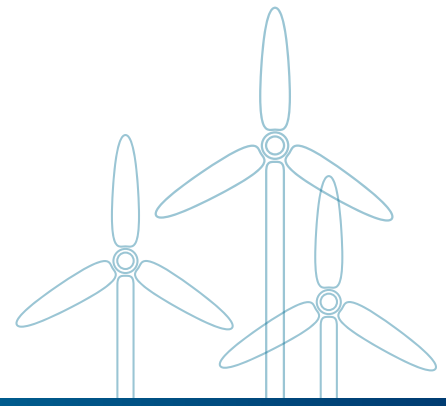


SMART OCEAN TECHNOLOGIES
LÖSUNGEN FÜR EINE VERANTWORTUNGSVOLLE
NUTZUNG DER MEERE







ZUSAMMENFASSUNG

Weißer Stellen auf der Landkarte gibt es schon lange nicht mehr – die Erde ist genauestens kartographiert und erforscht. Mit einer großen Ausnahme: Die Tiefe der Ozeane. Über sie ist weniger bekannt als über die Rückseite des Mondes und des Mars. Dabei wäre fundiertes Wissen elementar, schließlich stößt das Wachstum an Land zunehmend an seine Grenzen. Bereits heute nutzen die Menschen die Ozeane immer vielseitiger. So dienen die Meere nicht nur als Transportweg, sondern ermöglichen über am Meeresboden verlegte Glasfaserkabel auch das schnelle Internet, liefern Nahrungsmittel über Aquakulturen und werden in Offshore-Windparks und Explorations-Plattformen zunehmend auch industriell genutzt. Entsprechende Meerestechnik zu entwickeln, ist daher extrem wichtig. Denn Gesellschaft, Politik und Wirtschaft sind auf die Erkenntnisse der Meeresforschung angewiesen – nur mit dem nötigen Wissen lassen sich die Ozeane und Meere schützen und nachhaltig nutzen. Die Meeresforschung ist zudem ein starker Treiber, wenn es darum geht, Hochtechnologien im maritimen Bereich zu entwickeln: Seien es Sensorsysteme, Unterwasserfahrzeuge oder Tiefseeobservatorien.

Eine Forschungsdisziplin alleine stößt bei der Entwicklung von Meerestechnik schnell an ihre Grenzen. Das 2016 gegründete Kompetenznetzwerk Subsea@Fraunhofer dagegen bündelt die umfangreichen Erfahrungen und Kompetenzen im Bereich der Unterwassertechnik von insgesamt dreizehn Fraunhofer-Instituten bzw. -Einrichtungen – und hebt somit die Forschung in diesem zukunftssträchtigen Bereich auf eine neue Stufe. Damit bildet das Kompetenznetzwerk den führenden Verbund für angewandte Forschung in der Unterwassertechnik in Europa. Das liegt vor allem in seinem Alleinstellungsmerkmal begründet: Subsea@Fraunhofer bearbeitet die gesamte Bandbreite der Meeres- und Unterwassertechnik. Es ist interdisziplinär aufgestellt und verfügt über Experten in IT, Materialwissenschaften, Ingenieurwissenschaften, Elektronik, Sensortechnik, Energietechnik, Robotik, Aquakultur sowie Automatisierungs- und Systemtechnik.

Die entwickelten Meerestechnologien müssen dabei beinahe entgegengesetzten Anforderungen nachkommen: Einerseits sollen sie so wenig wie möglich in die ozeanischen Ökosysteme eingreifen, andererseits jedoch vielfältige relevante Fragen beantworten und komplexe Zusammenhänge aufdecken. Diesen Spagat wollen die Meeresforscher in unterschiedlichen Forschungsschwerpunkten stemmen. Zum einen im Bereich der Basistechnologien. Hier geht es beispielsweise darum, Unterwasserfahrzeuge zu entwickeln – samt entsprechender Energieversorgung, neuartiger Sensoren sowie einer robusten, hochaufgelösten Bildgebung. Weitere Forschungsschwerpunkte liegen in der Kommunikation, der Navigation und der Manipulation unter Wasser. Wichtig sind jedoch nicht nur solche Basistechnologien: Auch Querschnittstechnologien sind für eine gelungene und nachhaltige Meeresnutzung unabdingbar. So etwa die Entwicklung von Smart Services, die einen wichtigen Beitrag zur Wertschöpfung in der maritimen Branche leisten, oder die Zuverlässigkeit, beispielsweise für Offshore-Anwendungen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft trägt mit ihren Kompetenzen dazu bei, Technologien für den »Smart Ocean« zu entwickeln und diese in die Anwendung zu überführen. Kurzum: Sie gestaltet die Balance von Nutzung und Schutz der Ozeane aktiv mit. Die Entwicklung entsprechender Technologien geht dabei Hand in Hand mit innovativen, international agierenden maritimen Industrieunternehmen. Beispiele für solche Technologien sind Infrastrukturen für Tests und Inbetriebnahme oder auch die dreidimensionale Erfassung und Überwachung großer Unterwasserstrukturen wie Offshore-Anlagen.

Wie lässt sich eine verantwortungsvolle Nutzung der Ozeane realisieren? Diese Frage beantwortet das Fraunhofer Netzwerk Subsea mit konkreten Handlungsempfehlungen.



EINLEITUNG

Vom Weltraum aus betrachtet strahlt die Erde überwiegend in schönstem Blau. Denn zu rund 70 Prozent ist sie von Ozeanen bedeckt. Und obwohl wir Menschen der Meinung sind, unseren Planeten sehr gut zu kennen, wissen wir über diese »blauen« Bereiche wenig. Dabei wissen die Menschen den Ozean durchaus zu nutzen: Die Meere liefern Nahrung, Energie und Rohstoffe, dienen als Transportweg und sind ein unverzichtbarer Teil des Klimasystems der Erde. Künftig wird die Nutzung der Ozeane durch den Menschen stark zunehmen. Die Frage, die sich hier stellt: Wie kann man die Meeresressourcen verantwortungsvoll wirtschaftlich nutzen und die Meeresumwelt dennoch schützen? Dieses Gleichgewicht zwischen wirtschaftlicher Nutzung und Meeresschutz motiviert die Wissenschaftler bei Fraunhofer und muss die Grundlage für künftige Entwicklungen sein.

Unterwassernutzung stellt Technik vor große Herausforderungen

Auf den Meeren herrschen raue Bedingungen: Winde und Stürme peitschen über das Wasser, das Salzwasser greift die Materialien an, mit zunehmender Tiefe steigt der Druck und vieles mehr. Dies stellt Mensch und Technik vor besondere Herausforderungen. Soll die Technik unter Wasser eingesetzt werden, sind die Herausforderungen zudem ungleich höher. So ist beispielsweise die drahtlose Kommunikation unter Wasser nur sehr eingeschränkt möglich. Breitbandige Lösungen wie WiFi können nicht eingesetzt werden, um Roboter, Geräte und Bediener miteinander zu verbinden. Denn die elektromagnetischen Wellen werden unter Wasser zu stark gedämpft.

