kann.

Die Anforderungen an Desinfektionsverfahren sind ebenfalls hoch: Sie müssen in Fluss- wie Meerwasser anschlagen, eine Breitbandwirkung haben, dürfen keine schädlichen Nebenprodukte bilden und müssen leicht und gefahrlos an Bord zu handhaben sein. Hier gaben die Forscher Verfahren den Vorzug, die ohne Zusatz von Chemikalien wie Bioziden auskommen. Favoriten waren zunächst unterschiedliche physikalische Methoden; ganz unerwartet fielen jedoch alle durch: UV- Bestrahlung, Ultraschall, Kavitation sowie Be-

und Entgasung konnten den IMO-Standard nicht erfüllen.

Testsieger wurde schließlich eine elektrochemische Desinfektion: Bei der EctoSys®-Elektrolyse produzieren Elektroden unter Stromspannung direkt aus dem Wasser kurzlebige Hydroxyl-Radikale, die sofort selbst hartnäckigste Organismen ausschalten. Anders als die übliche Chlor-Elektrolyse, die nur mit Salz funktioniert, eignet sich dieses Verfahren für jede Wasserart. Die geringen Mengen von potenziell schädlichen Reaktionsprodukten (Trihalogenmethanen) liegen unter den Grenzwerten für Trinkwasser. Und während fast alle Desinfektionsverfahren wegen ihrer oxidierenden Wirkung die Korrosion verstärken, bleiben Tanks und Leitungen bei der EctoSys®-Elektrolyse verschont.

Für die praktischen Tests wählten die Forscher nicht den einfachsten Weg. An drei besonders zähen Spezies überprüften sie die Effizienz der



Das System zur Behandlung von Ballastwasser ist bereit für den Einsatz an Bord.

Reinigung. „Es war nicht einfach, einen Partner zu finden, der die ausreichenden Mengen an Testorganismen züchten konnte“, erinnert sich Kornmüller. Außerdem benutzten sie nicht – wie üblich – künstlich zusammengesetztes Testwasser, sondern installierten eine halbtechnische Versuchsanlage an vier Hafen-Standorten, je einem in Bremen und Cuxhaven, und zweien in Bremerhaven; Flussmündungen enthalten Süß-, Brack- und Salzwasser mit einer besonders gemischten Artenvielfalt und großen Mengen an Sedimenten. „Dabei stellte sich heraus, dass die Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen in Wirklichkeit viel höher war, als von der IMO vorgesehen“, erläutert Kornmüller.

Die größte Herausforderung war nach Projektende die aufwendige, mehrjährige Typenzertifizierung, die in Deutschland das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) nach den aktuellen IMO-Richtlinien durchführt. „Weil die Testvorschriften der IMO immer wieder angepasst wurden, konnte man sich nie ganz sicher sein“, sagt Kornmüller.

Seine Typengenehmigung erhielt das System mit dem Namen CleanBallast® 2010. Es wird heute von der Bremer Firma RWO GmbH, die wie Berkefeld zum Konzern Veolia Water Solutions & Technologies (VWS) gehört, vertrieben.

Doch bietet ein Typenzeugnis der IMO allein noch keine Erfolgsgarantie. An Testorten für die Zertifizierung, wie etwa vor der Nordseeinsel Texel, ist das Wasser nicht so belastet wie in Häfen, wo ein Großteil des Ballastwassers normalerweise aufgenommen wird. Die Anforderungen sind dort also nicht realitätsnah. Peter Wolf, Vertriebs- und Marketingleiter bei RWO, berichtet: „Bislang mussten zwei Systeme der Wettbewerber, obwohl zertifiziert, vom Markt genommen werden, weil sie in der Praxis versagten.“ Hingegen versehen die 14 in Betrieb befindlichen CleanBallast®-Anlagen zuverlässig ihren Dienst. Die frühen Tests in Häfen an der Wesermündung haben sich also ausgezahlt.

Die Marktlage allerdings ist derzeit schwierig, das Angebot größer als die Nachfrage. Der Grund liegt darin, dass die IMO-Konvention immer noch nicht ratifiziert und somit nicht rechtswirksam ist. „In diesen harten ökonomischen Zeiten warten die meisten Schiffseigner daher noch ab“, erläutert Wolf. Aber es ist nur noch eine Frage der Zeit, bis das Abkommen in Kraft tritt. Dann werden allein um die 60.000 Schiffe der bestehenden Flotten nachgerüstet werden müssen. Vorreiter sind heute schon die Amerikaner, deren US Coast Guard die IMO-Standards in nationales Recht umgesetzt hat. Alle Schiffe, die amerikanische Häfen ansteuern, müssen ab 2013/2014 ein Behandlungssystem an Bord haben. RWO lässt CleanBallast® gerade in den USA zertifizieren.

In unseren Gewässern fühlen sich exotische Arten wie die Chinesische Wollhandkrabbe mittlerweile pudelwohl, mit ihnen müssen wir leben. Doch die zuverlässige Technik, um künftig Invasionen von weiteren Fremdlingen zu verhindern, ist jetzt vorhanden. ■

Die Technik steht bereit, um künftig die Invasion von weiteren Fremdlingen zu verhindern.

Bauen am virtuellen Schiff

Im Automobilbau ist das Arbeiten mit virtueller Realität (VR) längst gängige Praxis. Autos werden aber auch in großen Serien produziert. Schiffe hingegen sind oftmals Unikate. Das sich auch hier VR-Methoden wirtschaftlich einsetzen lassen, hat ein Verbundprojekt unter Federführung der TU Hamburg-Harburg bewiesen.

Die Vorstellung hat etwas Faszinierendes: bereits vor dem Bau eines Schiffes das Innere des Rumpfes betrachten zu können, als würde man darin spazieren gehen. Mit virtueller Realität ist dies möglich. Doch ist der Einsatz solcher Hochtechnologien im hart umkämpften Markt des Schiffbaus auch wirtschaftlich einsetzbar? Als 2007 das Forschungsprojekt USE-VR der TU Hamburg-Harburg und des Zentrums für Graphische Datenverarbeitung Rostock gestartet wurde, herrschte in den Werften Skepsis.

Immerhin waren aber einige Werften bereit, das Forschungsprojekt mit Informationen zu unterstützen, und stellten die dafür erforderlichen Daten aus den computerunterstützten Entwurfsprozessen (CAD-Daten) zur Verfügung. „So haben wir buchstäblich einen Sack voll Szenarien mit den dazugehörigen Daten eingesammelt und konnten daran überprüfen, ob ein Einsatz von VR-Technologien sinnvoll und wirtschaftlich ist“, erinnert sich Dr.-Ing. Axel Friedewald vom Institut für Produktionsmanagement und -technik der TU Hamburg-Harburg an die Anfänge des Projektes. Nachdem diese Frage mit einem Ja beantwortet werden konnte, arbeiteten die Forscher im weiteren Verlauf bewusst mit herkömmlichen, auf dem Markt verfügbaren VR-Tools, die sie an die jeweiligen Aufgabenstellungen anpassten. Denn das, so ihre Überlegung, würde es den Werften und ihren Zulieferern erleichtern, in die VR-Technik einzusteigen.

Relativ einfach gestaltete sich in einem ersten Arbeitspaket die Entwicklung eines Szenarios für die Konstruktion einer kleinen War-

tungswerkstatt an Bord eines Schiffes. Normalerweise hat man in einem VR-Tool sechs Freiheitsgrade, das heißt sechs Bewegungsmöglichkeiten im Raum, zur Verfügung. „In diesem ersten Szenario haben wir die Freiheitsgrade deutlich eingeschränkt und an die relativ einfachen Bedingungen in so einer kleinen Werkstatt angepasst. Am Ende konnte dann der Chefmechaniker einfach und problemlos bestimmen, wo beispielsweise eine Ständerbohrmaschine sinnvoll zu platzieren wäre.“

Aber auch wesentlich komplexere Aufgabenstellungen lassen sich mit solchen VR-Tools bearbeiten. So muss ein Kreuzfahrtschiff auch für behinderte Menschen möglichst barrierefrei gestaltet sein. Um dies zu überprüfen, griffen die Wissenschaftler auf ein virtuelles Menschmodell aus dem Automobilbau zurück. Allerdings musste das Werkzeug zunächst in erheblichem Umfang angepasst und erweitert werden, denn in einem Passagierschiff gestaltet sich die Mobilitätsplanung etwa für Rollstuhlfahrer weitaus schwieriger als in einem Automobil, wo der Ein- und Ausstieg das größte Problem sind. Im Schiff kommen viele Fragen hinzu: Passt der Rollstuhl auch wirklich durch alle Gänge? Sind Lichtschalter und Türgriffe auf einer erreichbaren Höhe angebracht? Kann der Rollstuhlfahrer Hinweisschilder und Fluchtwegbeschreibungen sehen? Kann er im Bordrestaurant die Kaffeemaschine bedienen? „Wenn ich einen Rollstuhlfahrer virtuell durch das ganze Schiff fahren lassen kann, erkenne ich sofort mögliche Problemstellen und kann sie beheben. Das spart enorm viel Zeit und Geld, weil dadurch nach-

Herkömmliche, auf dem Markt verfügbare VR-Technologie wurde an die spezifischen Bedingungen im Schiffbau angepasst.

trägliche Umrüstungen überflüssig werden“, sagt Axel Friedewald.

Das gilt auch für ein weiteres Szenario, das die Forscher durchgespielt haben: und zwar die verspätete Anlieferung eines großen Bauteils – ein im Schiffbau zwar nicht alltägliches, aber doch oft genug vorkommendes Ärgernis. „Und da stellt sich dann die Frage: Wie kriege ich es jetzt noch dort hin, wo es hin soll?“, kommentiert Friedewald. Mithilfe ihres Interaktionsbaukastens haben die Forscher den nachträglichen Einbau eines Kessels simuliert. Bestimmte Bewegungsconstraints, also festgelegte Grenzen der Beweglichkeit, erlauben es dem Anwender, den Kessel im Rahmen der im Schiff gegebenen Möglichkeiten zu verschieben. Mit der Kollisionskontrolle lässt sich in Echtzeit überprüfen, ob andere Bauteile möglicherweise im Weg stehen würden und deshalb jetzt noch nicht endmontiert werden sollten. So können die Fertigungsingenieure relativ schnell und einfach den optima-

len Einbaupfad für das verspätet gelieferte Stück planen und eine Menge Zeit und Nerven sparen.

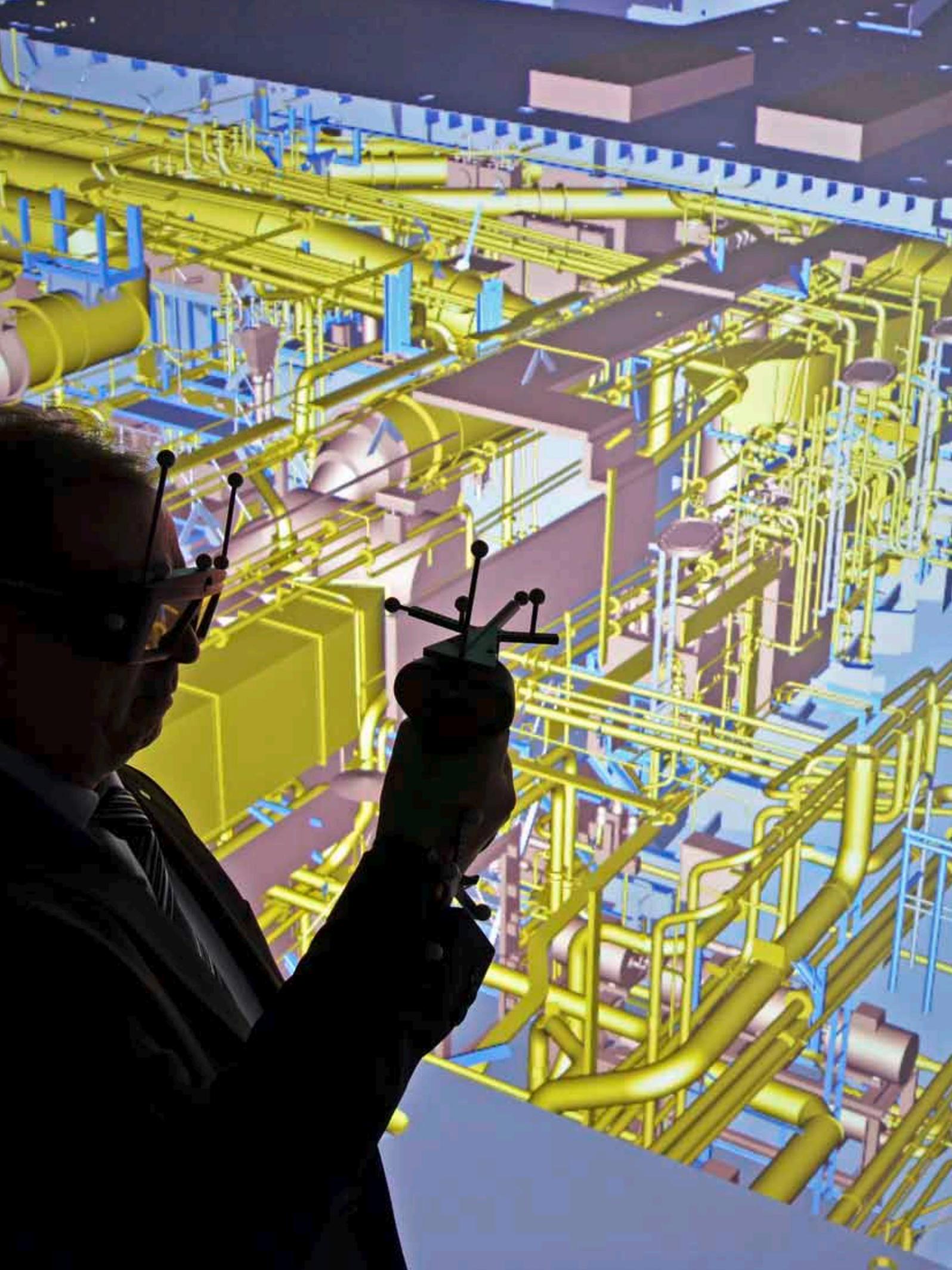
Schließlich haben dann die USE-VR-Forscher noch den Einsatz von Virtual Reality im Schiffbau-Engineering auf Wirtschaftlichkeit überprüft – und kamen zu einem durchaus positiven Ergebnis. „In vielen Fällen macht der Einsatz von VR-Tools im Schiffbau unter dem Strich Sinn“, sagt Friedewald. „Die Meyer Werft hat sich im Anschluss an unser Projekt ein VR-System angeschafft, andere Werften haben sich dazu entschieden, mit etwas abgespeckten Systemvarianten zu arbeiten, VR-light sozusagen.“

Mit Virtual Reality lassen sich aber nicht nur Produktionsprozesse leichter planen und qualitativ verbessern, sondern die Werften können durch realistische Visualisierungen auch ihre Kunden anschaulich von der Funktionalität ihrer Produkte überzeugen. „Das alles zeigt“,

In der virtuellen Realität fallen Konstruktionsfehler sofort ins Auge.

Von außen betrachtet wirken die Aktionen von Menschen, die sich in der virtuellen Datenwelt bewegen, oft geisterhaft und ungenau. Aber durch die spezielle Datenbrille, dem Head Mounted Display, erschließt sich etwa die Konstruktion einer technischen Umgebung dem gestaltenden Ingenieur dreidimensional im Raum so, als sei sie real vorhanden.





so Axel Friedewald, „dass die Potenziale für VR im Schiffbau groß und noch längst nicht ausgeschöpft sind.“ Nicht zuletzt, so ist der Forscher überzeugt, bringt VR – richtig angewandt und eingesetzt – Wettbewerbsvorteile.