Modems, die auf die Akustik setzen, erlauben jedoch nur sehr geringe Bitraten: Die Unterwassersysteme müssen daher autonom agieren, oder es gelingt der Forschung, breitbandige, kabellose Kommunikationstechnik zu entwickeln.

Die Roboter sollen unter Wasser nicht nur miteinander kommunizieren, sie müssen auch ihre genaue Position kennen. Eine solche Selbstlokalisierung ist die Basis für viele Anwendungen, wie etwa Mapping oder Docking-Manöver, und ist daher ein zentrales Thema in der mobilen Robotik. An Land lösen satellitengestützte Navigationssysteme wie GPS das Navigationsproblem in vielen Anwendungen. Für Indoor-Navigationssysteme stehen Funktechnologien zur Verfügung. Unter Wasser gelten solche globalen Positionierungssysteme bisher jedoch als nicht realisierbar. Daher setzt man zurzeit Lösungen wie Sonar- und Laufzeitmessungen ein, die lokal aufgebaut werden müssen – oder aber Trägheitssensoren und die Kommunikation zu Oberflächenfahrzeugen. Soll die Qualität der Unterwassernavigation steigen, sind neuartige Ansätze im Bereich Sensorik und Sensorfusion notwendig.

Viele Aufgaben im Unterwasserbereich erfordern zudem die Auswertung von Bilddaten – so etwa Inspektionsaufgaben oder auch die Bewertung von Flora und Fauna in der Meeresforschung. In küstennahen Bereichen kann die Sichtweite unter einen Meter fallen, der Einsatz optischer Kameras wird somit erschwert. Um anspruchsvollere Aufgaben zu lösen, werden daher neue hochauflösende Sensoren zur Umgebungserkennung benötigt sowie Verfahren, die die aufgenommenen Bilder verbessern. Alternative Ansätze sind hochauflösende akustische 3D-Kamerasysteme oder auch



Laser-Scanner mit verbesserten Abbildungsreichweiten. Auch die Unterwasserbedingungen an sich – hohe Wasserdrücke, Salzwasser, Biofouling bei Langzeiteinsatz sowie starke und unberechenbare Meeresströmungen – erfordern spezifische und robuste Lösungen. Solche wurden bislang nur für Nischenanwendungen realisiert, mit hohem finanziellen Aufwand.

Wie lässt sich Technik trotz all dieser Hindernisse im Unterwasserbereich einsetzen? Das Kompetenznetzwerk Subsea@Fraunhofer entwickelt hier entsprechende Lösungen und Technologien.

Die Nutzung der Ozeane ist im Wandel

Die Menschen nutzen die Ozeane seit Menschengedenken. Die Art der Nutzung allerdings unterliegt dem Wandel der Zeit. Auch heutzutage zeichnen sich bereits künftige Veränderungen ab. So steht zu erwarten, dass die Meere zunehmend weit von der Küste entfernt genutzt werden. Öl- und Gasproduktion, Offshore-Windkraftanlagen, aber auch beispielsweise Aquakulturen werden nicht in Küstennähe platziert sein. Menschen auf solchen Anlagen einzusetzen wird daher sehr teuer und gefährlich. Aufgrund der Wetterlagen wird es zudem nicht ganzjährig möglich sein, die Anlagen mit Schiffen zu erreichen.

Auch der Tiefsee kommt aus Sicht der wirtschaftlichen Nutzung und der Forschung eine immer größere Bedeutung zu. Da der Mensch in dieser menschenfeindlichen Umgebung

nicht mehr direkt arbeiten kann, werden viele Technologien, die teil- bzw. vollautonome Systeme ermöglichen, zunehmend im Unterwasserbereich eingesetzt werden. So sollen in Zukunft beispielsweise komplette Produktionsanlagen für Öl, Gas und mineralische Rohstoffe auf dem Meeresgrund errichtet werden. Erste Visionen von Unternehmen, die in diesen Branchen tätig sind, zeigen Anlagen in der Größe von Großstädten. Bisher fehlen jedoch die nötigen Technologien, um diese Anlagen aufzubauen, zu betreiben, zu inspizieren und rückzubauen. Ähnliche Technologien wie für die Produktionsanlagen werden für großflächige Langzeitobservatorien in den Ozeanen benötigt, die der Meeresforschung ebenso wie der Überwachung von Umweltstandards bei wirtschaftlichen Nutzungsformen dienen.