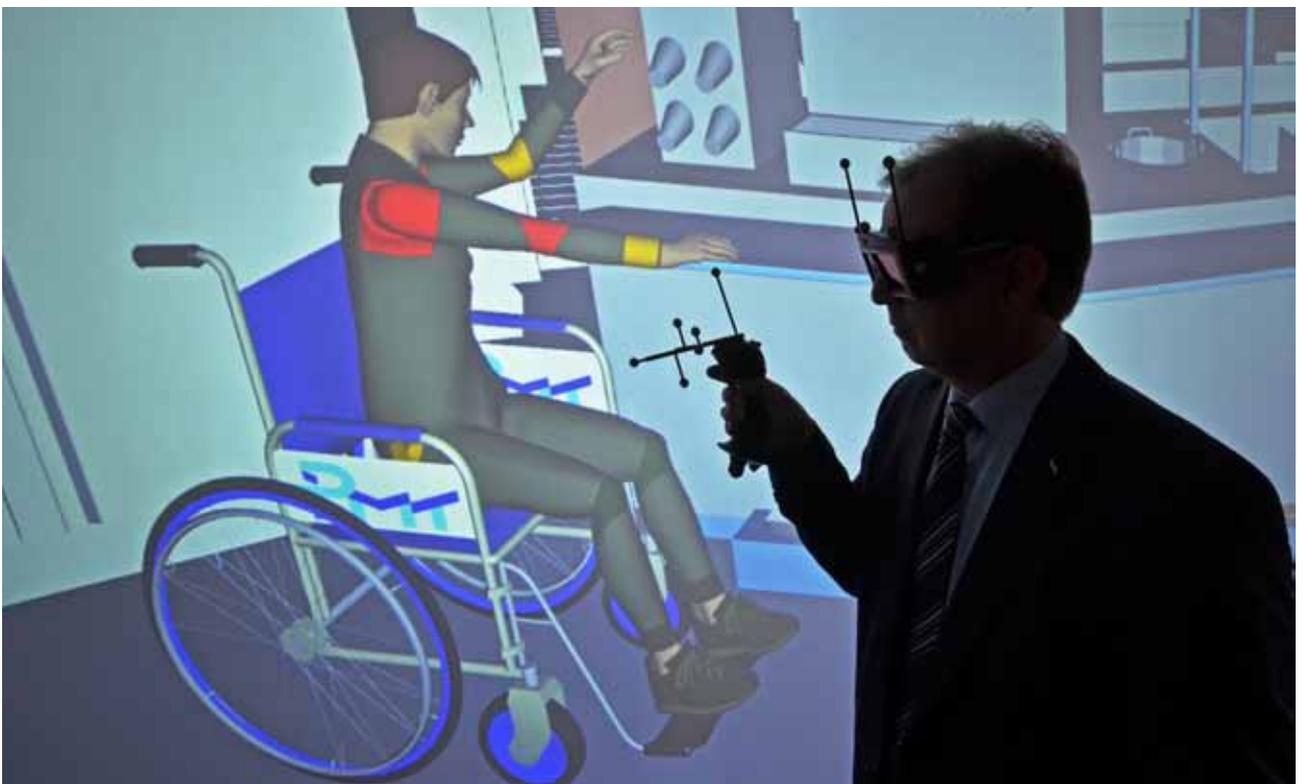
Natürlich erzwingen die besonderen Anforderungen des Schiffbaus auch immer weitere Verbesserungen der VR-Tools. „Ein Auto hat ja vergleichsweise wenig Einzelteile“, meint Friedewald, „ein Kreuzfahrtschiff dagegen umfasst 400.000 Stücklistenpositionen. Da stößt man bei VR-Szenen schnell an Grenzen.“ Deshalb haben die Wissenschaftler in einem Folgeprojekt eine Filtersoftware entwickelt, mit der es möglich ist, während einer VR-Session immer nur den Bereich des Schiffes zu laden, den man gerade betrachten will. Auf diese Weise erhält man – trotz der riesigen Datenfülle – immer eine Darstellung der aktuellen Umgebung und kann sich Schritt für Schritt vom Bug bis zum Heck eines Schiffes bewegen, ohne dass

ein Nachladen von Daten zu spüren wäre. Und ein weiteres Problem wurde ebenfalls in diesem Folgeprojekt gelöst: Die Forscher entwickelten und verfeinerten Methoden, mit denen sich die Daten von Werft und Zulieferbetrieben, die oftmals von sehr unterschiedlichen Systemen stammen, leicht synchronisieren und zu einer einheitlichen Darstellung verbinden lassen.

USE-VR – im Kleinen gestartet von zunächst zwei beteiligten Forschungseinrichtungen – hat Wellen geschlagen. Das Folgeprojekt (Power-VR) war von Beginn an ein größerer Forschungsverbund unter Beteiligung auch von Industriepartnern. Trotz anfänglicher Skepsis hatte es sich in den Werften herumgesprochen, dass sich mit der VR-Technologie zeit- und kostenintensive Nacharbeiten vermeiden und potenzielle Kunden mit VR-Spaziergängen durch Einrichtungsvarianten ihres neuen Schiffs leichter gewinnen lassen.

Daten von Werft und Zulieferbetrieben lassen sich synchronisieren und zu einer einheitlichen Darstellung verbinden.

Ausgerüstet mit Datenhandschuh, 3D-Maus und Flystick lassen sich die im Konstruktionssystem der Werft gespeicherten Daten eines Schiffs im virtuellen dreidimensionalen Raum zielgerichtet durchwandern. Mit einem Trick gelang es den Forschern, der dafür notwendigen Datenfülle Herr zu werden.



Wenn Passagiere zu Software-Agenten werden

In einem Notfall auf hoher See müssen Passagiere und Besatzung schnell in die Rettungsboote gelangen können. Eine neu entwickelte Simulationssoftware analysiert genau, welche Faktoren bei einer Evakuierung lebenswichtig sind.

Analysen der Evakuierungszeit sind Pflicht.

Als Sven Hebben an seinem Rechner die Return-Taste drückt, fangen die roten, grünen und gelben Punkte in dem Bauplan an zu laufen. Der Bildschirm zeigt – untereinander angeordnet – die 15 Decks eines großen Kreuzfahrtschiffes für mehr als 4.000 Passagiere. Auf Deck Fünf, wo die Reisenden untergebracht sind, verlassen die ersten winzigen Fleckchen nun ihre Kabinen, wandern durch den Gang in Richtung Treppe, stauen sich sichtbar vor deren Aufgang und strömen dann nach und nach die Stufen hinauf zu Deck Neun, wo sie sich im Theatersaal sammeln. Manche Punkte reagieren rasch und gehen schnell, andere scheinen sich viel Zeit zu lassen: Sollten sie den Evakuierungsalarm nicht ernst genommen haben?

„Das ist das sogenannte Nacht-Szenario“, erklärt Hebben, der als Projektingenieur bei der Firma TraffGo HT in Duisburg arbeitet. „Es ist eines von mehreren vorgeschriebenen Szenarien, die wir mithilfe unserer Simulationssoftware AENEAS durchspielen.“ Nachts halten sich die meisten Passagiere und ein Teil der Crew in ihren Kabinen auf; entsprechend simuliert die Software die Laufwege von den Kabinen zu den jeweils vorgesehenen Sammelpunkten (Evakuierung). Getrennt davon kann inzwischen auch der Weg in die Rettungsboote simuliert werden (Einbootung).

Seit 1999 sind solche Analysen von der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO) vorgeschrieben. Initialzündung dafür war der tragische Untergang der Fähre

„Estonia“ im Jahr 1994. Gemäß der daraufhin entwickelten Sicherheitsvorschriften muss beispielsweise schon in der frühen Planungsphase eines jeden RoRo-Schiffes (Roll-on/Roll-off-Fähren wie die „Estonia“) berechnet und nachgewiesen sein, dass Evakuierung und Einbootung aller Passagiere und Crewmitglieder nach einem Alarm innerhalb von 60 Minuten abgeschlossen werden können. Für Kreuzfahrtschiffe gilt seit einigen Jahren eine Frist von 80 Minuten, die allerdings nicht verpflichtend ist. Für die Einbootung wird in den Sicherheitsberechnungen ein pauschaler Wert von 30 Minuten angenommen.

Jede Werft, die derartige Schiffe bauen will, muss eine entsprechende Simulation und die Einhaltung aller Vorschriften schon vor der ersten Probefahrt erfolgreich belegen. Gelingt der Nachweis im ersten Entwurf nicht, hat die Werft ihren Generalplan so weit zu modifizieren, dass die vorgeschriebenen Maximalzeiten unterschritten werden können. Den Beleg schon so frühzeitig bereit zu haben, macht Sinn, denn jede späte Änderung kann teuer werden.

In Deutschland hat man schon sehr früh mit der Entwicklung einer leistungsfähigen Software für solche Sicherheitsanalysen begonnen. In zwei Verbundprojekten (BYPASS von 1999 bis 2002 sowie PESOS von 2004 bis 2007) sind nicht nur die Grundlagen für das Software-Werkzeug AENEAS entstanden; die Experten haben auch viele neue Erkenntnisse gewonnen, mit denen Evakuierungspro-

zesse auf Personenschiffen besser analysiert und bewertet werden können. Beteiligt an dem Verbundforschungsprojekt PESOS waren Fachleute von der Universität Duisburg-Essen sowie von drei Unternehmen: dem Germanischen Lloyd in Hamburg, der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft sowie der Meyer Werft in Papenburg.

„Bevor wir eine solche Simulation laufen lassen können, ist einiges an Vorarbeit nötig“, berichtet Sven Hebben. Das Unternehmen erhält von der Werft in elektronischer Form den Generalplan mit den kompletten Deckansichten des geplanten Schiffes. Diese Daten werden dann aufbereitet und ergänzt, damit die Software sie verarbeiten kann und sie den IMO-Vorschriften entsprechen. So werden beispielsweise die Personen an Bord gemäß statistischer Erfahrungswerte aufgeteilt, etwa nach Geschlecht, Alter, Fitness (Beweglichkeit) oder Erfahrung. Auf diese Weise spiegelt die Simulation die demografische Bandbreite der kreuzfahrenden Bevölkerung realistisch wider und vermag sogar psychologische Effekte –

sozusagen vom Trödefaktor bis zum Herdentrieb – einzubeziehen.

Bei der Analysesoftware handelt es sich um einen sogenannten Zellular-Automaten – Fachleute sprechen hier von „agenten-basierten Systemen“. Dabei sind die Deckansichten mit einem Netz gleichförmiger, quadratischer Zellen überzogen. Die Simulation geht davon aus, dass sich alle Personen – die Agenten – entsprechend der vorgegebenen Gesetzmäßigkeiten zwischen den Zellen bewegen. Dann werden individuelle Ziele (Kabinengang, Treppe, Sammelstelle, Boot) vorgegeben, sodass die Bewegung jeder einzelnen Person auf dem virtuellen Schiff in ihrem zeitlichen Ablauf realistisch nachgestellt werden kann. Dabei ist es sogar möglich, Gegenstrom-Situationen einzubauen, wenn zum Beispiel Crewmitglieder vorschriftsmäßig die Kabinendecks nach säumigen Passagieren durchsuchen.

AENEAS wurde, auch nach Ende der geförderten Phase, in den letzten Jahren kontinu-

Die Bewegung jeder einzelnen Person auf dem virtuellen Schiff kann simuliert werden.

Voller Vorfreude auf den Landgang blicken die Passagiere eines Kreuzfahrtschiffes auf Venedig. Über Evakuierungsmaßnahmen im Notfall möchten sie sich keine Gedanken machen müssen.





Vor dem Bildschirm diskutieren Patrick Gessler und Dr. Hubert Klüpfel, Geschäftsführer der TraffGo HT GmbH, die simulierten Bewegungen der Passagiere.

ierlich weiterentwickelt. Bei allen Schiffstypen hat man inzwischen auch den Gefahrenfaktor Brand in die Analyse einbezogen: Man kann nun die Ausbreitung von Feuer und Rauch in einem Schiff simulieren und ermitteln, wie sich dies auf die Evakuierungszeiten auswirkt. Schließlich haben die Beteiligten am Vorhaben sich auch um eine verbesserte Ausbil-

dung von Schiffscrews in solchen Situationen gekümmert. Parallel zur Erweiterung der Software fanden zudem verschiedene Testversuche statt, in denen die Analysesoftware unter realistischen Bedingungen überprüft wurde.

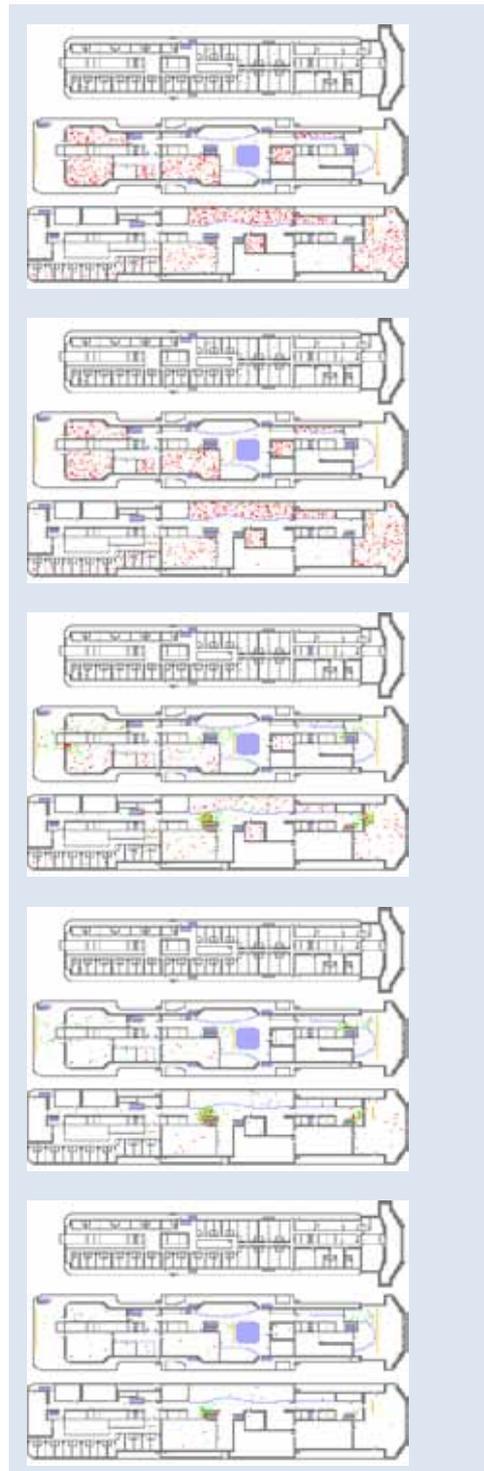
In jüngster Zeit haben die Softwareingenieure es sogar ermöglicht, die Bewegungen sowie

eine eventuelle Neigung eines Schiffes (nach einer Havarie) in die Analyse einzubeziehen. Das Unglück des Kreuzfahrtschiffes „Costa Concordia“ im Januar 2012 vor der italienischen Insel Giglio hat erneut und drastisch klar gemacht, wie lebenswichtig es sein kann, solche Sicherheitsanalysen so realistisch wie möglich zu gestalten.

Die in Deutschland entwickelten und genutzten Standards bei der Sicherheitsanalyse werden nicht nur weltweit nachgefragt, sondern haben auch international politische Wirkung gezeigt. So sind von Beginn an die Forschungsergebnisse, die man im Zuge der beiden Verbundprojekte erzielt hatte, in internationale Regelwerke eingeflossen, vor allem bei der IMO. Die langjährige Forschungsarbeit hat inzwischen dazu beigetragen, dass schon bei Planung und Entwurf von Schiffen sowohl die Evakuierungswege als auch die Rettungspläne optimiert werden konnten.

Auf der anderen Seite punkten deutsche Unternehmen mit ihrem Know-how auf diesem Sektor. Dies gilt nicht nur für die Werften, die in der Personenschifffahrt traditionell stark engagiert sind, sondern zum Beispiel auch für das von früheren Mitarbeitern der Universität Duisburg gegründete Unternehmen TraffGo HT, das AENEAS gemeinsam mit dem Germanischen Lloyd nutzt, weiterentwickelt und international anbietet.

In der Computerdemonstration von Sven Hebben haben die Passagier-Agenten inzwischen die im Rettungsplan jeweils vorgesehenen Boote erreicht und bestiegen. Mindestens 500-mal lässt der Diplomingenieur die gleiche Simulation durchlaufen; dann werden die jeweils ermittelten Evakuierungszeiten statistisch gemittelt, und es wird ein Ergebniswert berechnet. „An dem Schiffsentwurf, den wir hier gerade testen, ist wohl noch planerische Nacharbeit notwendig“, resümiert er: „Das muss alles noch ein bisschen schneller gehen.“ ■



Die Abfolge zeigt, wie sich mit der Software AENEAS eine Evakuierung modellieren lässt. Die Räumlichkeiten an Bord werden dabei ebenso berücksichtigt wie soziale und psychologische Faktoren sowie Gefahren wie Feuer und die Bewegung des Schiffes.

Punktgenaues Manövrieren bei langsamer Fahrt

Schiffe müssen auch bei langsamer Fahrt und in flachen Gewässern sicher manövrieren können. Mit einer neuen Software lassen sich bereits während der Entwurfsphase solche Bewegungen und die dabei auf das Schiff einwirkenden Kräfte berechnen und simulieren.

Bei kleinen Geschwindigkeiten gewinnen die von außen auf ein Schiff einwirkenden Kräfte, also Wind, Seegang und Strömungen, stark an Bedeutung.

Um Windenergie zu nutzen, entstehen derzeit in schnell wachsender Zahl Offshore-Windparks vor den Küsten von Nord- und Ostsee. Dabei ist nicht nur die Anbindung der Windstromerzeuger an die Festland-Netze eine Herausforderung, sondern auch die Errichtung und Wartung der großen Windräder auf offener See. Man braucht dazu unter anderem „Offshore Support Vessels“, Spezialschiffe also, die in der Lage sind, bei sehr geringem Tempo zielgenau im Umfeld der Fundamente zu manövrieren und ihre Position auch während des Zusammenbaus der Windkraftanlagen sowie später bei den Wartungsarbeiten exakt zu halten.

Gute Manövrierfähigkeit bei geringen Geschwindigkeiten, insbesondere in flachem Wasser, ist eine Eigenschaft, die auch andere Schiffstypen haben müssen: Etwa Fähren, die sich in Häfen oder Flusseinfahrten bewegen, oder Schlepper, die weitaus größere Schiffe auf engstem Raum rangieren.