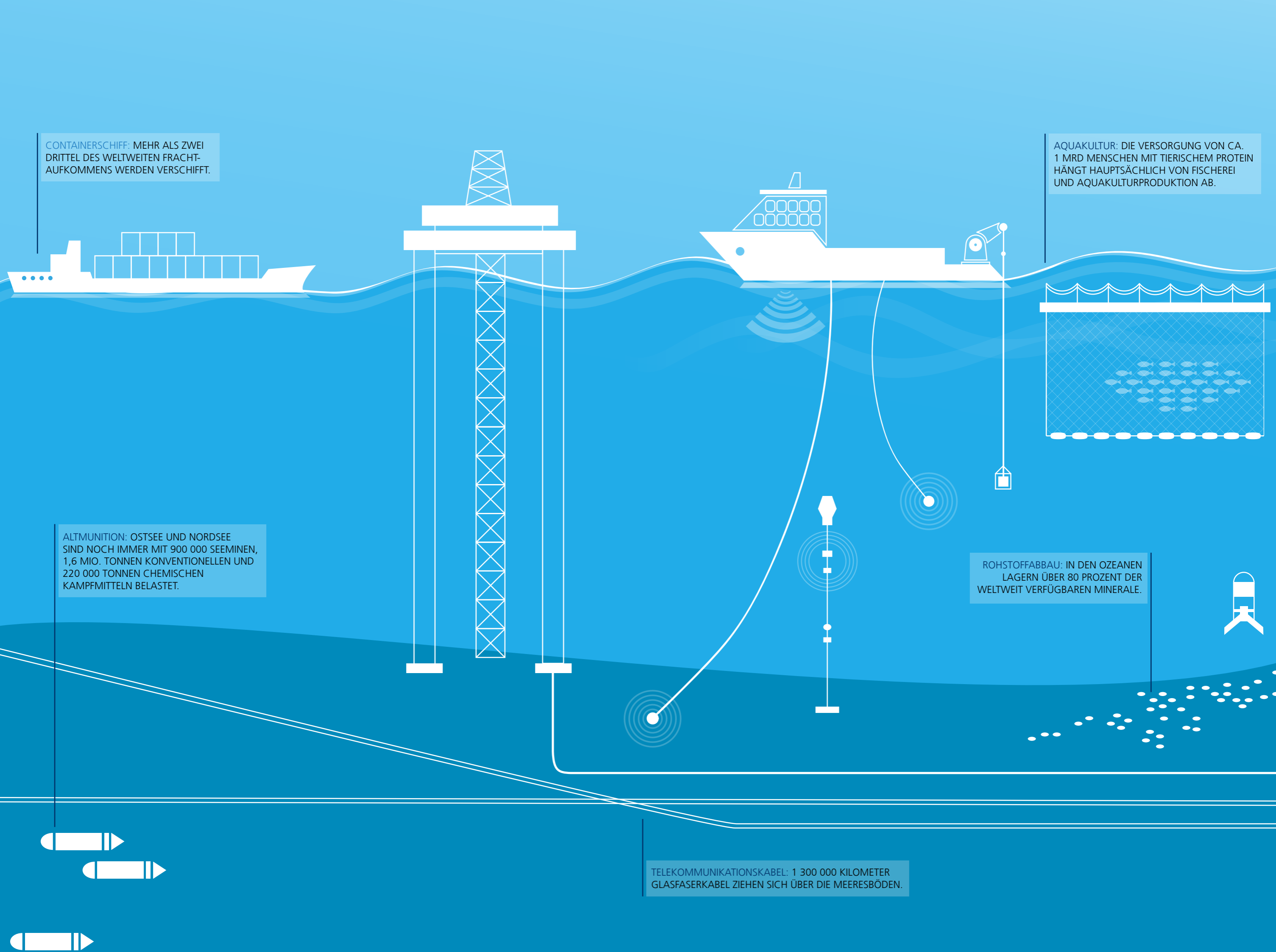
CONTAINERSCHIFF: MEHR ALS ZWEI DRITTEL DES WELTWEITEN FRACHT-AUFKOMMENS WERDEN VERSCHIFFT.

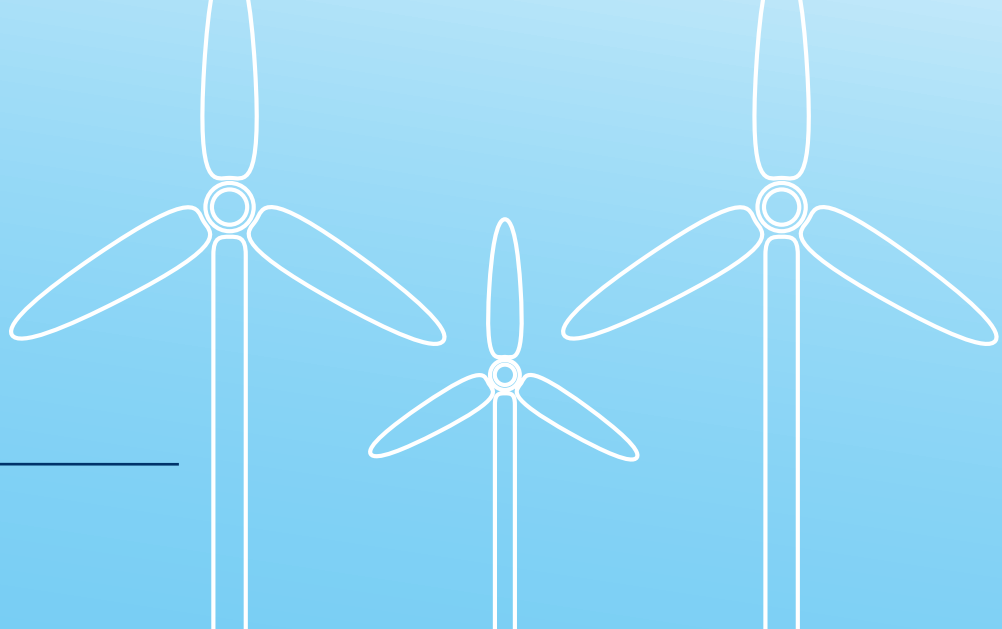
AQUAKULTUR: DIE VERSORGUNG VON CA. 1 MRD MENSCHEN MIT TIERISCHEM PROTEIN HÄNGT HAUPTSÄCHLICH VON FISCHEREI UND AQUAKULTURPRODUKTION AB.

ALTMUNITION: OSTSEE UND NORDSEE SIND NOCH IMMER MIT 900 000 SEEMINEN, 1,6 MIO. TONNEN KONVENTIONELLEN UND 220 000 TONNEN CHEMISCHEN KAMPFMITTELN BELASTET.

ROHSTOFFABBAU: IN DEN OZEANEN LAGERN ÜBER 80 PROZENT DER WELTWEIT VERFÜGBAREN MINERALE.

TELEKOMMUNIKATIONSKABEL: 1 300 000 KILOMETER GLASFASERKABEL ZIEHEN SICH ÜBER DIE MEERESBÖDEN.





OFFSHOREANLAGE: IN EUROPA SIND 4543 WINDTURBINEN IN 11 LÄNDERN INSTALLIERT, IHRE LEISTUNG BETRÄGT 18 500 MW (ENDE 2018).

ANWENDUNGSFELDER

Die Menschheit steht vor wesentlichen Herausforderungen, so beispielsweise der künftigen Bereitstellung von Energie, Rohstoffen und Nahrungsmitteln. Die Ozeane spielen eine immer wichtigere Rolle bei der Bewältigung solcher Herausforderungen. Dabei ist es elementar, solche zukünftigen Anwendungen, Technologien und die absehbaren Entwicklungspfade übergreifend zu betrachten. Nur auf diese Weise lassen sich die Synergiepotenziale heben und die Forschungsaktivitäten der verschiedenen Institute aufeinander abstimmen.

Nahrungsquelle Ozean

Die Weltbevölkerung wächst stetig. Mehr als acht Milliarden Menschen werden 2025 auf unserem Planeten leben. Nach einer Studie der Welternährungsorganisation FAO muss die Agrarproduktion bis zum Jahr 2050 im Vergleich zu 2005 um mehr als 70 Prozent gesteigert werden, wenn zehn Milliarden Menschen ernährt werden sollen. Aquakulturen und insbesondere Marikulturen werden daher zukünftig eine entscheidende Rolle spielen. Ein Beispiel sind Aquapod-Systeme: Diese Kugelkäfige mit 30 bis 60 Meter Durchmesser sind autark im Meer fernab der Küste platziert und produzieren hochautomatisiert und nachhaltig große Mengen an Fisch. Auch Kombinationen der zahlreichen Offshore-Windanlagen mit Aquakulturen könnten vielversprechend sein. Erste Testinstallationen sind bereits vorhanden. Viel Potenzial hinsichtlich der Ernährung der Weltbevölkerung bieten zudem die Spirulina-Algen: Die Proteinproduktion pro Flächeneinheit liegt 20-fach über der von Soja, 40-fach über der von Mais und 200-fach über der

von Rindfleisch. Ihre Produktion benötigt wenig Platz und nutzt auch salziges Wasser und Abwasser.