Der Wunsch, die technischen Anforderungen an solche Schiffe besser abschätzen und beim Entwurf und Bau berücksichtigen zu können, stand am Anfang des Forschungsprojekts „SlowMan – Manövrieren bei geringen Geschwindigkeiten“. Ziel waren computergestützte Verfahren, mit denen man jene Belastungen und Kräfte berechnen und simulieren kann, die auf den Rumpf sowie auf die Antriebs- und Steueranlagen von Schiffen bei langsamer Fahrt einwirken. „Spezialschiffe sind in aller Regel Unikate“, berichtet Marc Steinwand, der als Diplom-Ingenieur bei der

Schiffbau-Versuchsanstalt (SVA) Potsdam tätig ist und dort das Forschungsprojekt betreut hat. „Deutsche Werften und Zulieferfirmen sind sehr interessiert daran, so früh wie möglich in der Entwurfs- und Angebotsphase abschätzen zu können, wie ein Schiff mitsamt seinen Steuer- und Antriebsanlagen auszulegen ist, damit es seinen Einsatzzweck optimal erfüllt, gleichzeitig aber möglichst kostengünstig bleibt.“

In die Berechnungen muss einfließen, wie der Rumpf, alle Antriebe (Propeller, Bug- und Heckstrahler) sowie Steueranlagen (Ruder, Flossen) konstruiert sein müssen, um bei Wind, Seegang und Strömungen sicher manövrieren zu können. Es gab bereits seit längerem mathematische Verfahren, mit denen man die Einflüsse bei höheren Geschwindigkeiten simulieren konnte. Diese Verfahren greifen allerdings nicht bei geringem Tempo, und zudem gab es nur wenige oder nur veraltete Vorschriften für diese Fahrzustände. In SlowMan entstand daher erstmals eine Simulationssoftware, mit der Manöver speziell in flachem Wasser (langsame Fahrt, Beschleunigungen und Stopps, Driften und Drehungen) und deren Kräftewirkung auf ein Schiff berechnen und simulierbar werden. Wichtig war den Entwicklern dabei, dass dieses Softwarewerkzeug möglichst universell einsetzbar ist und somit viele unterschiedliche Schiffstypen und -formen simuliert und getestet werden können.

„Bei kleinen Geschwindigkeiten werden die von außen angreifenden Kräfte, also Wind,



Für den Ausbau der Windenergienutzung auf See werden Spezialschiffe benötigt, die bei Bau und Wartung der Anlagen exakt manövrieren können.

Seegang und Strömungen, im Verhältnis immer wichtiger“, erklärt Marc Steinwand. „Es kommt hinzu, dass diese auf ein stehendes Schiff von allen Seiten einwirken, während sie bei Fahrt mehr oder weniger nur von vorne angreifen“. Dies alles musste in den mathematischen Modellen berücksichtigt werden.

Für das Projekt hatten sich die beiden größten Schiffbau-Versuchsanstalten in Deutschland zu einer partnerschaftlichen Kooperation zusammengeschlossen. Dabei widmete sich die SVA Potsdam vor allem Antriebs- und Steueranlagen, während der zweite Partner, die Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt (HSVA), Kraftwirkungen untersuchte, die auf den Schiffsrumpf einwirken. Da beide Versuchsanstalten über großdimensionierte Versuchstanks, sogenannte Schlepprinnen, verfügen, konnten sie die neue Simulationssoftware in entsprechenden Tests über-

prüfen. Dazu entstehen eigens gefertigte Modelle der geplanten Schiffe in Maßstäben zwischen 1:4 bis 1:40. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Computerberechnungen die Realität auf See mit der notwendigen Genauigkeit nachbilden.

Die beiden Versuchsanstalten nutzen derzeit die in SlowMan entstandene Software, um auf Kundenanfrage entsprechende Entwurfsimulationen vorzunehmen. „Der nächste Schritt wird sein, diese Software zu einem vermarktbareren Produkt auszubauen, das wir Kunden wie Werften oder Zulieferunternehmen zur eigenständigen Nutzung anbieten können“, berichtet Steinwand. Denn die Nachfrage nach Spezialschiffen, mit denen deutsche Werften schon seit Langem auf den Weltmärkten punkten, wird immer größer, sodass die Rechenkapazitäten in Hamburg und Potsdam die Arbeit künftig alleine nicht mehr werden bewältigen können. ■

Die Simulationsergebnisse wurden mit maßstabgetreuen Modellen in Versuchseinrichtungen überprüft.

Sicherheit auch bei rauer See

Bei starkem Wellengang geraten Schiffe leicht in gefährliche Situationen. Mit Rechenmodellen und in Simulationen haben Forscher ermittelt, wie Schiffe konstruiert werden müssen, um in rauer See sicherer unterwegs sein zu können.

Bei ungünstigem Seegang kann es zu einem unkontrollierbaren Aufschaukeln eines Schiffes kommen.

Häufig wird die Forschung durch Ereignisse angeregt und vorangetrieben, die zwar in Medien und Öffentlichkeit eher unbemerkt bleiben, aber trotzdem weitreichende Folgen haben. 1998 geriet der Containerfrachter „APL China“ auf Fahrt im Pazifik in einem Taifun so stark ins Schlingern, dass 600 der fast 5.000 Container über Bord gingen und unzählige weitere schwer beschädigt wurden. Insgesamt entstand ein Schaden von mehr als 100 Millionen US-Dollar.

Das Phänomen, das diesem Containerfrachter zum Verhängnis wurde, nennen Fachleute parametrisches Rollen. Dabei kommt es zu einem unkontrollierbaren Aufschaukeln des Schiffes, zu dem verschiedene Einflussfaktoren beitragen: Eine wesentliche Rolle spielt der Seegang, hinzukommen aber auch die Geometrie des Schiffes, also Länge und Höhe, Gewichtsschwerpunkt und Tiefgang. Solche Rollbewegungen treten häufig auf, wenn ein Schiff quer zu den Wellen läuft. Schlimmstenfalls können sie die Ladung über Bord gehen lassen, beschädigen und sogar das Schiff zum Kentern bringen.

„In Deutschland reagierte die Wissenschaft rasch auf diesen Unfall, unterstützt durch deutsche Werften, denen dieses Problem zunehmend Sorgen bereitete“, berichtet Professor Stefan Krüger von der Technischen Universität Hamburg-Harburg. In den Forschungsvor-

Man braucht nicht viel Fantasie, um sich vorzustellen, in welche Nöte ein voll beladenes Containerschiff bei Sturm geraten kann. Hier zu sehen ist die Colombo Express auf der Elbe.

haben, die daraufhin von Hochschulen und Industrie gemeinsam in Gang gesetzt wurden, gelang es, Antworten auf zwei wichtige Fragen zu finden: Welchen Belastungen sind Schiffe aller Art durch den Seegang ausgesetzt? Und welche konstruktionstechnischen Konsequenzen können und müssen daraus gezogen werden? Von Beginn an war das Ziel, Simulationsverfahren zu entwickeln, mit denen man bereits in der Entwurfsphase eines Schiffes überprüfen kann, wie es sich unter Einfluss eines bestimmten Seegangs verhalten wird. Diese Rechenverfahren wurden dann mit Hilfe von physischen Modellen in Versuchstanks überprüft. In solchen Schlepprinnen werden Schiffe im verkleinerten Modellmaßstab durch einen Wassertank bewegt, in dem sich auch unregelmäßige Wellen verschiedener Ausprägung erzeugen lassen.

In den verfügbaren Versuchsanlagen konnte man bisher nur einen relativ einheitlichen See-

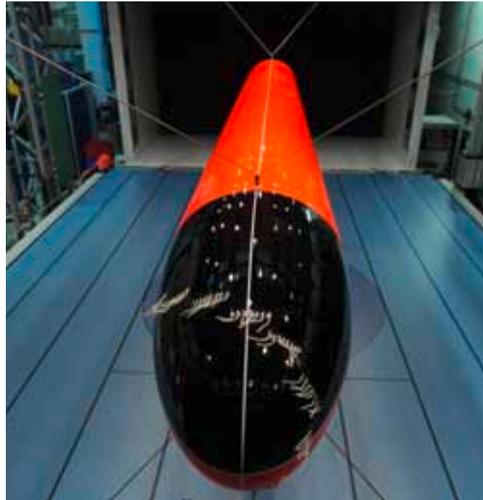


Schiffe sollen bei jedem Seegang sicher vorankommen. Seit kurzem ermöglicht ein Bewegungssimulator im Windkanal der TU Hamburg-Harburg Experimente, die wichtige Daten für den Schiffsentwurf und das Manövrieren in rauer See bereitstellen.

gang auslösen, der die natürlichen wechselhaften und komplexen Wellenbedingungen auf hoher See unvollkommen widerspiegelte. Daher widmete sich das Verbundforschungsprojekt LaSSe der Frage, wie man möglichst realistische Versuchsbedingungen herstellen und die zunehmend komplexeren Rechenverfahren bestmöglich testen kann. An den Forschungsarbeiten waren die Technischen Universitäten Hamburg-Harburg (TUHH) und Berlin (TUB), die Flensburger Schiffbau-Gesellschaft (FSG) sowie die Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt (HSVA) beteiligt.

In den Rechenmodellen wird ein virtuelles Schiff einem simulierten Seegang ausgesetzt. Die Berechnung zeigt nicht nur, welche Kräfte auf ein Schiff einwirken und welche Bewegungen diese Kräfte auslösen, sondern auch, ob das Schiff ihnen standhalten kann. Um eine solche spezifische Situation in Versuchstanks nachvollziehbar zu machen, haben Forscher an der TU Berlin eine Software entwickelt, welche die Maschinerie zur Wellenerzeugung sowie die Bewegung des Schiffsmodells im Tank exakt miteinander koordiniert. Dazu wird an einer bestimmten Stelle im Tank durch Überlagerung verschiedener Wellenformen der gewünschte Seegang verursacht. Parallel dazu wird die Bewegung des maßstabsgerechten Schiffmodells im Tank so gesteuert, dass es zur richtigen Zeit und am richtigen Ort auf den entsprechenden Seegang trifft. Am Verhalten des Modells in genau diesem Moment lässt sich dann überprüfen, ob die Simulationsrechnung die Wirklichkeit korrekt widerspiegelt.

Inzwischen ist es auf diese Weise möglich zu definieren, wie ein Schiff konstruiert sein muss,



damit es seine vorgesehenen Aufgaben optimal und sicher erfüllen kann. „Werften wollen zum Beispiel wissen, bis zu welchem Seegang ein Fährschiff fahren kann, ohne dass die Lkw-Ladung auf den Decks festgezurrert werden muss“, erklärt Professor Krüger. Dieses sogenannte Laschen ist relativ zeitaufwendig; für eine Reederei ist es daher von Vorteil, wenn ein Schiff konstruktionsbedingt so stabil ist, dass sich – zumindest auf bestimmten Routen mit vorhersagbarem Seegang – diese Extraarbeit erübrigt, ohne dass die Sicherheit von Schiff und Ladung gefährdet ist.

Das derzeit laufende Verbundprojekt widmet sich dem Einfluss, den der Transport von Flüssigkeiten auf die Stabilität eines Schiffes hat; hierbei gibt es das Problem der sogenannten freien Oberflächen in nur teilweise gefüllten Tanks. Auch diese Forschungsfrage ist hochaktuell, nachdem im Januar 2011 das Tankschiff „Waldhof“ auf dem Rhein kenterte – ein Unfall, der bei besserer Verteilung der Ladung wahrscheinlich hätte vermieden werden können.

„Deutsche Werften haben als Ergebnis dieser Forschung eigene Sicherheitsstandards bei der Schiffskonstruktion entwickelt und sich freiwillig darauf verpflichtet“, berichtet Stefan Krüger. Und diese Qualität verkauft sich. Obwohl im oberen Preissegment angesiedelt, sind sichere Schiffe aus Deutschland weltweit sehr gefragt. ■

Zur Zeit wird erforscht, welchen Einfluss der Transport von Flüssigkeiten in nur teilweise gefüllten Tanks auf die Stabilität von Tankschiffen hat.



In der Schatzkammer

Die Hochtemperatur-Supraleitung kann künftig den Schiffsantrieb revolutionieren. Erste Generatoren und elektrische Antriebsmotoren in dieser neuen, energiesparenden Technologie haben ihre Testläufe erfolgreich bestanden und ihre Einsatzfähigkeit demonstriert.

Der Fortschritt ist eine Schnecke, heißt es gelegentlich, doch manchmal geht alles ganz schnell. Unmittelbar nach der Entdeckung der Hochtemperatur-Supraleitung (HTS) im Jahr 1986 begann weltweit ein Wettlauf um die technische Umsetzung dieses physikalischen Effektes. Denn anders als bei der schon seit 1911 bekannten Supraleitung in Metalllegierungen setzt keramisches Leitermaterial schon bei sehr viel höheren Temperaturen oberhalb des absoluten Nullpunkts einem elektrischen Stromfluss keinen Widerstand mehr entgegen.

Nach den Entdeckungen der Physiker schlug die Stunde der Ingenieure: Die mit einem vollkommen verlustfreien Stromtransport verbundenen Möglichkeiten beflügelten rund um den Globus die Entwicklungsfantasien in der Elektro- und Energietechnik – zumal man nun nicht mehr wie zuvor ausschließlich teures Helium, sondern auch preiswertere Kühlmittel wie Stickstoff für die Supraleitung nutzen konnte.

Auf dem Werksgelände von Siemens in Nürnberg entriegelt Joachim Frauenhofer, langjähriger Entwicklungsingenieur für elektrische Antriebe bei Siemens Industry, ein stählernes Tor und schiebt die Türelemente zur Seite. Es wirkt, als öffne sich gleichsam ein Vorhang vor einer Schatzkammer. Helles Sonnenlicht fällt auf eine äußerlich in Blau gehaltene Maschine, deren Besonderheiten sich für den Laien auf den ersten Blick nicht erschließen.

„Wir haben damals kühlen Kopf bewahrt und rasch erkannt, dass ein langer Weg vor uns liegen würde, um zu einer technischen Anwendung des Phänomens zu kommen“,

sagt Frauenhofer, der 1999 zum Siemens-HTS-Team stieß. „Und deshalb haben wir auch zunächst systematisch untersucht, wo genau die spezifischen Vorteile der Hochtemperatur-Supraleitung liegen könnten“, ergänzt Dr.-Ing. Jörn Grundmann, Technologieentwickler bei Siemens Corporate Technology.

Seit etwa zehn Jahren verfolgt Siemens in mehreren Verbundforschungsprojekten zusammen mit externen Partnern das Ziel, für den

Elektrische Schiffsantriebe profitieren von den neuen Möglichkeiten der Hochtemperatur-Supraleitung, Strom verlustfrei transportieren zu können.

Hochtemperatur-Supraleitung

Der physikalische Effekt der Supraleitung wurde 1911 von dem Niederländer Heike Kamerlingh Onnes an Quecksilber entdeckt, das bei der extrem tiefen Temperatur von 4,2 Kelvin, also 4,2 Grad Celsius über dem absoluten Nullpunkt ($-273,15\text{ °C}$), sprunghaft seinen Widerstand für elektrischen Strom verlor. Da die Kühlung in diesem Temperaturbereich nur mit Helium erfolgen kann, war die Supraleitung in der Energietechnik bislang keine wirtschaftlich realisierbare Alternative.

Dies änderte sich schlagartig, als im April 1986 die Physiker Georg Bednorz und Karl Müller die sogenannte Hochtemperatur-Supraleitung in keramischen Materialien fanden. Inzwischen kennt man keramische Verbindungen, deren Sprungtemperatur zur Supraleitung oberhalb von 77 Kelvin liegt ($-196,15\text{ °C}$), sodass in vielen Fällen mit preiswertem Stickstoff gekühlt werden kann. Siemens nutzt als Kühlmittel für Generator und Motor das Edelgas Neon.



Die Siemens-Ingenieure Hartig, Frauenhofer und Grundmann (von links) diskutieren die Anwendungsperspektiven des neuen Schiffsgenerators. Im Vordergrund die Kältemaschine, die eine Betriebstemperatur von minus 243 Grad Celsius bzw. 30 Kelvin für die Hochtemperatur-Supraleitung in den Spulen realisiert.

Schiffseinsatz geeignete HTS-Generatoren und -Antriebsmotoren zu entwickeln. Partner bei der Entwicklung der Kältetechnik war die TransMIT Gesellschaft für Technologietransfer. Bei der blauen Maschine handelt es sich um das weltweit erste Exemplar eines solchen Generators. „Diese Maschine steht am Beginn einer technischen Revolution“, sagt Grundmann. „Denn bei der HTS-Technologie handelt es sich um eine Radikalinnovation, die – anders als eine sogenannte inkrementelle Innovation, bei der bestehende Komponenten in irgendeiner Weise modifiziert und verbessert werden – alles bisher Dagewesene auf den Kopf stellt.“

Entsprechend beeindruckend sind die Kennziffern: Der Generator leistet 4 Mega-Volt-Ampere, sodass man mit ihm zum Beispiel eine luxuriöse Motoryacht von 50 Meter Länge antreiben und mit Strom versorgen könnte. Die Spulen des Rotors, der sich mit 3.600 Umdrehungen pro Minute dreht, sind mit Drähten aus supraleitenden keramischen Materialien gewickelt und werden mit flüssigem Neon kontinuierlich auf einem Temperaturniveau von minus 243 Grad Celsius gehalten. Dabei kommt es zur Supraleitung und damit zu einer deutlichen Reduzierung der mit jedem elektrischen Widerstand verbundenen Energieverluste. Bei dieser tiefen Arbeitstemperatur kann

Ein Schiffsantrieb auf Basis der Hochtemperatur-Supraleitung stellt alles bisher Dagewesene auf den Kopf.

in einem hohen Magnetfeld inzwischen eine Stromdichte von bis zu 400 Ampere pro Quadratmillimeter erreicht werden. Das ist etwa 30- bis 80-mal mehr, als mit Kupferspulen bei Raumtemperatur erzielt wird. Die Verbesserung des elektrischen Wirkungsgrades gegenüber einem konventionellen Generator ist somit auch erheblich und beträgt etwa 2 Prozent. Aufgrund der andersartigen Bauform ist die Maschine zudem erheblich kleiner. Sie füllt vergleichsweise nur rund 70 Prozent des Raumes und ist mit ihren rund 7 Tonnen auch etwa ein Drittel leichter als eine konventionelle Maschine vergleichbarer Leistung.

„Das alles sind Vorzüge, die HTS-Maschinen – ob in der Ausführung als Generator oder als elektrischer Motor – für den Einsatz auf Schiffen geradezu perfekt prädestinieren“, kommentiert Rainer Hartig, bei Siemens

Koordinator für Forschung und Entwicklung mariner Technologien. Er verweist mit Stolz darauf, dass im Anschluss an die Entwicklung des Generators auch ein im Prinzip baugleicher HTS-Motor von gleicher Leistung, der sich jedoch nur 120-mal je Minute dreht und darum ein umso größeres Drehmoment aufweist, seine Einsatzfähigkeit habe unter Beweis stellen können: „Aufgrund des geringeren Gewichts und der kompakteren Bauweise bei gleichzeitig verbesserten elektrischen Parametern haben die Konstrukteure im Schiffbau nun größere Flexibilität bei der Anordnung dieser Antriebskomponenten im Schiffsrumpf.“ Zudem, erklärt Hartig, benötige ein Schiff zum Ausgleich der nun geringeren Motorlast im Heck vorne im Bug auch weniger Ballastwasser, wodurch sich das Gewicht des Schiffes noch einmal verringere. „Und das wiederum bedeutet, dass das Schiff

Die Zuführung der Kühlung für die Spulen aus Hochtemperatur-Supraleitern. Hier für den Betrieb als Generator ausgelegt.



entsprechend mehr Ladung aufnehmen kann oder weniger Leistung benötigt.“

Die drei Siemens-Ingenieure sind davon überzeugt, künftig besonders bei der Ausstattung sogenannter vollelektrischer Schiffe (VES) mit der HTS-Technologie zum Zuge kommen zu können. Deren Propeller werden nämlich nicht mehr direkt von Dieselmotoren über lange Wellen angetrieben; VES nutzen die Verbrennung des Kraftstoffs zur Stromerzeugung, sodass nun platzsparende Elektromotoren in unmittelbarer Nähe der Schiffschrauben, Strahler oder Propellergondeln (POD-Antriebe) angeordnet werden können. Inzwischen fahren fast alle neu gebauten Kreuzfahrtschiffe dieselelektrisch.

HTS-Generatoren und -Motoren können hier noch zwei weitere Vorzüge unter Beweis stel-

len: „Aufgrund der nicht benötigten Eisenzähne im Ständer sind sie deutlich leiser und vibrationsärmer“, sagt Jörn Grundmann. „Anders als Containerschiffe, die mit konstanter Geschwindigkeit fahren, legen Kreuzfahrtschiffe und Yachten auch schon einmal einen Sprint ein und steuern immer wieder Häfen an. Dabei sind VE-Schiffe von Vorteil, denn bei ihnen lässt sich der Energiehaushalt an den jeweils aktuellen Bedarf von Antrieb und Hotelbetrieb entsprechend flexibel anpassen“, fügt Rainer Hartig hinzu.

Die HTS-Maschine ist hierbei einem konventionellen Elektroantrieb ebenfalls überlegen: „Sie hat eine ungeheure Überlastfähigkeit von 300 bis 500 Prozent.“ Das bedeute zusätzlichen Fahrkomfort und Sicherheit, denn ein solcher Motor könne auch in schwierigen Fahrsituationen nicht „abgewürgt“ werden. ■

Erheblich kompakter und leichter als eine vergleichbare konventionelle Maschine: Der Generator mit den Hochtemperatur-Supraleitern leistet rund 4 MVA bei 3.600 U/min.



Weniger Emissionen bei Fahrt auf hoher See

Trotz einer vergleichsweise guten Umweltbilanz gehören Schiffe zu den starken Luftverschmutzern, denn rund 90 Prozent der weltweit gehandelten Waren werden über die Meere transportiert. Experten aus Industrie und Hochschulen haben ausgelotet, wie Schiffsdieselmotoren umweltfreundlicher werden.

Frachter, Tanker, Kreuzfahrtschiffe und Trawler sind in Nordsee und Atlantik für 20 bis 30 Prozent der Stickoxid-Emissionen verantwortlich – Tendenz steigend. Die Gase heizen den Klimawandel an, sie fördern die Bildung von Ozon, Smog und saurem Regen. Wie also lassen sich die Stickoxidemissionen senken? Ein Team aus Spezialisten ging im Verbundprojekt EMI-MINI dieser drängenden Frage nach und suchte nach Wegen für eine saubere Verbrennung in Großdieselmotoren.

Das Hauptproblem: Auf hoher See verfeuern Schiffe billiges, aber minderwertiges Schweröl. Nur in Emissionskontrollgebieten und in den meisten Häfen muss der Kapitän auf Dieselkraftstoff umstellen. Das Feuern mit Schweröl erzeugt besonders aggressive Verbrennungsprodukte – eine Reinigung der Abgase durch nachgeschaltete Wäscher ist

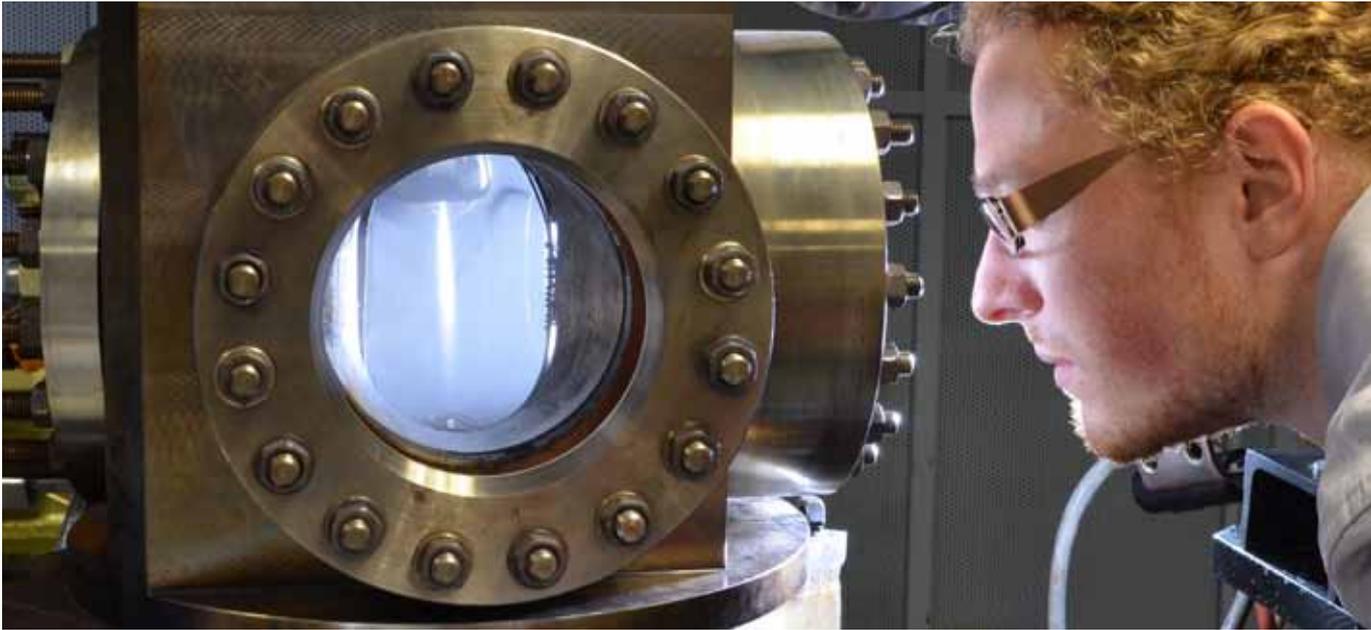
daher kaum möglich. „Die beste Möglichkeit, die Schadstoffe zu mindern, sind also emissionsärmere Motoren“, sagt Professor Horst Harndorf, Experte an der Universität Rostock.

Die Verbrennung im Dieselmotor ist ein Wechselspiel hochkomplexer Prozesse. Die Forscher nahmen daher die gesamte Wirkkette unter die Lupe – von der Einspritzung des Kraftstoffs über die Oxidation und Schadstoffbildung bis hin zur Emission der Verbrennungsprodukte. Bei ihren Forschungen kamen den Beteiligten die langjährigen Erfahrungen aus der deutschen Automobilindustrie zugute. Denn auch der Diesel-Pkw war nicht immer so sauber wie heute. Durch ausgeklügelte Einspritztechnik, elektronische Überwachung der Verbrennung und Abgasrückführung gelang es der Industrie, den Ausstoß von Partikeln und Stickoxiden deutlich zu drücken.

Allerdings lassen sich die Erfolge der Autoindustrie nicht so einfach auf Schiffsmotoren übertragen. Schweröl muss beispielsweise bei weitaus höheren Temperaturen in den Brennraum eingespritzt werden. Außerdem schwankt die Zusammensetzung des Kraftstoffs. Eine



Auf Satellitenbildern, wie hier über dem Golf von Biskaya, sind die Emissionen von Schiffen deutlich zu sehen. Die winzigen Partikel verschmutzen nicht nur die Luft, sondern tragen auch zur Wolkenbildung bei und kühlen damit die Atmosphäre ab.



Vor dem Versuchsaufbau beobachtet der Ingenieur Fabian Pinkert, wie der Brennstoff in den Verbrennungsraum einspritzt. Eine Hochgeschwindigkeitskamera nimmt den Prozess auf.

Abgasrückführung ist so gut wie unmöglich, weil saure Schwefelverbindungen im Abgas den Motor zerstören würden. Ein zentraler Punkt allerdings gilt auch für große und langsam drehende Schiffsmotoren: Die Einspritztechnik entscheidet wesentlich über die Prozesse im Brennraum und damit über die Bildung von Stickoxiden und Partikeln.

Hier setzte das Forschungsprojekt an. In einer Hochdruckeinspritzkammer analysierten die Rostocker Wissenschaftler Strahlausbreitung und Verdampfung des Kraftstoffs. Experten des Münchner Unternehmens AVL simulierten zuvor Einspritzung, Verbrennung und Schadstoffbildung, Versuche am Wissenschaftlich-Technischen Zentrum für Motoren- und Maschinenforschung Roßlau lieferten experimentelle Erkenntnisse zur Bildung der Abgase und Minderung der Emissionen. Wesentlichen Anteil am Erfolg hatte die Umsetzung der Ergebnisse in einem Testmotor beim Motorenbauer und Projektkoordinator Caterpillar in Kiel. Für diesen Motor entwickelte die Stuttgarter Spezialfirma L'Orange einen an Schweröl adaptierten Common-Rail-Injektor. Bei der Common-Rail-Einspritzung wird der

Kraftstoff sehr fein zerstäubt, was die Partikelbildung bremst.

Die Experten im Verbundprojekt variierten zahlreiche Parameter in Simulation, Prüfkammer, Experiment und am Motorprüfstand. Sie untersuchten auch den Einfluss des so genannten Miller-Zyklus, bei dem der Kraftstoff weniger verdichtet und die Brenntemperatur verringert wird. Am Ende zeigte sich, dass sich mit innermotorischen Maßnahmen die Emissionen von Stickoxiden um rund 40 Prozent, die von Partikeln sogar um etwa 80 Prozent senken lassen.

Die Erkenntnisse kommen zur rechten Zeit. Die Internationale Schifffahrts-Organisation (IMO) schreibt seit 2011 vor, dass neue Schiffsantriebe mindestens 20 Prozent weniger Stickoxide ausstoßen als noch vor zehn Jahren. Ab 2016 gelten für so genannte Emissionskontrollgebiete wie beispielsweise Nord- und Ostsee Grenzwerte, die nochmals bis zu 80 Prozent niedriger liegen. Harndorf ist überzeugt: „Diese Verschärfungen haben heute schon den Druck auf die Branche erhöht und werden die Nachfrage nach emissionsarmen Motoren weiter anheizen.“ ■

Mit einer Verbesserung der Verbrennung im Motor lassen sich die Emissionen von Stickoxiden um rund 40 Prozent, die von Partikeln sogar um etwa 80 Prozent senken.

Gefährdete Giganten

Unter der Wasseroberfläche verborgen treiben inzwischen haushohe Propeller wahrhaft gigantische Tanker, Container- und Kreuzfahrtschiffe über die Weltmeere. Mit gängigen Werkstoffprüfmethoden lassen sich diese Kolosse bei Inspektionen durch Taucher oder im Dock nur zeitaufwendig und häufig unzureichend auf Fehler prüfen. Forscher fanden eine Lösung.

Die Sicherheit eines Schiffes hängt wie an einem seidenen Faden an seiner Manövrierfähigkeit. Und wenn einmal der Schiffspropeller bricht, wie vor ein paar Jahren bei der Havarie des Fährschiffs Moby Freedom vor der Küste Sardinien, steht unmittelbar das Wohl der Passagiere auf dem Spiel.

Versteckte Fehler im Material können zum Bruch eines Propellerflügels führen.

Schiffspropeller werden weltweit zu einem großen Prozentsatz aus einer Bronze gegossen, die neben Kupfer hauptsächlich Nickel und Aluminium als Legierungselemente enthält. Mit einem Durchmesser von inzwischen mehr als zehn Metern und bis zu 150 Tonnen schwer, drehen sie sich 150.000-mal und mehr am Tag, um den Schiffen Schub zu verleihen.

„Tatsächlich sind Schäden an Schiffspropellern gar nicht so selten“, gibt Dr. Martin Spies vom Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern zu bedenken und hebt hervor, dass hierfür nicht nur äußere Einwirkungen wie beispielsweise eine Grundberührung die Ursache sein können, sondern häufig auch versteckte Fehler im Material: „Während des Gießprozesses der Rohlinge können aufgrund von Verwirbelungen kleine Sandkörner aus der Form den Propellerwerkstoff verunreinigen, und während der anschließenden Abkühlphase können sich

Beim Guss von Schiffspropellern können sich kleine Poren, sogenannte Lunker, und auch kleine Risse bilden, die schlimmstenfalls zum Bruch des Bronzematerials führen. Mit einem neuen Ultraschallverfahren lassen sich derartige Fehler aufspüren.

kleine Risse und Poren, sogenannte Lunker, ausbilden. Bleiben nun solche kritischen Stellen unentdeckt, steht am Ende vielleicht der Bruch eines Flügels.“



Mit gängigen Werkstoffprüfverfahren wie der zerstörungsfrei arbeitenden Ultraschalluntersuchung sind die Ingenieure angesichts der heutigen Propellerdimensionen jedoch nur bedingt dazu in der Lage, Fehler in deren Materialgefüge zu entdecken und genau zu lokalisieren. „Bislang werden Propeller allenfalls manuell mit Ultraschall auf innenliegende Defekte untersucht – ein fehleranfälliges Verfahren, das zudem in den dickeren Flügelbereichen nicht das komplette Volumen erfasst“, berichtet Martin Spies und präzisiert: „Wenn der Prüfer einen Ultraschallkopf per Hand über die Propellerflügel führt, ist das Ergeb-

nis der Untersuchung zu einem Großteil vom jeweiligen Geschick des Prüfers abhängig und somit die Entdeckung von verborgenen Rissen im Innern ein Stück weit dem Zufall überlassen.“

Auf Anregung des Germanischen Lloyd sandten Spies und seine Kollegen nach Abhilfe und entwickelten ein Lösungskonzept, um die Güte von Schiffspropellern objektiv beurteilen zu können. Dem Forscherteam schwebte vor, das Ultraschallprüfverfahren zu mechanisieren und somit die Untersuchungsergebnisse reproduzierbar zu machen. Kein leichtes Unterfan-

Ein mechanisiertes Ultraschallprüfverfahren erhöht die Zuverlässigkeit der Fehlerortung.



gen, denn Schiffspropeller sind geometrisch komplex gestaltete Baukörper. Sollte also eine Mechanik den Ultraschall-Prüfkopf führen, musste sie den geschwungenen Oberflächen der Flügel exakt folgen können.

Zudem hatte man die innovative Idee, bei der Auswertung der Ultraschallsignale die am Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP in anderen Arbeitsbereichen erfolgreich eingesetzte Synthetische Apertur Fokus Technik (SAFT) anzuwenden. Bei diesem ursprünglich aus der Radartechnik stammenden Verfahren wird die Güte der Fehlerabbildung mit mathematischen Methoden verbessert. „Wir waren uns sicher, auf diese Weise die Auffindwahrscheinlichkeit von Fehlern in den Propellern signifikant erhöhen zu können“, erinnert sich Spies. Die Idee zündete. Am 1. September 2005 ging das öffentlich geförderte Verbundforschungsprojekt ProRepaS mit den Partnern Germanischer Lloyd AG, GKSS Forschungszentrum, Fraunhofer IZFP und dem Propellerhersteller Wärtsilä Propulsion NL an den Start.

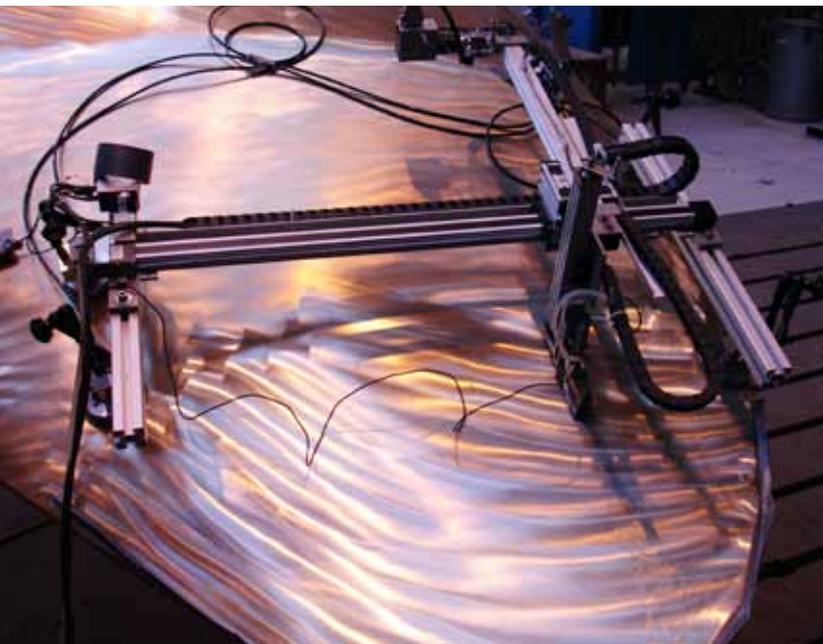
Mit mathematischen Methoden werden Störsignale reduziert und Fehlersignale verstärkt. So lassen sich Materialfehler besser mit Ultraschall erkennen.