Kommunikationsweg Ozean

Unsere Welt ist zunehmend vernetzt – Grundlage dafür ist das schnelle Internet. Die Verbindung zwischen den Hauptknotenpunkten basiert zum Großteil auf Glasfaserkabeln, die tief auf dem Meeresgrund verlegt sind. Diese ermöglichen eine Datenkommunikation über große Distanzen und sind dabei deutlich kostengünstiger als die Kommunikation über Satelliten. Auch ist die Laufzeit der Signale geringer. Allerdings lassen sich Tiefseekabel nur schwer modifizieren, warten oder erweitern. Insgesamt ist das weltweite Netz über 1,3 Mio. Kilometer lang und es wird täglich länger. Etwa 97 bis 99 Prozent des weltweiten Datenverkehrs laufen über die Kabel in den Weltmeeren. Auch Kabel zur Energieversorgung liegen zunehmend am Meeresboden.

Energiequelle Ozean

Ohne die Offshore-Windenergie kann die Energiewende nicht gelingen, sie ist ein wichtiger Pfeiler. Allein in Deutschland existieren 1305 Offshore-Windenergieanlagen, ihre Leistung beträgt 6380 MW. Bis zum Jahr 2025 wird mit einem Ausbau auf 10 800 MW gerechnet. Das Land mit der weltweit größten installierten Leistung ist Großbritannien, gefolgt von Deutschland und – mit deutlichem Abstand – China. Möchte Deutschland seine Technologieführerschaft im Offshore-Windenergiebereich halten, sind intensiviertere



Anstrengungen im Bereich Forschung und Entwicklung nötig: Die Kosten zur Stromerzeugung müssen deutlich sinken, um wettbewerbsfähig zu sein – etwa durch effiziente Wartung.

Rohstoffquelle Ozean

Erdgas und Erdöl werden schon seit mehr als 100 Jahren aus dem Meer gewonnen – mit steigender Tendenz: Die Anzahl der Förderstellen im Meer ist zwischen 1990 und 2015 von ca. 500 auf mehr als 4 000 gestiegen. Da viele Lagerstätten im flachen Meer jedoch bereits ausgebeutet sind, dringt man in immer größere Tiefen vor. Während es Ende der 90er Jahre nur wenige Tiefseebohrungen gab, lag der Anteil 2015 schon bei 30 Prozent. Dabei geht man davon aus, dass zwei Drittel der Tiefseelagerstätten bisher noch unentdeckt sind. Darüber hinaus werden marine mineralische Ressourcen an Bedeutung gewinnen: In den Ozeanen lagern zudem über 80 Prozent der weltweit verfügbaren Minerale. Sollen die Meeresressourcen umweltverträglich nutzbar gemacht werden, sind neue maritime Technologien nötig. So trägt unter anderem das Hightech-Forschungsschiff »Sonne« dazu bei, wissenschaftlich und gesellschaftlich relevante Fragen zu beantworten, vor allem hinsichtlich der Versorgung mit marinen Rohstoffen und des Eindringens des Menschen in Ökosysteme.

Transportweg Ozean

Die Ozeane sind ein unverzichtbarer Transportweg im internationalen Handel: Mehr als zwei Drittel des weltweiten Frachtaufkommens werden über die Ozeane versendet – Tendenz steigend. Allerdings ist es aufgrund der geringen Attraktivität des Berufs zunehmend schwierig, seemännisches Personal zu gewinnen. Einen Ausweg bietet das unbemannte Schiff, das zunächst von Land aus

ferngesteuert oder zumindest überwacht wird und das in einem weiteren Schritt gänzlich autonom fahren soll. Schätzungen der Industrie zufolge könnten solche autonomen Schiffe bereits im Jahr 2035 in Betrieb gehen. Der Transport via Ozeane kann aber nicht nur durch Schiffe erfolgen. Weltweit werden in den Meeren zusätzlich Unterwasser-Rohrleitungen für den Transport von Öl und Gas eingesetzt. Allein zwischen 2012 und 2017 wurden über 9 000 km Unterwasser-Pipelines neu gebaut.

Müllhalde Ozean

Die Meere sind stark verschmutzt und belastet – zu über 70 Prozent durch Plastik. Prognosen zufolge wird die Plastikmenge im Meer zwischen 2015 und 2025 um das Dreifache ansteigen. Wo im Meer dieses Plastik verbleibt, ist weitgehend unbekannt. Hier ist dringender Forschungsbedarf gegeben. Auch chemische Stoffe aus den unterschiedlichsten Quellen sammeln sich in den Ozeanen. Gefährlich sind dabei vor allem Stoffe, die langsam abgebaut werden, sich in Lebewesen anreichern und zudem giftig sind. Hier sind internationale Richtlinien nötig, die wiederum einer intensivierten Forschung bedürfen. Auch Altmunition stellt ein Problem dar. So sind Nord- und Ostsee nach wie vor mit 900 000 Seeminen, 1,6 Mio. Tonnen konventionellen und 220 000 Tonnen chemischen Kampfmitteln belastet. Dadurch sind sowohl die wirtschaftliche Nutzung der Meere als auch das Leben von Menschen und die Umwelt stark gefährdet.



FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Nutzung der Meere wird immer vielseitiger und umfangreicher. Da die Ozeane für das Ökosystem Erde eine große Bedeutung haben, muss diese Nutzung äußerst verantwortungsvoll erfolgen. Dies kann nur durch die Entwicklung neuer Technologien gelingen, die beispielsweise ihren ökologischen Fingerabdruck selbst messen können. Die Anforderungen an solche Technologien sind hoch. Sie dürfen nur minimal in die ozeanischen Ökosysteme eingreifen, sollen Umweltgefahren erkennen und deren Ursprung identifizieren, die Erstellung von Umweltschutzauflagen ermöglichen, ihre Einhaltung überwachen und Umweltgefahren zudem schnell mindern und beseitigen können. Weiterhin sollen sie eine grundlegende Erforschung der komplexen Zusammenhänge und Wirkungen der biologischen Systeme in den Meeren, der klimarelevanten Prozesse in den Ozeanen sowie der unbekanntenen Meeresregionen ermöglichen. Auch die Sicherheit der auf und im Meer arbeitenden Menschen sollen die Technologien erhöhen – so sollen ferngesteuerte oder autonome Unterwasser-Systeme beispielsweise gefährliche Arbeiten in menschenfeindlichen Umgebungen übernehmen.