Um festlegen zu können, wie groß eine Fehlstelle im Propeller überhaupt sein durfte, ohne zu einem Sicherheitsrisiko zu werden, entwickelte der Partner Germanischer Lloyd AG auf der Grundlage von Berechnungen zur Materialbeanspruchung zunächst eine bruchmechanische Bewertungsprozedur. „Unsere Aufgabe war es dann, die Ultraschall-Prüftechnik so zu optimieren, dass die kleinste zu ermittelnde Fehlergröße sicher erkannt werden konnte“, berichtet Martin Spies.

Die für Schiffspropeller in der Regel verwendeten Nickel-Aluminium-Bronzen sind per se sperrige Kandidaten für eine Ultraschallprüfung. Bedingt durch unterschiedliche Abkühlgeschwindigkeiten nach dem Guss in den Rand- und Kernzonen, also den dünn- und dickwandigen Bereichen des Propellers, kommt es in den dickeren Kernzonen zur Herausbildung grober Kristallite. „Mangelnde Homogenität des Kristallgefüges und Grobkörnigkeit sind jedoch große Hürden für den Ultraschall. Er wird im Werkstoff gestreut und zudem von den groben Körnern im Kern stark geschwächt. Und diese Schallschwächung wiederum hat ein geringes Signal-Rausch-Verhältnis zur Folge, das eine Fehlerdetektion und -bewertung mit den in der Werkstoffprüfung üblichen Messeinrichtungen erschwert oder gar unmöglich macht“, erklärt Spies.

Mit speziellen, an die Werkstoffeigenschaften der Propeller-Bronze adaptierten Berechnungsverfahren und erweiterten Algorithmen (SAFT++) gelang es den Forschern schließlich, einerseits das Gefügerauschen bei der

Der mobile Scanner erlaubt es, Ultraschall in definierten Winkeln einzusenden, um auch schräg zur Oberfläche liegende Fehler zu entdecken. Zudem kann das System große Mengen an digitalisierten Ultraschallprüfdaten aufzeichnen. In einem Folgeprojekt versuchen die Forscher nun, die zerstörungsfreie Prüfung auch auf Fertigungs- und Reparaturschweißungen von Propellern anzuwenden.

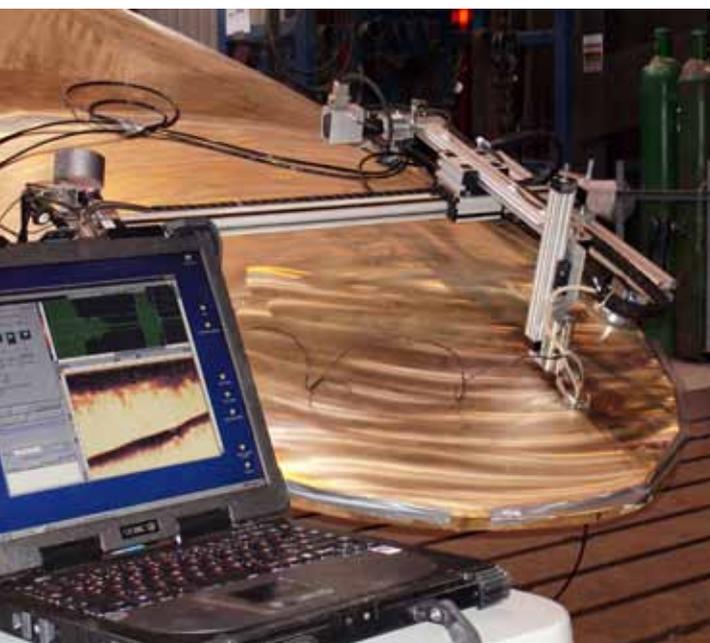


Auswertung des Ultraschallsignals zu reduzieren, andererseits aber Informationen über eventuell vorhandene Fehler zu verstärken und so den sicheren Einsatz einer Ultraschallprüftechnik für bis zu 450 Millimeter Profildicke zu demonstrieren. „Wir können kleinste, bis zu wenige Millimeter lange Risse aufspüren“, berichtet Spies, „und da wir den Ultraschall in definierten Winkeln einsenden, finden wir auch schräg zur Oberfläche liegende Fehler.“

Voraussetzung für diesen Erfolg war, die Reproduzierbarkeit des Prüfverfahrens über eine mobile und intelligente Manipulatortechnik zu garantieren und hierfür Fahrprogramme zu entwickeln, die an die Kontur der Propellerflügel angepasst waren. Das aus dem Forschungsprojekt ProRepaS hervorgegangene Gerät scannt derzeit Prüfraster von 700 mal 400 Millimeter ab und erreicht bei hoher Genauigkeit eine Geschwindigkeit von bis zu 100 Millimetern pro Sekunde. Die Forscher nutzen das mobile Scansystem inzwischen für ihre Vor-Ort-Prüfungen in Gießereien, bei Propellerherstellern sowie auf Werften und ver-

bessern gegenwärtig die Scanzeiten und die Fehlerabbildung in der 3D-Bildgebung.

In einem derzeit laufenden Folgeprojekt erweitert das Team die Einsatzmöglichkeiten: So wird die zerstörungsfreie Prüfung auch auf Fertigungs- und Reparaturschweißungen von Propellern ausgedehnt und ein Verfahren zur Eigenspannungsmessung mittels Ultraschall entwickelt. Zudem wollen sie die Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (Probability of Detection, POD) weiterhin verbessern, indem sie neben Ansätzen aus der Statistik auch Simulationsverfahren anwenden. Aber schon jetzt ist der Applaus aus der Fachwelt groß: 2009 wurden Hans Rieder und Martin Spies aus dem ProRepaS-Team für ihr innovatives Ultraschallprüfverfahren mit dem Berthold-Preis der Deutschen Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung ausgezeichnet; 2011 erhielten die drei ProRepaS-Forscher Alexander Dillhöfer, Hans Rieder und Martin Spies für diese herausragenden Arbeiten zum Werkstoff Kupfer und dessen Legierungen den Innovationspreis des Deutschen Kupferinstituts. ■



Schluss mit dem Fehlerteufel

Wo immer große Mengen an Daten anfallen, gibt es auch Fehler. Diese nachträglich zu beseitigen, kostet Zeit und Geld. Eine Prüfsoftware für Konstruktionsdaten schafft Abhilfe.

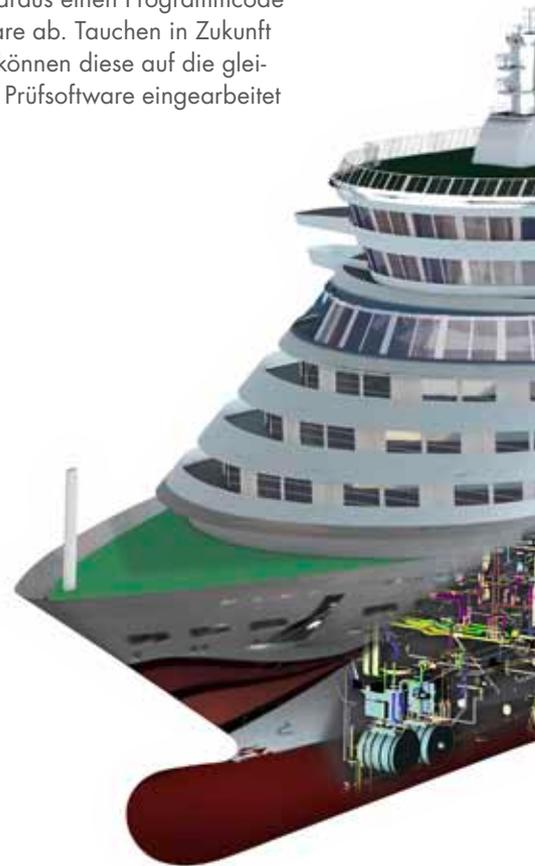
Schiffe werden heutzutage mithilfe von Computern konstruiert, wobei im Rechner 3D-Modelle entstehen. Dazu stehen Werften und Zulieferbetrieben spezielle CAD-Softwaresysteme (Computer Aided Design) zur Verfügung. Es gilt: je schlüssiger das Modell, desto effizienter der Prozess der Konstruktion.

Doch die computergestützte Konstruktion hat auch ihre Tücken. Viele Daten werden nicht von der Werft selbst erstellt, sondern von externen Zulieferern an die Werft gemeldet. Dabei kommt es immer wieder zu Übertragungsfehlern, die auf den ersten Blick nicht auffallen. Und auch die Endkontrolle der hochkomplexen Konstruktionsdaten erfolgt bislang nur teilweise automatisiert und ist daher mit einem hohen zeitlichen und personellen Aufwand verbunden.

Ziel des Forschungsprojektes „QualiSHIP“ war es daher, die Qualitätskontrolle der Daten zu verbessern und zu vereinfachen und so den Konstruktionsprozess insgesamt schneller und zuverlässiger zu machen. „Ursprünglich dachten wir, es würde reichen, eine bei uns bereits vorhandene Fehlerdatenbank zu optimieren und deren Inhalte zu nutzen. Darin sind Ereignisse dokumentiert, die in der Vergangenheit zu Bauabweichungen geführt haben. Aber diese Datenbank ist zu allgemein gehalten, sodass man sie nur in Teilen für eine automatisierte Prüfung nutzen konnte“, erzählt Christoph Baier von der Lürssen-Werft in Bremen. „Aufgrund der Komplexität der Prozesse haben wir erkannt, dass eine effiziente Lösung am besten im Rahmen eines Verbundforschungsprojektes zu erarbeiten ist.“ Insgesamt sechs Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft haben schließlich von 2006 bis 2009 an QualiSHIP mitgewirkt.

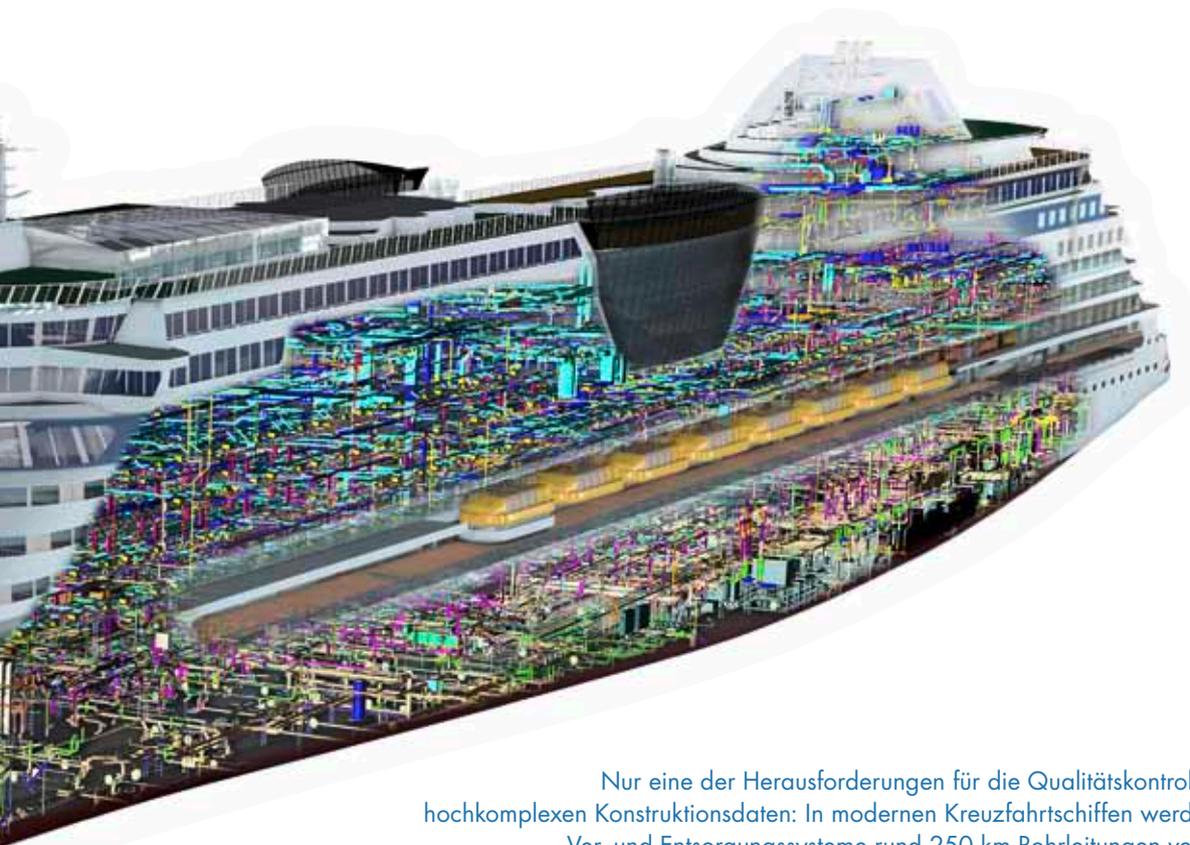
Zu Beginn des Forschungsprojektes wurden die Mitarbeiter der Werft zu häufigen Fehlern, deren Ursachen und den Möglichkeiten, sie zu beheben, befragt. Daran wirkten auch Kommunikationswissenschaftler der Universität Rostock mit. Es stellte sich heraus, dass bestimmte Fehler tatsächlich immer wieder auftreten. Ein Beispiel: Auch in der computergestützten Konstruktion sollte jedem Bauteil immer eine Positionsnummer zugeordnet sein, mit der es in der Fertigung eindeutig zu identifizieren ist. Im Projekt QualiSHIP haben die Forscher nun für diese Positionsnummern im Modell allgemeingültige Qualitätskriterien formuliert wie: „ist vorhanden“, „ist Standard“, „ist plausibel“. Anschließend legte man einfache Wenn-Dann-Regeln fest und leitete schließlich daraus einen Programmcode für die Prüfsoftware ab. Tauchen in Zukunft neue Fehler auf, können diese auf die gleiche Weise in die Prüfsoftware eingearbeitet werden.

Die Erfahrungen der Mitarbeiter mit immer wieder vorkommenden Fehlern und deren Ursachen waren den Forschern Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Prüfsoftware zur Qualitätskontrolle von Konstruktionsdaten.



Doch nicht alle Fehlerarten lassen sich automatisch beheben oder zumindest erkennen. Dies betrifft etwa Konstruktionen, die zwar formal korrekt ausgeführt, aber inhaltlich verbesserungsfähig sind. Als Beispiel nennt Christoph Baier die Möglichkeiten der Verbindung von Längs- und Querbauteilen, die im Schiff je nach Position und Platzverhältnissen sehr unterschiedlich sein können. Das kann kaum durch einfache Regeln formuliert oder durch eine Software überprüft werden. Erfahrene Mitarbeiter aus der Konstruktion, Arbeitsvorbereitung oder Fertigung können solche Fehler in der Regel jedoch sehr schnell erfassen. Darum entwickelten die Wissenschaftler in QualiSHIP auch einen neuen Prüfprozess

unter Beteiligung der relevanten Gewerke, bei dem die Konstruktion in einem sehr frühen Stadium anhand bestimmter Kriterien visuell überprüft wird. Kern dieses Prüfkonzeptes ist ein 3D-Stereoprojektionssystem, das einen besonders plastischen Eindruck der Konstruktion vermitteln kann. In sogenannten Design Reviews können die Ingenieure nun mögliche Fehler frühzeitig erkennen und beheben. In der Fertigung bringt das erhebliche Zeit- und Kostenvorteile, denn die Fachleute aus Konstruktion und Fertigung sehen schon am Entwurf sofort, ob die Bauelemente ineinander passen. Aufwendiges manuelles Nacharbeiten oder Bauteilsuche in der eigentlichen schiffbaulichen Fertigung kann man sich so sparen. ■



Nur eine der Herausforderungen für die Qualitätskontrolle der hochkomplexen Konstruktionsdaten: In modernen Kreuzfahrtschiffen werden für Ver- und Entsorgungssysteme rund 250 km Rohrleitungen verbaut.

Treffsicherheit im Vorentwurf

Der weltweite Wettbewerb unter den Werften ist hart. Schon eine einzige Fehlkalkulation kann bei einem so komplexen und teuren Produkt wie einem Schiff das wirtschaftliche Aus bedeuten.

In der Angebotsphase eines Schiffes beweist sich die Konkurrenzfähigkeit einer Werft. Rund 85 Prozent der später entstehenden Baukosten werden schon in dieser Phase festgeschrieben.

Vor den Olympischen Winterspielen in Vancouver 2010 hatte die kanadische Regierung einen Auftrag zu vergeben. Drei neue große Fähren sollten den reibungslosen Transfer zwischen der Olympiametropole und der vorgelagerten Vancouver Island sicherstellen. Auch der Weltmarktführer für RoRo-Fähren (Roll-on/Roll-off-Fähren), die Flensburger Schiffbau-Gesellschaft (FSG), bewarb sich um diesen Großauftrag und erhielt am Ende den Zuschlag.