BASIS-TECHNOLOGIEN

Die Institute bei Fraunhofer verfügen über ein breites Portfolio von technologischen Kompetenzen, um die eingeführten Anwendungsfelder zu adressieren. Durch zielgerichtete Forschung werden diese Technologiefelder konsequent ausgebaut.

Fahrzeuge

Sollen die Ozeane in Zukunft nachhaltig und wirtschaftlich sinnvoll genutzt werden können, muss der Automatisierungsgrad der technischen Systeme steigen. So müssen

Roboter beispielsweise in der Lage sein, Arbeiten auch in der Tiefsee autonom durchzuführen. Die stärksten Zuwachsraten im kommerziellen Sektor dürften die Autonomen Unterwasserfahrzeuge (AUVs) aufweisen: Sie werden die universelle Trägerplattform für Sensoren und Manipulationssysteme wie Roboterarme und Werkzeuge sein. Die Voraussetzung: Sie müssen ihre Aufgaben permanent und autonom – also ohne begleitende Schiffe oder Personal – ausführen. Nur dann lassen sie sich sinnvoll und kosteneffizient einsetzen und können beispielsweise den Meeresboden großflächig kartieren oder Infrastrukturen inspizieren, warten und sogar rückbauen. Einen Baustein zur Umsetzung bieten Docking-Stationen (Unterwassergaragen). In diese können die AUVs selbstständig einfahren, ihre Energiespeicher aufladen, Daten austauschen und dann ihre Mission fortsetzen. Auch der druckneutralen Technologie kommt eine große Bedeutung zu: In der Tiefsee herrscht ein enormer Druck. Es sind daher Sensoren und Elektronik gefragt, die diesem standhalten – und zwar ohne zusätzliche Druckhülle – und die sich somit in der gesamten Ozeantiefe einsetzen lassen. Druckneutrale Energiespeicher und Batterien erhöhen zudem die Systemsicherheit.

Energieversorgung

Elementar für den langfristigen Betrieb sind die Energiespeicher. Diese limitieren nicht nur die Einsatzzeiten, sondern auch die Fähigkeit, weitere Sensoren oder Manipulatoren zu tragen. Und selbstverständlich wirken sich Akkus oder Ähnliches auf die Größe und das Gewicht der Trägersysteme aus. Die Herausforderung liegt darin, die Kapazität und die Energiedichte solcher Energiespeicher zu steigern und gleichzeitig Ladezeiten, Gewicht und Größe zu minimieren. Denn die Anforderungen an derartige Systeme steigen permanent. Vielversprechend könnte es auch sein, die Energie direkt dort zu gewinnen, wo sie benötigt



wird – in der Meeresumgebung. Man spricht dabei auch von Energy Harvesting.

Sensoren

Die Sensoren sind quasi Augen und Ohren der Unterwasserinstallationen und damit für Mess-, Kartierungs- oder auch Navigationsaufgaben unverzichtbar. Die Genauigkeit der Sensorik gilt es kontinuierlich zu verbessern – beeinflusst diese doch maßgeblich den Erfolg und die Qualität einer Mission. Eine weitere Entwicklungsherausforderung liegt in neuartigen Sensoren, die bisher noch unmögliche Aufgaben erledigen – beispielsweise tief in den Meeresboden vorzudringen, in harschen Umgebungen hochauflösende 3D-Bilddaten zu erzeugen, Sprengstoff elektrochemisch zu detektieren oder die Konzentration von Mikroplastik zu messen – ohne den Umweg über ein Labor an Land. Möchte man mehr über die Tiefsee herausfinden, spielt die Bildgebung eine elementare Rolle. Optische Systeme helfen vielfach jedoch nicht weiter: Im Tiefseebergbau beispielsweise wird das Sediment stark aufgewirbelt, sodass rein optisch wenig zu erkennen ist. Drei- oder auch vierdimensionale Sonar-Bildgebung dagegen ermöglicht Auflösungen im Zentimeterbereich, auch bei schlechten Sichtbedingungen. Momentan arbeiten Forscherteams daran, die Bildqualität zu verbessern und die Bildwiederholraten zu erhöhen. Kompaktere Systeme sollen die Integration in die Unterwasserfahrzeuge erlauben.

Unterwasserkommunikation

Unterwasserkommunikation ist ein elementarer Bestandteil der Meerestechnik. Robotische Systeme, Messplattformen oder Taucher müssen mit dem Operator oder untereinander Daten austauschen können. Nur so können komplexe Missionen zum Beispiel auch im Schwarm effizient bearbeitet werden. Robuste und möglichst breitbandige

Kommunikation, die ohne Kabel auskommt, ist somit eine wichtige Voraussetzung für zahlreiche Anwendungen der Unterwassertechnik.