Die Schiffbauer hatten ein besonderes Argument auf ihrer Seite: Mit SESIS (schiffbauliches Entwurfs- und Simulationssystem), das im Rah-

men eines Verbundforschungsprojektes mit insgesamt sieben Partnern aus Wissenschaft und Industrie entwickelt wurde, verfügt die FSG über ein hochwirksames Software-Tool für die entscheidende Vorentwurfsphase von rund vier Wochen. In dieser kurzen Zeitspanne, die einer Werft für die Abgabe eines Angebots zur Verfügung steht, muss letztlich das gesamte zu erstellende Schiff geplant werden – zwar noch nicht in jedem Detail, aber in den grundlegenden Parametern wie Gewicht, Länge, Geschwindigkeit, Kraftstoffverbrauch, Be- und Entladezeiten und so weiter. Das hat zur Folge, dass bereits in dieser Phase bis zu 85 Prozent der gesamten Kosten eines Schif-



fes festgeschrieben werden. Mit den Ergebnissen aus dem Projekt SESIS konnte die FSG im Wettbewerb punkten.

Zwar gab es zuvor schon eine computergestützte Entwurfsumgebung, aber die Methoden und Module waren bis zu dreißig Jahre alt. „Bei jedem Schiffsneubau wurde die Software an zu verändernde Parameter angepasst. Das führte dazu, dass sie schließlich in vielen unterschiedlichen Versionen existierte und eigentlich kaum noch zu handhaben war“, berichtet Ottmar Krämer-Fuhrmann vom Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI in Sankt Augustin. „In dieser Situation haben wir gemeinsam mit unserem Forschungspartner FSG beschlossen, eine moderne Simulationssoftware zu entwickeln.“

Die Neuentwicklung musste mehrere Bedingungen erfüllen. Unter anderem sollte sie

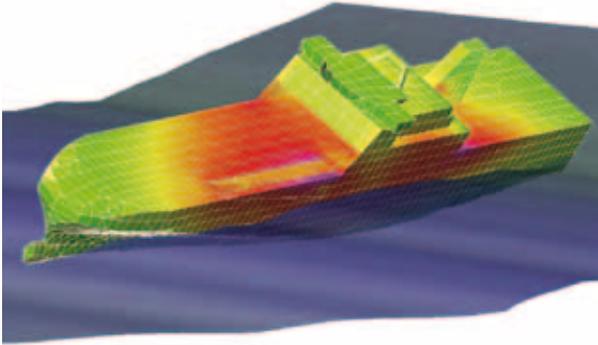
dazu in der Lage sein, bereits vorhandene Simulationsmodelle in die neue Umgebung einzubinden. „Bei der FSG hatten wir mit dem System E4 bereits eine bewährte Sammlung von über 200 verschiedenen schiffbaulichen Methoden, auf die wir natürlich nicht verzichten wollten“, sagt Thomas Gosch von der FSG. „Außerdem wollten wir, dass das System interoperabel ist, das heißt die Verwendung verschiedener Betriebssysteme durch offene Schnittstellen ermöglicht. Zudem sollte es jederzeit erweiterbar sein und natürlich verteiltes Arbeiten an verschiedenen Arbeitsplätzen ermöglichen.“

Um all diese Anforderungen zu erfüllen, entwickelten die Forscher vom Fraunhofer SCAI und dem ebenfalls am Projekt beteiligten Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) das sogenannte RCE. Das Kürzel steht für „Reconfigurable Computing Environment“. Hinter dem englischen Fachausdruck verbirgt sich im Grunde nichts anderes als ein großer, Java-basierter Baukasten, auf dessen Einzelteile die Entwickler der Werft und auch Partner, Ingenieurbüros oder Zulieferer an jedem ihrer Arbeitsplätze zugreifen können. Mittels sogenannter Plug-ins kann der Ingenieur an seinem Computer das jeweils gewünschte Werkzeug aufrufen und so beispielsweise den Schiffsantrieb auslegen oder die durchschnittliche Beladungszeit einer Fähre simulieren. Was in der Beschreibung einfach klingt, war in der praktischen Umsetzung weit weniger trivial. Denn die Ingenieure der Werft mussten ihre existierenden Programme ganz gezielt auf mögliche Kompatibilitätsprobleme durchsuchen und dann entsprechend anpassen. Bei einem Programm, das hunderttausend Zeilen Programmcode enthalten kann, war dies eine zeitraubende Aufgabe, mit der bei der FSG vier Mitarbeiter drei Jahre lang intensiv beschäftigt waren.

Internationale Ausschreibungen können gewonnen werden, wenn schon im Vorentwurf das Preis-Leistungsverhältnis auf Heller und Pfennig ersichtlich wird.

Die computergestützte neue Entwurfsumgebung erlaubt aufgrund offener Schnittstellen die Verwendung unterschiedlicher Betriebssysteme.





„Enorm viel Arbeit, die sich aber gelohnt hat“, kommentiert Thomas Gosch. Mit SESIS kann die Werft beispielsweise jetzt schon in der ersten Entwurfsphase das Gewicht des künftigen Schiffes sicher kalkulieren und gegebenenfalls Entwurfsparameter anpassen. Damit ist ein echter Wettbewerbsvorteil verbunden, denn je leichter ein Schiff wird, desto weniger Kraftstoff wird es im Betrieb verbrauchen. Im neuen System lässt sich auch der spätere Bau des Schiffes vorab simulieren. Im Fall der kanadischen Ausschreibung konnten die FSG-Ingenieure auf diese Weise genau ermitteln, wie viel Zeit sie für den Bau der Fähre benötigen würden und waren imstande, den Auslieferungszeitpunkt exakt festzulegen, was für eine Werft überlebenswichtig sein kann. Und schließlich lassen sich mit SESIS auch wichtige Details genau kalkulieren. So kann es beispielsweise sinnvoll sein, individuell auf den geplanten Einsatz eines Schiffes ausgerichtete Einrichtungen vorzusehen wie spezielle Ladevorrichtungen für bestimmte Häfen, die immer wieder angesteuert werden. Damit kann der Reeder teure Liegezeiten in diesen Häfen verkürzen – und Zeit einsparen, die er auf der Überfahrt dann zum Beispiel dazu nutzen kann, langsamer zu fahren und auf diese Weise weniger Brennstoff zu verbrauchen.

All das lässt sich mit SESIS bereits heute in der frühen Entwurfsphase berechnen und abwägen. Aber das Potenzial der Software ist längst noch nicht ausgeschöpft, denn prinzipiell lassen sich auch Daten der Zulieferer beispielsweise für Generatoren, Propeller oder Ruder in den frühen Entwurfsprozess integrieren. „IT-seitig haben wir das schon gelöst“,

Nur ein Teilaspekt der komplexen Herausforderung Konstruktion: Die auf ein Schiff einwirkenden Kräfte geben die Abmessungen der Stahlstruktur vor. Es gilt also, diese Struktur sicher zu dimensionieren – aber nicht überzudimensionieren und unnötig schwer und zudem teuer zu machen. Die von einem Schiff aufzunehmenden Lasten ergeben sich sowohl aus den globalen Bewegungen des Schiffes im Seegang als auch aus den lokalen Lasten für Vor- und Hinterschiff aufgrund temporären Seeschlages. Beide Lastarten lassen sich anhand der dafür grundlegenden physikalischen Gesetze berechnen, simulieren und unmittelbar im Schiffsentwurf nutzen.

sagt Ottmar Krämer-Fuhrmann, „indem wir eine spezielle Sicherheitsarchitektur entwickelt haben, in der jeder Benutzer nur das sieht, was er sehen soll, und auch nur jene Methoden anwenden kann, die er anwenden darf.“

Ein grundlegendes Problem im Zusammenhang mit dem Auftrag für Vancouver konnte allerdings auch das neue Entwurfssystem nicht lösen. Wie schafft man es, ein für den Fährbetrieb zwischen Vancouver und Vancouver Island gebautes Schiff, das nicht hochseetauglich ist, von Flensburg an die kanadische Westküste zu transportieren? Wie den großen Teich mit schwerer See und schwierigen Wetterverhältnissen überwinden? „Das mussten wir ganz klassisch lösen“, erinnert sich Thomas Gosch, „indem wir den ganzen Weg von Flensburg bis hinunter nach Südspanien immer küstennah gefahren sind. Für die Überquerung des Atlantiks haben wir dann mithilfe der Meteorologen die absolut ruhigste Wetterphase des Jahres abgewartet, das Schiff zusätzlich an den Seiten verstärkt und dann gehofft, dass es klappt.“ Es hat funktioniert. Alle drei Fähren überstanden die Atlantiküberquerung und auch die anschließende Passage durch den Panamakanal und entlang der amerikanischen Westküste bis nach Vancouver unbeschadet. Olympia konnte kommen. ■

Hightech in Aspik

Tief tauchen ist mindestens so kompliziert wie ein Flug ins All. Um unbemannte Forschungsreisen in die Tiefsee einfacher und kostengünstiger zu machen, haben Forscher unterschiedlicher Disziplinen ein druckstabiles Schutzsystem für empfindliche Elektronik und Geräte entwickelt.

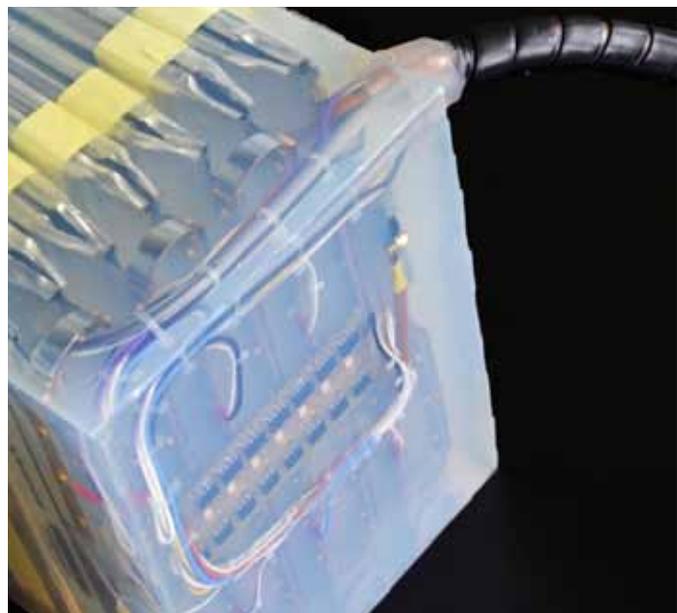
Als im vergangenen August der Rover Curiosity erfolgreich auf dem Mars aufsetzte, um dort Gestein zu untersuchen, ließ das Dr. Carl Thiede ziemlich kalt. „Wir wissen heute schon mehr über den Mars als über manche Regionen auf unserem eigenen Planeten“, sagt der promovierte Maschinenbauer von der Firma Enitech in der Nähe von Rostock.

Zu diesen immer noch rätselhaften Welten gehört die Tiefsee. Nicht auf Mars oder Mond, davon ist Thiede überzeugt, sondern tief unter dem Meer wird künftig Entscheidendes passieren. Dafür spricht einiges: Ohne Daten aus der Tiefsee bleibt der Klimawandel unverstanden, Biologen suchen dort nach unbekanntem Arten, Geologen nach Formationen, Tsunami- und Erdbebenforscher beobachten die Plattentektonik, Energiekonzerne erschließen unter dem Meer immer tiefer liegende Vorkommen an Öl, Gas und Mineralien.

Was Enitech gemeinsam mit der Technischen Universität Berlin und dem Leibniz-Institut für Ostseeforschung bereits seit 2000 entwickelt, könnte sowohl Wissenschaft als auch Industrie einen großen Schritt voranbringen. Denn alle, die in der Tiefsee agieren, sind abhängig von ferngesteuerten Geräten und Fahrzeugen, die bis in mehrere tausend Meter Tiefe autonom und zuverlässig funktionieren. Weder Eiseskälte noch enormer Druck oder

Strömungen, weder Korrosion noch Mikroorganismen dürfen den Motoren, Batterien, Kameras, elektronischen Bauteilen und Kabeln etwas anhaben.

Eines der Hauptprobleme ist eine trockene und sichere Unterbringung der empfindlichen Technik. Herkömmliche Roboter und Unterwasserfahrzeuge nutzen deshalb dickwandige luftgefüllte Hüllen aus Titan oder Spezialkeramik, um dem großen Druck der Tiefsee standzuhalten. Oder die Bauteile werden in ölgefüllte Gehäuse gesetzt, wobei das Flüssigkeitsvolumen abhängig von der Tiefe ständig ausgeglichen werden muss. Beide Varianten stoßen wegen hoher Kosten oder mangelnder Dichtheit meist schnell an ihre Grenzen.



Die Forscher bringen Bauteile für Tiefseetechnologie wie Batterien, Motoren, Scheinwerfer und empfindliche Elektronik nicht wie üblich in Druckgehäusen unter, sondern umgießen sie mit Silikon.



Die druckneutrale Bauweise in Silikonvergüssen erschließt den empfindlichen Systemen Tauchtiefen von bis zu 6.000 Metern. Dort halten sie problemlos einem Druck von 600 bar stand.

Im Verbundprojekt Druckneutrale Systeme (DNS) gehen die Forscher einen ganz neuen Weg. Sie umgießen elektronische Bauteile, Motoren oder Akkus mit elastischen Kunststoffen wie Silikon oder Polyurethan. Nach dem Aushärten sind dann die Bauteile in diesen Blöcken flexibel, aber druckstabil eingebettet – es sieht aus wie Hightech in Aspick. Die Vorteile liegen auf der Hand: Es gibt keine Flüssigkeiten, die auslaufen kön-

nen, die Blöcke sind korrosionsfest und leicht zu warten. Die Komponenten werden kleiner, kompakter, sicherer und kostengünstiger. „Und sie sind quasi in jeder beliebigen Tiefe einsetzbar“, sagt Thiede. Für Bauteile wie Mikrocontroller, die einen winzigen Luftraum benötigen, um zu funktionieren, entwickelte Enitech spezielle Messmethoden, um deren Widerstandsfähigkeit bei hohem Druck zu testen.

Alle Beteiligten des Verbundforschungsprojektes arbeiteten Hand in Hand und in stets enger Kooperation: Enitech entwickelte den druckneutralen Verguss, am Institut für Konstruktion, Mikro- und Medizintechnik der TU Berlin konstruierten Experten unter anderem Hülle und Skelett von Tauchfahrzeugen, das Leibniz-Institut für Ostseeforschung in Warnemünde (IOW) trug die Verantwortung für die Tauchgänge. Seit 2010 ist die Berliner Firma EvoLogics mit im Team und steuert akustische Modems zur Datenübertragung bei. Weltklasse, denn mit dieser Technik wird es bald möglich sein, von jedem Standort der Welt aus die Unterwassersysteme quasi in Aktion online zu beobachten.

Die druckneutralen Systeme wurden in den vergangenen Jahren auf mehreren Unterwasserfahrzeugen beispielsweise in der Ostsee getestet. In Silikon gehüllte Batterien und Sensoren zeigten danach weder Verunreinigungen oder Bewuchs noch eine Änderung des Volumens. Ein ferngesteuerter Roboter mit Namen Erno tauchte im Madeira-Becken mehrmals bis auf 5.000 Meter Tiefe. „Zum ersten Mal in 20 Jahren Tiefseeforschung konnte ich Bilder von dort lebenden Tieren und vom Meeresboden sehen“, ist Dr. Joanna Waniek, Ozeanographin am Leibniz-Institut, begeistert. Im Mai 2012 lieferte Nachfolger Erno2 dank LED-Scheinwerfern und drei Kameras Livebilder aus über vier Kilometern Tiefe im Nordost-Atlantik. Die ersten Kunden sind auf die neue Technologie mittlerweile aufmerksam geworden: Eine Reihe von silikonvergossenen Elektromotoren und Batterien hat Enitech bereits verkauft.

Waniek erwartet gemeinsam mit den anderen Forschern im Projektteam gespannt das nächste Jahr. Der Roboter Erno2 wird gemeinsam mit einem autonomen Unterwasserfahr-

Dr. Joanna Waniek und Prof. Detlef Schulz-Bull vom Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde bereiten Komponenten eines DNS-Systems für einen Test an einer Sinkstoff-falle in der Ostsee vor.

zeug im Spätsommer 2013 auf Tauchfahrt gehen, um dort zunächst 300 Meter unter der Meeresoberfläche die Azorenfront zu vermessen. An dieser Front treffen die Wassermassen des nördlichen Atlantiks und die warmen salzreichen Gewässer des subtropischen Atlantiks aufeinander. „Erstmals könnte es eine 3D-Karte dieser ungewöhnlichen Strukturen geben“, hofft die Ozeanographin. Solche Aufnahmen würden beispielsweise zeigen, wie schnell sich natürliche oder vom Menschen eingeleitete Stoffe im Meer ausbreiten und wo sie ihren Ursprung haben.

Und noch eines eint die beteiligten Forscher trotz ihrer unterschiedlichen Disziplinen: der große Respekt vor der Tiefsee. Extreme Drücke und eiskaltes Salzwasser können uns Menschen in dieser für Erdbewohner lebensfeindlichen Welt in Bruchteilen von Sekunden den Garaus machen. Deswegen würde selbst Thiede als leidenschaftlicher Roboterkonstrukteur nie so weit abtauchen, selbst wenn ihn James Cameron persönlich zum Wrack der Titanic einladen würde. „Ich weiß einfach, wie viel dabei passieren kann.“ ■

Erfolge in der Tiefsee fallen nicht vom Himmel: Seit dem Jahr 2000 arbeiten die Ingenieure in Verbundforschungsprojekten Schritt für Schritt an der Entwicklung der Technologie.



Arbeitsplatz Tiefsee

Systemintegration lautet das Mantra der Wissenschaftler und Ingenieure in der Meerestechnik. Alles muss nicht nur funktionieren, sondern die unterschiedlichen Komponenten müssen auch tief unter der Meeresoberfläche zuverlässig miteinander in Wechselwirkung treten können.

Die Runde einiger Wissenschaftler, Ingenieure und Praktiker aus der Wirtschaft war sich nach einer Veranstaltung der Gesellschaft für Maritime Technik (GMT) zu den Möglichkeiten der Gas- und Ölproduktion in der Tiefsee schnell einig: Die damit verbundenen großen technologischen Herausforderungen sind gleichzeitig auch für die deutsche Industrie eine große Chance. Denn in Umbruchsituationen, so lehrte sie die Erfahrung, kann es auch

neuen Teilnehmern gelingen, in Märkte einzutreten, die eigentlich über Jahrzehnte hinweg von anderen besetzt erschienen. Der Innovationsgrad eines technologischen Vorhabens entscheidet dabei über Erfolg oder Misserfolg.

Zu Beginn aller Offshore-Technik waren etwa zeitgleich ab 1949 im amerikanischen Louisiana und im Kaspischen Meer fest stehende Stahl- und Betonkonstruktionen auf dem Mee-



resboden entstanden, um Öl und Gas zu fördern. Mit dieser Technologie gelang es, im Laufe der Jahre bis zu einer Tiefe von etwa 300 Metern die Rohstoffe zu fördern. Seit den 1970er Jahren konstruierte man dann schwimmende Anlagen, die allerdings am Grund verankert werden mussten. Die größten Wassertiefen werden so heute im Golf von Mexiko mit rund 2.400 Metern erreicht. Wesentlich tiefer geht es mit dieser Technik jedoch nicht.

„Der gegenwärtig vollzogene Entwicklungsschritt der Offshore Öl- und Gasindustrie besteht darin, immer mehr fördertechnische Funktionen von der Wasseroberfläche auf den Meeresboden zu verlagern und weitgehend auf Überwassersysteme zu verzichten“, erklärt Dr.-Ing. Sven Hoog von der Hamburger IMPaC Offshore Engineering den aktuellen Technologiewandel und fügt hinzu: „Der

Verzicht auf Überwasseranlagen ermöglicht – theoretisch –, in jeder beliebigen Wassertiefe eine kostengünstige, effektive und damit auch umwelt- und ressourcenschonende Produktion zu etablieren.“ Das Problem: Um in den dunklen Tiefen der Ozeane sicher und zuverlässig zu funktionieren, müssen die Anlagen zu einem großen Teil autonom agieren bzw. ferngesteuert werden können.

Aus der losen Gesprächsrunde wurden Forschungspartner. Die gemeinsame Zielvorstellung: eine integrierte Technologieplattform für die Zulieferung von Komponenten und Teilsystemen für Unterwasser-Produktionssysteme in der Tiefsee zu entwickeln, um flüssige und gasförmige Kohlenwasserstoffe am Grund der Tiefsee wirtschaftlicher gewinnen zu können als bislang. Der innovative Ansatz: mit modernsten Möglichkeiten der Informations- und Steuerungstechnik ein komplexes Fördersystem für die Tiefsee zu entwickeln und abschließend dessen Funktionieren in einer Simulation zu überprüfen. „Uns schwebte vor, dass wir ein Netzwerk schaffen, in das sich einzelne Komponenten so leicht integrieren lassen, wie etwa ein Drucker in ein Büronetzwerk“, erinnert sich Hoog. Am 1. November 2006 ging das Verbundforschungsprojekt ISUP (Integrated Systems for Underwater Production of Hydrocarbons) an den Start.

Die gemeinsame Mission führte drei Jahre darauf zum Erfolg. Den Forschungspartnern gelang es, vier bislang getrennte Technologiestränge zu verknüpfen: erstens einen Installations- und Montagerahmen für den Meeresboden, der die Installation von standardisierten Produktionsmodulen und deren Wartung ermöglicht, zweitens ein multifunkti-

Die Zukunft wird den ferngesteuerten und zum Teil autonom arbeitenden Produktionsstationen am Meeresboden gehören, um dort – über Pipelines und Datenkabel mit ihren Steuerzentralen an Land verbunden – gasförmige, flüssige und feste Rohstoffe zu fördern.

Mit den Möglichkeiten moderner Informations- und Steuerungstechnik integrierten die ISUP-Forscher ein komplexes Fördersystem aus unterschiedlichen Technologieentwicklungslinien für die Tiefsee und überprüften dessen Funktionsfähigkeit in einer Simulation.





onales Unterwasserarbeitsgerät, das Montagearbeiten teilautonom und ferngesteuert ausführen kann, drittens eine neuartige Mehrphasenpumpe in Kombination mit einem neuartigen Antriebsmotor, um in der Tiefe die dort gewonnenen Gas- und Ölmengen bei schwankendem Förderdruck sicherer in Pipelines transportieren zu können, sowie viertens ein alles verbindendes „Intranet“ mit einem innovativen Kontroll- und Automatisierungssystem auf Basis offener Schnittstellen, das für Ferndiagnose und Fernwartung eine sichere Kommunikationstechnik bereithält. „Damit können wir im Prinzip über das Internet eine Tiefsee-Produktionsanlage von jedem Ort der Welt aus steuern“, berichtet Sven Hoog voller Stolz.

Mit dem in ISUP entwickelten Ansatz ist es den Forschungspartnern gelungen, weit über den Kreis der unmittelbar Beteiligten hinaus für ganz unterschiedliche Industriezweige einen breit angelegten Zugangsweg zu den Märkten der Meerestechnik zu schaffen. Hoog verweist auf erste Erfolge: Die in ISUP mit einer neuartigen Drucktechnik ausgestatteten Pumpen des Projektpartners Bornemann stießen international auf großes Interesse, da sie dazu in der Lage seien, in nahezu beliebigen Wassertiefen zu arbeiten. Mit ihnen ließe sich zum Beispiel im Notfall auch in der Tiefsee aus Leckagen austretendes Öl gezielt zu Tankschiffen abpumpen, erläutert Hoog und gibt zu bedenken, „dass solch ein Unterwasser-Sauger für Öl beim Blowout der Deepwater Horizon im Golf von Mexiko im Frühjahr 2010 sicherlich von Nutzen gewesen wäre.“

Unterwasser-Arbeitsgeräte, Produktionsmodule und weitgehend autonom arbeitende Förderplattformen und Verteilerstationen wirken nach dem ISUP-Konzept am Meeresgrund über ein Intranet zusammen. Die Kontrollstation kann dank schneller Datenübertragung über das Internet an jedem Ort der Welt stehen.

Eine Hoffnung für die Ölunfallbekämpfung

Bei Ölunfällen kann herkömmliche Technik nur dann etwas ausrichten, wenn die See ruhig ist und die Wellen flach. Ein neuartiges Auffanggerät der Technischen Universität Berlin, ein sogenannter Skimmer, operiert auch bei hohem Seegang und könnte die Ölbekämpfung einfacher und effizienter machen.

Die Katastrophe auf der Ölplattform Deepwater Horizon im April 2010 ist schon fast wieder vergessen, aber die Bilder von riesigen Ölteppichen und ratlosen Gesichtern bleiben im Gedächtnis. „Was für ein Drama, wenn man erkennen muss, wie wenig die Technik bei solchen Katastrophen helfen kann“, sagt der Bremer Schiffbauingenieur Martin Gohmann. Das Problem der gängigen Systeme zur Ölbekämpfung: Sie können nur bei ruhiger See oder Wellen bis maximal 1,5 Meter etwas ausrichten. Bei Sturm oder höherem Seegang – wie damals im Golf von Mexiko – sind sie wirkungslos.

Gohmann handelte. Als Technischer Direktor der Firma Maritime A-Design schickte er kurz nach der Explosion der Plattform ein Hilfsangebot an den Krisenstab des Ölmultis BP. Sein Vorschlag: Ein neuartiges Ölbekämpfungsschiff einzusetzen, das relativ unabhängig von Wellen und Wetter auf offenem Meer auslaufendes Öl abschöpfen kann.

Die Grundlagen für dieses Rettungsangebot aus Deutschland haben allerdings Wissenschaftler der Technischen Universität Berlin geschaffen, denn ein Team am Institut für Land- und Seeverkehr hatte einen von Seegang und Schiffstyp unabhängigen

Der Ölteppich, den die Explosion der Förderplattform Deepwater Horizon verursachte, war eine der größten Katastrophen der letzten Jahre.

Ölskimmer entwickelt, kurz SOS. „Es ist das erste Ölbekämpfungssystem, das auch bei rauer See effizient operiert“, erläutert Ingenieur Sascha Kosleck, einer der beteiligten Forscher vom Fachgebiet Meerestechnik.

Die Anforderungen der Berliner Forscher an ihren neuartigen Skimmer: Er musste innerhalb kurzer Zeit große Mengen an Wasser-Öl-Gemisch aufnehmen können. Er sollte über ein spezielles Sammelbecken verfügen, in dem das Öl schnell aufsteigt und in einen Speicher abfließt. Außerdem stellten die Forscher fest, dass sich mehr abschöpfen lässt, wenn Becken und Speicher gekapselt werden und der Wasserspiegel darin durch leichten Unter- oder Überdruck von außen reguliert wird. Nicht zuletzt sollte ein damit ausgerüstetes Ölbekämpfungsschiff robust und leicht zu bedienen sein, um der Kraft hoher Wellen zu trotzen.

Der neue Ölskimmer ist sehr robust und dazu in der Lage, auch in rauer See zuverlässig Öl von Wasser zu trennen.



Einige der folgenreichsten Ölkatastrophen

1989: Tankerunfall der Exxon Valdez, rund 37.000 Tonnen Rohöl strömen in den Prince William Sund vor Alaska

1991: Wahrscheinlich mehr als eine Million Tonnen Rohöl fließen in den Persischen Golf, weil irakische Soldaten im Zweiten Golfkrieg Pipelines sprengen

1996: Tankerunfall der Sea Empress, rund 72.000 Tonnen Öl verpesten die Küste von Süd-West-Wales

2002: Tankerunglück der Prestige, etwa 62.000 Tonnen Schweröl verseuchen große Strecken der französischen und spanischen Atlantikküste

2010: Explosion der Bohrplattform Deepwater Horizon, bis zu einer Million Tonnen Rohöl gelangen in den Golf von Mexiko

Die inzwischen national wie international patentrechtlich abgesicherte SOS-Technologie ist extrem robust, da sie ohne bewegliche Teile auskommt, und sie ist auch dann einsatzfähig, wenn widrige Umweltbedingungen bisher verfügbare Systeme in geschützten Häfen festhalten. Die Wirkungsweise des neuen Skimmers ist schnell erklärt: Der offen gestaltete Bug gleitet über die Wasseroberfläche und drückt dabei den Ölfilm unter das Schiff. Das verschmutzte Wasser strömt zu einer Separationsklinge, die die oberen Schichten von der Hauptströmung trennt. Das Öl gelangt in ein großes Becken, den so genannten Moonpool, wird dort durch aufsteigende Wirbel beschleunigt und sammelt sich an der

Im Wellenkanal haben die Forscher der Technischen Universität Berlin maßstabsgetreue Modelle des Ölskimmers gründlich getestet.

Oberfläche. Hier fließt es über gekrümmte Wände in Sumpfe, von wo es später abgepumpt wird.

Was einfach klingt, ist in Wirklichkeit ziemlich kompliziert. „Wir mussten erst verstehen lernen, wie Öl, Wasser und Luft bei Seegang zusammenwirken“, erinnert sich Kosleck. Mit Hilfe numerischer Verfahren simulierten die Berliner komplexe Strömungsphänomene wie Geschwindigkeitsverteilung, Wirbelbildung und Druckverteilung. Parallel zu den Berechnungen am Computer experimentierten sie mit drei unterschiedlich großen Modellen im 100 Meter langen Wellenkanal der Universität. Sie variierten beispielsweise Höhe und Anzahl der Wellen, Fahrtgeschwindigkeit und Form des Schiffes sowie die Neigung von Wandungen und der Separationsklinge des Skimmers.

Statt Öl nutzten sie kleine Kunststoffpartikel, die auf dem Wasser einen öl-ähnlichen, geschlossenen Film bilden. Die Forscher fanden heraus, dass für den Erfolg mehrere Faktoren entscheidend sind: Dazu gehören die



wie Halbkreise geformten Wände des Moonpools. Sie stabilisieren die Wirbel und treiben die Partikel schneller an die Oberfläche. Daneben ist die Druckregelung im Sammelbecken maßgebend, denn die Ölabtrennung wird dadurch unabhängiger von Bewegung und Tiefgang des Schiffs. Außerdem funktionieren große Schiffe besser als kleine, und es kommt in jedem Fall auf eine optimale Fahrtgeschwindigkeit an. Allerdings nimmt auch beim SOS die Ölausbeute bei rauer werdendem Seegang ab. In ruhiger See können rund 90 Prozent des Öls abgeschöpft werden, bei Wellen bis zu 3,7 Meter Höhe noch rund die Hälfte, bis zu 5,5 Metern etwa 30 Prozent.

„Ich war gleich von der Idee des Systems überzeugt“, sagt der Schiffbauingenieur Gohmann und kaufte das Patent auf den Skimmer. Er ließ einen alten Lastkahn umrüsten und einen 20 Meter langen und acht Meter breiten Moonpool einbauen. Bei Testfahrten auf der Elbe stellte dieser einfache Prototyp im Jahr 2011 sein Können unter Beweis: Vorher ausgestreutes Popcorn saugte

er komplett in seinen Ölsumpf. Noch im Jahr 2012 soll der Kahn auf der Nordsee beweisen, dass er auch „bei Welle“ problemlos arbeitet.

Ein wesentlicher Vorteil des seegangsunabhängigen Systems ist nicht zuletzt, dass es auf unterschiedlichen Schiffen eingebaut werden kann. Auf Tankern genauso wie auf Versorgungsschiffen für Plattformen und Windparks, Eisbrechern und Evakuierungsbooten. Damit würden Schiffe, die eigentlich für ganz andere Zwecke unterwegs sind, nebenbei zu Ölbekämpfern.

Das Hilfsangebot aus Deutschland hat der Ölmulti BP nach der Explosion der Deepwater Horizon zwar nie beantwortet. Da sich Bohrsenseln aber immer mehr in ökologisch sensible Regionen der Erde ausbreiten, sind sich sowohl der Praktiker Gohmann als auch die Berliner Wissenschaftler sicher, dass die Industrie weltweit nicht darum herumkommen wird, künftig effizientere Verfahren und Einrichtungen zur Ölbekämpfung bereitzustellen, als das heute der Fall ist. ■

Ob Tanker, Versorgungsschiff oder Eisbrecher: der seegangsunabhängige Ölskimmer kann von unterschiedlichen Schiffen aus betrieben werden.



Forschung mit Hebelwirkung

Hans-Joachim Otto, von 1990 bis 1994 und seit 1998 Mitglied des Deutschen Bundestages, ist seit 2009 Parlamentarischer Staatssekretär beim Bundesminister für Wirtschaft und Technologie. Im März 2010 wurde er zum Koordinator der Bundesregierung für die maritime Wirtschaft berufen und erläutert im Interview, wie die staatliche Forschungsförderung die Innovationskraft der maritimen Wirtschaft stärkt.

Die Bundesregierung fördert die Entwicklung von Schifffahrt und Meerestechnik in Deutschland kontinuierlich mit mehrjährig angelegten und spezifisch ausgerichteten Programmen. Wie ist diese Förderung strukturiert und was macht ihren Erfolg aus?

Hans-Joachim Otto: In der maritimen Branche verfügen wir über ein engmaschiges Netz an Förderinstrumenten, die sich in ihren Wirkungen sowohl in horizontaler wie auch vertikaler Struktur gut ergänzen. In der Vertikalen setzt den Startpunkt die Grundlagenforschung, beispielsweise die Materialwissenschaften, mit Zuständigkeit im Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Der Stab wird dann an das vorwettbewerbliche Forschungs- und Entwicklungs-(F&E-)Programm „Maritime Technologien“ im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) übergeben. Hier decken wir die gesamte maritime Breite von der anwendungsorientierten industriellen Grundlagenforschung bis hin zur Demonstrationsreife neuer Technologien ab. Den Abschluss macht unser Innovationsprogramm, in dem wir den Stab vom F&E-Programm übernehmen und gezielt die Erstanwendung neuer Technologien in den Markt begleiten. Ergänzend verfügen wir über eine Reihe weiterer Förderinstrumente, die das Netzwerk in der Horizontalen engmaschiger machen. Dazu zähle ich beispielsweise unser branchenübergreifendes ZIM-Programm für kleine und mittlere Unternehmen sowie unser KfW-Programm für Zinsausgleichszahlungen (CIRR).

Könnten Sie dieses Ineinandergreifen der Instrumente an einem Beispiel verdeutlichen?

Otto: Mit unserem eng gestrickten Netzwerk können wir ganz gezielt sogenannte Förderketten bilden, um den Wirkungsgrad der Umsetzung von einer ersten Idee in den Grundlagen bis hin zum fertigen Produkt beträchtlich zu steigern. Hier gibt es ein enormes Verbesserungspotenzial, denn die Erfahrung zeigt, dass aus 20 bis 30 Grundlagenideen letztlich häufig nur ein oder zwei Produkte hervorgehen. Ein Beispiel dafür, wie eine solche Förderkette wirksam wurde, ist das Projekt SOS-Ölskimmer, über das in dieser Broschüre berichtet wird. Wir haben dieses innovative technische System zur Abschöpfung von Öl nach Unfällen zunächst im F&E-Programm bis zur Demonstrationsreife begleitet und anschließend mit dem Innovationsprogramm bis hin zur Markteinführung fördern können. Was sich an diesem Beispiel zeigt, ist die Tatsache, dass sich ein Programm wie etwa das F&E-Programm „Maritime Technologien“ nicht alleine über seine Ausstattung mit Fördermitteln definieren lässt.