Unterwassernavigation

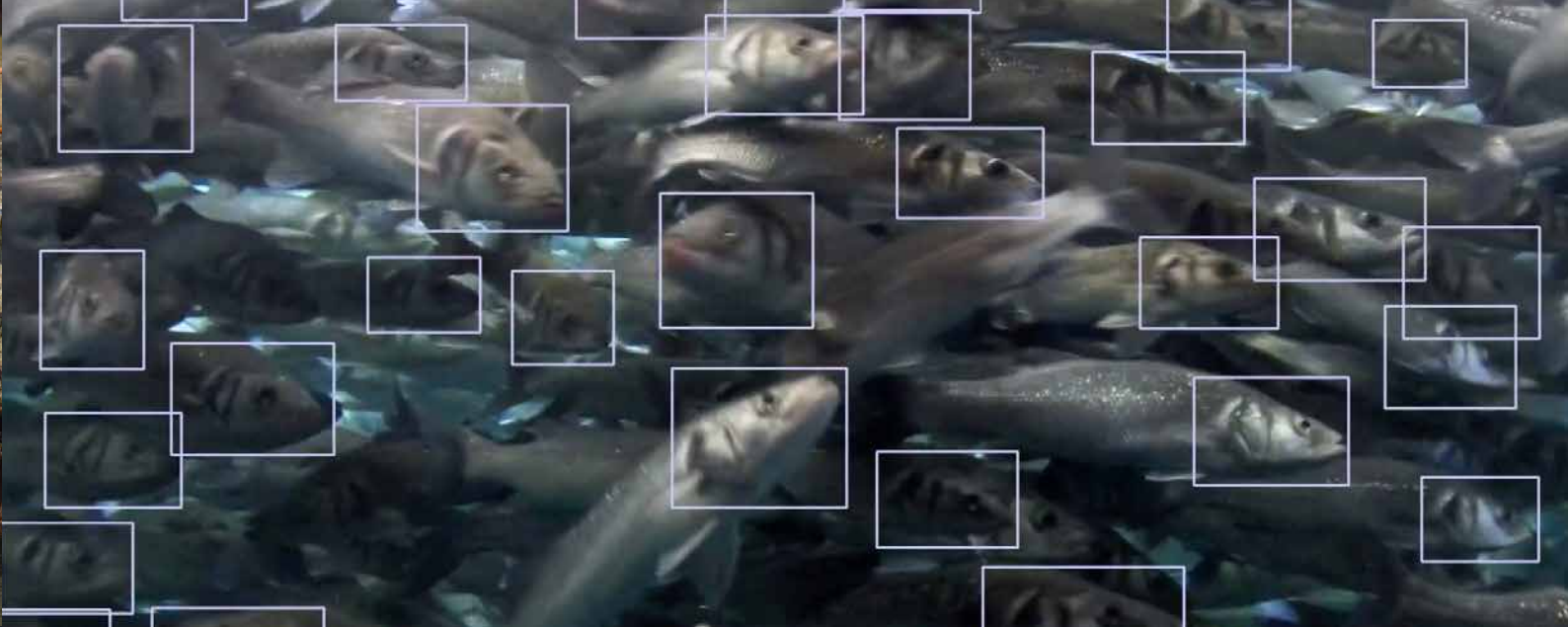
An Land sind hochgenaue Navigationssysteme mittlerweile eine Selbstverständlichkeit. Perspektivisch wird auch unter Wasser – tief in Meeren und Ozeanen – ein Navigationssystem ähnlich dem GPS benötigt, mit ähnlicher Genauigkeit und flächendeckend wie an der Erdoberfläche. Ein solches ist nicht nur zur Exploration der Meere nötig, sondern auch für die Bauwerke, die zunehmend im Meer errichtet werden. Dies können Offshore-Anlagen zur Energiegewinnung ebenso sein wie Unterwasserfabriken für Öl- und Gasgewinnung bzw. zum Abbau von anderen Rohstoffen. In der harschen Unterwasserumgebung müssen solche Bauwerke intensiv gewartet und inspiziert werden, wenn sie dauerhaft und zuverlässig funktionieren sollen. Voraussetzung für den Einsatz von robotischen Systemen ist eine präzise Navigation.

Unterwassermanipulation – teleoperiert und autonom

Die robotischen Systeme müssen solche Unterwasser-Bauwerke nicht nur inspizieren, sondern mitunter auch eingreifen und Reparaturen durchführen – etwa Bewuchs entfernen, Teilkomponenten wechseln, schweißen, schneiden und Proben jeglicher Art sammeln und transportieren. Dazu brauchen die Fahrzeuge flexibel einsetzbare Manipulatoren.

Unterwasserfügen

Seien es Hafenanlagen, Wehre oder Gründungsstrukturen für Windenergieanlagen: Die Betriebsdauern von Wasserbauwerken können bis zu 50 Jahren betragen. Diverse Anbauteile müssen daher im Laufe der Lebensdauer ausgetauscht,



repariert oder nachgerüstet werden – und zwar unter Wasser. Schweißtechnische und mechanische Fügeverfahren sind unter Wasser jedoch schwierig auszuführen, verschiedene Probleme sind die Folge: Es können Undichtigkeiten entstehen, Korrosion auftreten oder Ähnliches. Forscher bei Fraunhofer entwickeln daher klebetechnische Fügeverfahren, die sich für unterschiedliche Grundmaterialien eignen.

QUERSCHNITTSTHEMEN

Das Kompetenznetzwerk Subsea@Fraunhofer arbeitet jedoch nicht nur an Basistechnologien. Vielmehr liegt die Stärke des Netzwerkes in der interdisziplinären Aufstellung und der breiten Expertise der beteiligten Institute, Forscherinnen und Forscher. Diese umfasst IT, Materialwissenschaften, Ingenieurwissenschaften, Elektronik, Sensortechnik, Energietechnik, Robotik, Aquakultur sowie Automatisierungs- und Systemtechnik – und deckt somit eine sehr große Bandbreite an Technologien ab. Das heißt: Subsea@Fraunhofer verfügt über alle Kompetenzen, um komplette Systeme in hoher Qualität zu entwickeln. Denn um den Herausforderungen, die sich im Bereich der Meerestechnologie stellen, adäquat begegnen zu können, ist ein vernetztes Arbeiten unumgänglich. Diese Herausforderungen verlangen, sich der Thematik aus ganz verschiedenen Bereichen zu nähern und verschiedene Ansätze miteinander zu kombinieren.

Smart Services – Von Daten zum Mehrwert

Wie schlägt man die Brücke von der Hardware für den Unterwassereinsatz zur Wertschöpfung in der maritimen Branche? Eine wichtige Säule hierbei bilden Smart Services. Mit umfassender Expertise in der Informationsverarbeitung unterstützt Fraunhofer seine Kunden dabei, Rohdaten zu maßgeschneiderten Mehrwertdiensten zu veredeln. Dazu müssen die Daten verwaltet und aufbereitet werden – und zwar so,

das die Nutzer schnellstmöglich Entscheidungen daraus ableiten und jederzeit wieder auf die Daten zugreifen können. Zum Teil müssen die Daten sogar in Echtzeit ausgewertet werden: Nur dann können gerade auch die mobilen Systeme adäquat auf Ereignisse reagieren. Das Fraunhofer-Portfolio deckt dabei die gesamte Verarbeitungs-Pipeline ab – von der effizienten Erfassung, Speicherung und Verwaltung von Daten über die Qualitätssicherung bis zu interaktiver Visualisierung oder vollautomatischer Datenanalyse. Diese Dienste bilden die Grundlage für neue Geschäftsmodelle im angebrochenen Zeitalter der digitalen Unterwassertechnik.

Zuverlässigkeit: Qualität ist Trumpf

Insbesondere für Offshore-Anwendungen ist es von hoher Relevanz, die Zuverlässigkeit der Anlagen maximieren zu können. Denn der Zugang zu den Anlagen ist nicht zu jeder Jahreszeit und Wetterlage möglich, was die Instandhaltung einschränkt. Die Komponenten für die Offshore-Technik müssen daher zuverlässig und langlebig sein. Fraunhofer bietet auf diesem Gebiet eine breite Palette von Methoden an, die direkt an die speziellen Anforderungen angepasst werden können – beispielsweise zerstörungsfreie Verfahren oder strukturmechanische Simulationen.

Simulation: Von der Theorie zur Praxis

Ein tiefes Verständnis der physikalischen Grundlagen ist die Voraussetzung dafür, Technologien für den Unterwassereinsatz zu qualifizieren. Die Experten von Fraunhofer verfügen über dieses Fachwissen und nutzen es, um die Grenzen des Machbaren regelmäßig zu verschieben. Sei es die Ausbreitung von Schall in Wasser bzw. Stahl oder das hydrodynamische Verhalten von Fahrzeugen in der Strömung. Stets bilden Theorie, Modelle und Simulation den Ausgangspunkt für praxistaugliche Lösungen.



BEITRÄGE DER FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Die Ozeane erhalten international zunehmend Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung. Gleichzeitig haben sie entscheidenden Einfluss auf das Klima der Erde und sie sind ein sensibles Ökosystem. Daraus erwächst eine große Verantwortung für die nachhaltige Nutzung der Meere. Neue Technologien, die diesen verantwortungsvollen Umgang möglich machen, müssen jetzt entstehen. In der Fraunhofer-Gesellschaft gibt es dafür viele passende Kompetenzen in unterschiedlichen Instituten. Daraus erwächst die einmalige Chance, Technologien für den »Smart Ocean« zu entwickeln, in die Anwendung zu überführen und damit die Balance von Nutzung und Schutz der Ozeane aktiv mitzugestalten. Das Know-how von Subsea@Fraunhofer wird dazu beitragen, sehr robuste und zuverlässige Technologien in die Anwendung zu bringen. Genau das ist entscheidend beim Einsatz in den Ozeanen und diese Perspektive ist für die Fraunhofer-Gesellschaft aufgrund des stark interdisziplinären Charakters der maritimen Technik und der sehr spezifischen Profilierung der Institute äußerst interessant. In Deutschland gibt es eine innovative, international agierende maritime Industrie, die gemeinsam mit Fraunhofer diese neuen Technologien »Made in Germany« entwickeln und vermarkten kann.

INFRASTRUKTUREN FÜR TESTS UND INBETRIEBNAHME

Sollen Komponenten oder komplexe Systeme der Unterwassertechnik industriell eingesetzt werden, müssen sie vorab auf »Herz und Nieren« getestet werden. Effiziente Testangebote, die alle relevanten Tests abdecken, fehlen jedoch bislang. Subsea@Fraunhofer plant in der Ostsee ein weltweit einzigartiges Wissenschafts- und Wirtschaftszentrum für Unterwasser-Technologien. Die Forscherinnen und Forscher im Rostocker Digital Ocean Lab arbeiten zukünftig nicht nur an der klassischen Unterwassertechnik, sondern entwickeln und testen auch Sensorik, autonome Fahrzeuge, Unterwas-

ser-Robotik und Verfahren zur Unterwasser-Bildverarbeitung und Visualisierung. Zusätzlich führt Subsea@Fraunhofer die bisher isolierte Infrastrukturen der anderen Standorte zu einem virtuellen Testzentrum zusammen. Dieses soll optimale Rahmenbedingungen für Forschung und Entwicklung von Unterwassertechnik schaffen und die bestehende Lücke schließen. Ein komplementäres Konzept für ein Testzentrum in der Nordsee bei Helgoland wird aktuell mit den zukünftigen Nutzern konkretisiert. Fachliche Schwerpunkte sind hier insbesondere die Themen Materialforschung, Offshore-Technik und Wartungskonzepte für Unterwasserstrukturen.

FORSCHUNG UND TECHNOLOGIEENTWICKLUNG

Subsea@Fraunhofer deckt eine große Bandbreite der Unterwassertechnologien ab. Es gibt daher zahlreiche Forschungsprojekte, die in dem Netzwerk bearbeitet werden und mit denen sich neue Anwendungsfelder eröffnen, wie beispielsweise Tauchdrohnen und unterschiedlichste Sensoren.

Trägerfahrzeuge: Von Flachwasser bis Tiefsee

Unterwasserfahrzeuge, die auch die Tiefsee erkunden sollen, müssen zuverlässig gesteuert werden können. Fraunhofer arbeitet bereits seit mehr als zehn Jahren an entsprechenden Steuersystemen und verfügt somit über eine langjährige Erfahrung. Die Entwicklungen umfassen dabei sowohl ferngesteuerte (ROV) als auch autonome (AUV) Fahrzeuge. Ein Beispiel ist das AUV DEDAVE, das bis zu 6 000 Meter tief tauchen kann. Autonome Oberflächenfahrzeuge (USV) dienen als Sensorträger, sie unterstützen bei der wiederkehrenden Vermessung von Flachwassergebieten – etwa Renaturierungen von Flüssen und Seen – und helfen den Zustand von archäologischen Fundstätten unter Wasser zu



erfassen. Die Unmanned Surface Vehicles (USV) wiederum kommen überall dort zum Einsatz, wo tauchende Fahrzeuge nicht weiterhelfen – also vor allem in Küsten- oder Hafengebieten. So überwacht der HydroCrawler dort die Umwelt- und Sicherheitsaspekte zum Wohl der Natur und des Menschen. Fraunhofer ist in der Lage, komplette Fahrzeugkonzepte zu entwickeln, im Kundenauftrag zu bauen und individuell mit Sensortechnik zu bestücken.

Großstrukturen unter Wasser dreidimensional erfassen und überwachen

Offshore-Anlagen, Staudämme und andere Unterwasserstrukturen müssen regelmäßig überprüft werden. Bislang übernehmen dies vor allem Taucher, denn herkömmlichen Sensoren fehlt es an Genauigkeit, Auflösung, Geschwindigkeit und Datenqualität. Subsea@Fraunhofer entwickelt dafür multimodale Sensorsysteme. Hierzu zählen innovative Laser-Scanner, Abbildungssysteme auf Basis von Stereokameras sowie hochauflösende Sonar-Systeme. Dies reduziert sowohl den Aufwand als auch die Kosten für Unterwasserinspektionen.

INNOVATIONSPARTNER FÜR DIE INDUSTRIE

Fraunhofer versteht sich nicht nur als Entwickler von Meerestechnologie, sondern übernimmt auch eine wichtige Rolle als Innovationspartner für die Industrie. So initiieren und moderieren Wissenschaftler von Fraunhofer Innovationsprozesse und unterstützen Unternehmen bei komplexen Forschungsvorhaben. Was darunter zu verstehen ist, lässt sich am besten an einem Beispiel erläutern, etwa dem Netzwerk Munitect. Von Fraunhofer in Kooperation mit dem Maritimen Cluster Norddeutschland initiiert, umfasst das Netzwerk mittlerweile 18 Partner aus Industrie und Forschung. Das Ziel: Es soll ein ökonomisches Sensorsystem entwickelt werden, mit dem sich Kampfmittel in den Meeren

zuverlässig aufspüren lassen. Bislang können lediglich kleine Gebiete stichprobenartig überprüft werden, die Detektionsrate liegt bei nur 80 Prozent. Um Gefahren für Mensch und Umwelt zu vermeiden, müssen die Meere flächendeckend erfasst und beräumt werden. Dies soll über kostengünstige Sensorplattformen möglich und wirtschaftlich tragbar werden.