Wie hoch ist das Finanzvolumen für Forschung und Entwicklung in der maritimen Wirtschaft zu beziffern?

Otto: Das Programm verfügt heute über ein jährliches Budget von ca. 30 Millionen Euro. Von der Industrie kommen nochmals bis zu

30 Millionen Euro Eigenanteil dazu. Sodass für das breite Themenspektrum der maritimen Branche – von der Hydrodynamik über neue Antriebskonzepte, innovative Produktionstechnologien, neue Informationsverarbeitung, Kommunikation und Assistenzsysteme bis hin zur Meerestechnik mit ihrem Bedarf an autonomen, intelligenten Lösungen – insgesamt rund 60 Millionen Euro Industrieforschungsmittel pro Jahr zur Verfügung stehen.

Zahlt sich die damit finanzierte F&E in der gesamtgesellschaftlichen Perspektive aus, oder wird, wie Kritiker sagen, nur ein Wirtschaftszweig alimentiert? Stehen Mittelersatz und Ergebnis in einem akzeptablen Verhältnis?

Otto: Die von uns in die maritime F&E investierten Mittel zahlen sich nicht nur aus – der Wert der damit erzielten Ergebnisse übersteigt den Einsatz sogar um das Zehnfache!

Wie das?

Otto: Es kommt darauf an, die Strukturen für erfolgreiche F&E richtig anzulegen: In jedem unserer Projektverbünde finden Sie deshalb intensive Kooperationen zwischen Industrie und wissenschaftlichen Einrichtungen – und das branchenübergreifend. So ermöglichen wir es, dass für unsere maritime Branche letztlich das gesamte nationale technologische Know-how zur Verfügung steht. Und die Basis und Grundvoraussetzung dafür, dass das nötige Wissen auch an die richtigen Stellen gelangen kann, schaffen wir, indem das BMWi sogenannte Austauschplattformen anbietet, etwa Arbeitsgruppen, Workshops, Statustagungen, Symposien oder aber auch die interministerielle Frühkoordinierung zwischen allen Programmen der Bundesregierung.

Dieser ganze Strauß an Maßnahmen gewährleistet eine Vervielfachung der Forschungseu-



Hans-Joachim Otto: „Mit kaskadenartig wirksamen Förderketten können wir den Wirkungsgrad von F&E drastisch erhöhen.“

ros. Im Falle des F&E-Programms „Maritime Technologien“ haben wir eine Hebelwirkung von 10 erreichen können. Aus jedem Forschungseuro konnten 10 Umsatzeuro generiert werden. Aus etwa 100 Millionen Euro Forschungsgeldern in der Förderperiode 2005–2010 entstanden Wertschöpfungen in Höhe von mehr als 1 Milliarde Euro. Dazu kommt ein positiver Effekt für den Arbeitsmarkt. Etwa 7.000 neue Stellen in der maritimen Branche lassen sich auf die Fördermaßnahmen zurückführen. Und das ist mit dem reinen Budget-Gedanken nicht zu erklären.

Und lassen sie mich noch etwas aufgreifen, das gerne vergessen wird. Es ist die Wirkung dieser Programme auf die Nachwuchsförderung. Attraktive Projekte, in die unsere Hochschulen eingebunden sind, haben eine messbare positive Wirkung auch auf Studenten, die sich für die Fachrichtungen der maritimen

Technologien interessieren. Die Fördermaßnahmen dienen damit auch der Nachwuchsförderung, einem wichtigen Element der Zukunftssicherung. Eine ausreichende Menge qualifizierter Fachkräfte, auch weiblicher, ist für unsere maritime Branche zwingend, wenn wir uns auch künftig an den hart umkämpften Märkten behaupten wollen.

Kurzum: Um der deutschen maritimen Industrie die Entwicklung und den Einsatz von Hightech zu erleichtern, die Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt zu verbessern und wettbewerbsfähige Arbeitsplätze zu sichern, wird die Bundesregierung Forschung, Entwicklung und Innovation mit ihren Programmen auch künftig mit erheblichen Mitteln fördern.

Herr Staatssekretär, Sie sind Koordinator der Bundesregierung für die maritime Wirtschaft. Welche Aufgaben sind mit diesem Amt verbunden?

Otto: Die maritime Wirtschaft ist aufgrund ihrer engen Verflechtung mit der übrigen Wirtschaft von hoher Bedeutung für eine Exportnation wie Deutschland und hat großes Zukunftspotenzial. Das haben wir rechtzeitig erkannt.

Der vom Kabinett bestellte Koordinator für die maritime Wirtschaft hat – allgemein gesagt – deshalb die Aufgabe, wichtige Initiativen und Maßnahmen zur Stärkung der internationalen Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit des maritimen Standorts Deutschland in den Bereichen Schiffbau, Meerestechnik, Seeschifffahrt und Hafenvirtschaft zu flankieren und zu koordinieren. Solche Themen wie „Offshore-Windenergie-Nutzung“, „Maritimer Klima- und Umweltschutz“ und „Maritime Sicherheit“ sind hierin eingeschlossen.

Wo setzen Sie – jenseits der Förderung von Forschung und Entwicklung – die Schwerpunkte?

Otto: Als Maritimer Koordinator sehe ich meine Aufgabe darin, durch eine mehr moderierende Rolle wichtige Abstimmungs- und Entscheidungsprozesse zu beschleunigen. Es geht dabei auch darum, die von mehreren Ressorts der Bundesregierung in ihrer eigenen Zuständigkeit verfolgten Politikansätze zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des maritimen Standortes Deutschland zu koordinieren.

Mein Anliegen ist es insbesondere, bei der Gestaltung der operativen Rahmenbedingungen für die maritime Wirtschaft eine in sich konsistente Politik zu gestalten. Dazu führe und fördere ich einen intensiven Dialog mit allen Beteiligten aus Bund, Ländern und maritimer Wirtschaft.

Ist es nicht letztlich ureigenste Sache der maritimen Unternehmen selbst, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern?

Otto: Selbstverständlich sind die Unternehmen der maritimen Branchen selbst gefordert, schon vorhandene Möglichkeiten besser zu nutzen und die Potenziale zu erkennen, auch ohne staatliche Unterstützung ihre Wettbewerbsfähigkeit deutlich zu verbessern. Aber das Wohl und Wehe der maritimen Wirtschaft hängt nicht allein an den Unternehmen. Ich stehe dafür, dass die Akteure in der Wirtschaft, in den Institutionen der Küstenländer, in den zuständigen Bundesministerien oder auch die Sozialpartner noch enger kooperieren, als dies bisher schon geschieht.

Ein zentrales, sehr hilfreiches Instrument dafür sind die im zweijährigen Rhythmus stattfindenden Nationalen Maritimen Konferenzen, deren Vorbereitung und Durchführung zum Aufgabenspektrum des Koordinators für die maritime Wirtschaft gehören, sowie anschließend die Begleitung der Akteure bei der Umsetzung der auf diesen Konferenzen erarbeiteten Ergebnisse und Handlungsempfehlungen. ■

Maritime Technologien der nächsten Generation

An Bewährtem sollte man festhalten: Bestärkt durch die guten Ergebnisse aus der letzten Förderperiode hat das BMWi das Forschungsprogramm „Maritime Technologien der nächsten Generation“ für Schiffbau, Schifffahrt und Meerestechnik 2011 bis 2015 aufgelegt. Die staatliche Förderung richtet sich speziell an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, gemeinsam mit wissenschaftlichen Einrichtungen innovative Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln.

Das Programm „Maritime Technologien der nächsten Generation“ umfasst die vier Schwerpunkte Schiffstechnik, Produktion maritimer Systeme, Schifffahrt und Meerestechnik. Und es ist offen: Dies bedeutet, dass Interessierte jederzeit Skizzen und Anträge bei dem vom BMWi beauftragten Projektträger, dem Projektträger Jülich (PTJ), einreichen können. Künftige Projektpartner aus Unternehmen und Wissen-

schaft erhalten hier umfassende Unterstützung und Beratung über alle Phasen des Forschungsprozesses hinweg: von der Ausformulierung einer Forschungsidee und Hilfe bei der Antragstellung, über die gesamte Projektlaufzeit hinweg bis hin zum Projektabschluss, dem zumeist die Markteinführung eines im Forschungsprojekt entwickelten Produkts oder einer Dienstleistung folgt.



Perspektive Kreuzfahrtschiffbau: Deutsche Werften sind mit Hightech erfolgreich.

Für Schwerpunktsetzungen nutzt das BMWi das Instrument des Forschungswettbewerbs, also die Ausschreibung zeitlich befristeter Förderbekanntmachungen. Denn in politisch relevanten Feldern sollen die besten Forschungskonzepte und -ideen zum Zuge kommen. Jüngstes Beispiel hierfür ist die Ausschreibung TIMM (Technologien für Inspektionen und Monitoring im Meer). Der Fokus dieses Förderschwerpunktes richtet sich auf Technologien für das effiziente Monitoring in der Meerestechnik. Hierzu zählen beispielsweise die systematische Überwachung, Inspektion und Protokollierung von technischen Komponenten, Systemen und Prozessen sowie relevanten Umweltparametern auch über lange Zeiträume hinweg. Daraus lassen sich vielfältige technologische Herausforderungen und Marktpotenziale für die deutsche maritime Forschung und Industrie ableiten.

Generell spiegeln sich in der aktuellen maritimen Forschung die Fragen der Technologieentwicklung in unserer Zeit. Klima- und Umweltschutz werden immer wichtiger, und somit wachsen auch im Seeverkehr und in der Meerestechnik die Umweltaforderungen. Es gilt, ein Gleichgewicht von verantwortungsvoller wirtschaftlicher Nutzung der Meeresressourcen und dem Schutz der Meeresumwelt zu finden.

Dabei sind Schiffbau und Meerestechnik integrative Wirtschaftsbranchen, die bei der Fertigung von Hightech-Produkten praktisch

alle Querschnittstechnologien unter extrem anspruchsvollen Randbedingungen einsetzen. Maritime Forschung und Entwicklung setzt beispielsweise auf neue Materialien (für die Transportsicherheit und den ressourcenschonenden Leichtbau), auf optische Technologien (etwa für die Präzisionsfertigung von Großstrukturen), auf Informations- und Kommunikationstechnik (für das virtuelle Schiffsdesign und die Simulation der Schiffbauproduktion unter Einbeziehung der gesamten Wertschöpfungskette), auf Mechatronik (bei der Fertigung und den Bordsystemen), auf Brennstoffzellentechnologie (für Unterwasserfahrzeuge) und auf Satellitennavigationssysteme (für die Verbesserung der Schiffssicherheit).

Zunehmend rücken marine Ressourcen in den Mittelpunkt des wirtschaftlichen Interesses. Um sie effektiv und umweltverträglich nutzen zu können, bedarf es innovativer Verfahren und intelligenter Technologien, die häufig extremen Umweltbedingungen wie Temperatur, Druck, Salzgehalt standhalten müssen. Hier gibt es vielfältige noch ungelöste Herausforderungen etwa in puncto Sicherheit und Zuverlässigkeit der Systeme: Intelligenz, Autonomie, Kommunikation oder Sensorik.

In ihrer technologischen Komplexität steht die Eroberung der Tiefsee der Eroberung des Weltraums in nichts nach. In der Meerestechnik spannt sich denn auch der Bogen von der Offshore-Technik für die Öl- und Gasgewinnung über die Erkundung, Gewinnung und



Anfang Mai 2012 konnte erfolgreich ein druckneutrales ferngesteuertes Fahrzeug (ERNO2) im Nordost-Atlantik auf Testreise in die Tiefe gehen. Angetrieben von vier Elektromotoren mit innen liegenden Propellern ließ sich der Tauchroboter leicht und wendig über den Meeresboden manövrieren – in rund 4.000 Meter Tiefe.



Ziel des Verbundprojektes HYDROS im Forschungsprogramm „Maritime Technologien der nächsten Generation“ ist die Entwicklung und Erprobung eines neuartigen hydrostatischen Radialgleitlagers für große Schiffswellen. Sabine Gold vom Institut für Fluidtechnik (IFD) der TU Dresden befestigt Sensoren an einem Lagerprüfstand.

Nutzung mariner mineralischer Rohstoffe und Gashydrate sowie der Polar- und Umwelttechnik bis hin zu erneuerbaren Energien aus dem Meer, der Unterwasser-Robotik und den intelligenten Systemen. In all diesen Feldern zeichnen sich wachsende Potenziale für die deutsche meeres-technische Industrie ab, die nur durch die konsequente Weiterentwicklung der technologischen Leistungsfähigkeit im Verbund von Wissenschaft und Industrie genutzt werden können.

Erhebliches Zukunftspotenzial für die maritime Wirtschaft bietet der Ausbau der Offshore-Windenergienutzung. In den nächsten Jahren besteht ein enormer Bedarf an neuen Errichter- und Versorgungsschiffen, neuen Plattformen für die Errichtung der Windturbinen oder zum Beispiel auch verlässlichen Überwachungstechnologien.

Zudem sind Energieeffizienz und Emissionsminderung wichtige Themen der Forschungsförderung. Die Einführung wirtschaftlicher Instrumente zum Klimaschutz und der Übergang

zum schwefelarmen Schiffstreibstoff werden den Technologieschub hin zu energieeffizienten Lösungen im Schiffbau weiter verstärken.

Der deutsche Schiffbau hat immer dann Wettbewerbsvorteile, wenn Kunden technisch hoch anspruchsvolle Produkte wünschen. Das Know-how basiert hierzulande auf einer langen Industrietradition und guten Ausbildungssystemen. Deshalb ist es wichtig, kontinuierlich in Forschung und Entwicklung zu investieren, denn nur auf diese Weise wird es gelingen, mit Innovationen immer wieder erneut die Konkurrenzfähigkeit unter Beweis zu stellen. Die Perspektiven unserer Werftindustrie – und daran eng gekoppelt auch einer schlagkräftigen Zulieferindustrie – liegen somit insbesondere im Spezialschiffbau, der in ganz besonderer Weise auf Spitzentechnologien aufbaut.

Viele spannende aktuelle Verbundprojekte in der Förderung, wie zum Beispiel HYDROS, machen neugierig auf neue maritime Erfolgsgeschichten. ■

Weitere Informationen zum Programm „Maritime Technologien der nächsten Generation“
und zur Antragstellung im Internet unter der Adresse:

www.ptj.de/schiffahrt-meerestechnik

Kontakt

Elke Proß
Projektträger Jülich
Meeresforschung, Geowissenschaften,
Schiffs- und Meerestechnik (MGS)
Leiterin Fachbereich Maritime Technologien (MGS2)
Forschungszentrum Jülich GmbH
Zimmerstraße 26-27 – 10969 Berlin

Tel.: 030 20199-507

Fax: 030 20199-508

e.pross@fz-juelich.de

www.ptj.de

Weitere Hinweise zu den in dieser Broschüre beschriebenen Forschungsprojekten
(alle Projektpartner, Projektleiter, Kontaktdaten) im Internet unter der Adresse:

<http://foerderportal.bund.de/foekat>

| Projekt | Förderkennzeichen (FKZ) |
|---------------|-------------------------|
| Ballastwasser | 03SX169 |
| USE-VR | 03SX233/03SX273 |
| PESOS | 03SX187 |
| SlowMan | 03SX241 |
| LaSSe | 03SX218 |
| HTSL/HTS | 03SX143/03SX221/03SX253 |
| EMI-MINI | 03SX225 |
| ProRepaS | 03SX209/03SX278 |
| QualiSHIP | 03SX230 |
| SESiS | 03SX206 |
| DNS | 03SX220/03SX276 |
| ISUP | 03SX229 |
| SOS | 03SX196/03SX270 |

Alle Vorhaben, zu denen in der vorliegenden Broschüre Beiträge veröffentlicht sind, wurden im Programm „Schifffahrt und Meerestechnik für das 21. Jahrhundert“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert. Die Broschüre wurde aus Projektfördermitteln des BMWi finanziert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeber

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Konzeption

Mediakonzept, Düsseldorf (www.mediakonzept.com)

Autoren

Dieter Beste, Christa Friedl, Marion Kälke,
Dr. Ludwig Kürten, Kay Müllges

Fotografie

Ulrich Zillman

Satz und Layout

Lutz Stolz

Druck

Brandt GmbH, Bonn

Stand

Dezember 2012

Bildnachweis

Seite 1: fotolia.com/danielsbfoto

Seite 14: VWS Deutschland GmbH/Berkefeld

Seite 21: Dieter Beste

Seite 23: TraffGo

Seite 25: RWE Innogy

Seite 26: Hapag-Lloyd

Seite 27: TU Hamburg-Harburg

Seite 32: NASA

Seite 34: Fraunhofer ITWM

Seite 36: Fraunhofer ITWM

Seite 34: Fraunhofer ITWM

Seite 39: Meyer Werft

Seite 40: Flensburger Schiffbau-Gesellschaft

Seite 42: Flensburger Schiffbau-Gesellschaft

Seite 45: Dr. Ralf Prien, IOW

Seite 46: IMPaC Offshore Engineering

Seite 48: IMPaC Offshore Engineering

Seite 49: NASA

Seite 50: TU Berlin

Seite 53: Wonge Bergmann

Seite 55: Meyer Werft

Seite 56: Enitech

Seite 57: IFD, TU Dresden