Wohin entwickelt sich der Bereich der Meerestechnologie? Für die Industrie ist dies eine elementare Frage. Beantwortet wird sie durch branchenweite Technologie-Roadmaps, die beispielsweise auf Konferenzen und Workshops mit Akteuren der Branche erstellt werden. Subsea@Fraunhofer hat daher gemeinsam mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und der Gesellschaft für Maritime Technik (GMT) die MAROS-Konferenzen ins Leben gerufen – kurz für Maritime Robotik und Sensorik – die seit 2011 im zweijährigen Rhythmus stattfinden. Ziel ist es, auch kleinen und mittelständischen Unternehmen den Zugang zum internationalen Markt zu ermöglichen. Die Wertschöpfungsketten können ebenfalls interessant sein für Unternehmen, die bisher nicht im maritimen Bereich tätig waren. Darüber hinaus kann die maritime Wirtschaft auch ein potentiell neues Geschäftsfeld für etablierte Unternehmen aus anderen Domänen sein.





POTENZIAL FÜR INDUSTRIE- UND FORSCHUNGSPROJEKTE

Zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte hat Fraunhofer in den vergangenen Jahren bereits erfolgreich abgeschlossen. Trotz dieser umfangreichen Vorarbeiten stehen wir erst am Anfang der Entwicklung. Viele Technologien, die an Land selbstverständlich sind, sind aufgrund der besonderen Randbedingungen im Wasser technisch heute noch nicht verfügbar.

Dazu zählen:

- Drahtlose Breitbandkommunikation über große Entfernungen
- Fahrzeuge, die mehrere Jahre im Wasser verbleiben und zuverlässig funktionieren
- Flächendeckender Zugang zu Energie (Tankstellen bzw. Ladestationen)
- Robotische Systeme für die Wartung und Instandsetzung von Unterwasserstrukturen
- Erschwingliche Drohnen, die leicht zu bedienen sind und Aufgaben im Monitoring oder der Inspektion mit einem hohen Grad an Autonomie zuverlässig und effizient erfüllen
- Smarte Materialien, die vielfältige Funktionen in einem Material integrieren, ihre Eigenschaften an unterschiedliche Nutzungsformen anpassen können und sich über 3D-Druckverfahren einfach verarbeiten lassen
- Offene und kompatible Standards für Unterwasser-Technologien

Zu einigen Themen gibt es heute bereits konkrete Ansatzpunkte – andere benötigen noch neue Impulse aus der Grundlagenforschung. Mit der breiten technologischen Kompetenz und der Erfahrung in der interdisziplinären Forschung und Entwicklung verfügt Fraunhofer über beste Voraussetzungen, sich den technischen Herausforderungen der Unterwassertechnik zu stellen.

FRAUNHOFER UNTERSTÜTZT DIE UNTERNEHMEN UND ÖFFENTLICHE STELLEN

als Expertenpool zur Sondierung von Technologien und Anwendungsfeldern,

als strategischer Partner für F&E von der Grundlagenforschung bis zur Produktentwicklung,

durch Zugriff auf Labore und Teststände,

durch Lizenzierung vorhandener Technologien der Institute und nicht zuletzt

durch aktive Vernetzung von Forschung und Unternehmen.



HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Sei es im Bereich der Nahrungsproduktion, der Rohstoffgewinnung oder der Energieerzeugung: Die Nutzung der Ozeane durch den Menschen wird zukünftig stark zunehmen. Das Netzwerk Subsea@Fraunhofer leitet daraus folgende Handlungsempfehlungen ab:

- **Die Forschung und Entwicklung im Bereich der Unterwassertechnik muss intensiviert werden**, weil die Nutzung der Ozeane äußerst verantwortungsvoll erfolgen muss. Es ist daher elementar, Unterwassertechnologien zu entwickeln, die das Gleichgewicht zwischen wirtschaftlicher Nutzung der Meeresressourcen und dem Schutz der Meeresumwelt wahren – ganz im Sinne der von den Vereinten Nationen für 2021–2030 ausgerufenen Internationalen Dekade der Meeresforschung für Nachhaltige Entwicklung.
- **Test- und Erprobungsmöglichkeiten für Unterwassertechnologien müssen ausgebaut werden**, weil nur so zuverlässige und robuste Systeme für den realen Einsatz effizient entwickelt werden können.
- **Munitionsaltlasten in Nord- und Ostsee müssen flächendeckend erfasst und beseitigt werden**, weil von diesen Altlasten extreme Gefahren für Menschen und Umwelt ausgehen und die wirtschaftliche Nutzung der Meere stark limitiert wird.
- **Europäische Partnerschaft für den Tiefseebergbau muss initiiert und öffentlich anfinanziert werden**, weil dadurch Europa – und damit auch die Meerestechnik in Deutschland – eine Technologieführerschaft hinsichtlich eines nachhaltigen, umweltschonenden Tiefseebergbaus erreichen kann und wir uns als rohstoffarme Nation strategisch unabhängiger machen können.
- **Einführung internationaler Standards für Unterwassermissionen**, weil dadurch das Zusammenwirken unterschiedlichster Technologien bei komplexen Missionen erst effektiv möglich und die technische Entwicklung stark gefördert werden. Dadurch wird auch die nachhaltige Nutzung der Meere sichergestellt.
- **Schaffung eines Rechtsrahmens für den Einsatz autonomer Unterwasserfahrzeuge**, weil dadurch Rechtssicherheit geschaffen wird, die es erst ermöglicht, autonome Systeme im großen Maßstab für die wirtschaftliche Nutzung einzusetzen.

Nehmen die deutsche Industrie und die deutsche Forschungslandschaft gemeinsam die Herausforderungen, die mit der zunehmenden Ozeannutzung einhergehen an, besteht die reale Chance, in diesem Wachstumsmarkt einen langfristigen Wettbewerbsvorteil erringen zu können.

KONTAKT:

Prof. Dr.-Ing. Uwe Freiherr von Lukas

Sprecher Subsea@Fraunhofer

Tel: +49 381 4024-100

uwe.von.lukas@igd-r.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Rauschenbach

Stellvertretender Sprecher Subsea@Fraunhofer

Tel: +49 367 7461-124

thomas.rauschenbach@iosb-ast.fraunhofer.de

<http://s.fhg.de/subsea-fraunhofer>

Bildquellen:

Adobe Stock: S. 2 Rebel, S. 5 pixone3d, S. 8 sdubrov

Alle anderen Bilder und Grafiken: Fraunhofer