

Raumseefahrt

Mond und Meeresgrund haben mehr gemeinsam, als man glauben möchte: extreme Bedingungen, gewaltige Distanzen, die Abhängigkeit von präziser, autonomer Technik. Erstmals bündeln Hunderte Experten aus Raumfahrt und Tiefseeforschung ihr Wissen aus beiden Welten. Ihr Motto: Wer ins Weltall vorstoßen möchte, erkundet zunächst die Ozeane.

HÄRTETEST IN DER EXPLORATIONSHALLE
In Bremen startet eine neue Generation von Meeresrobotern erstmals zu Tauchversuchen.

VON CAROLYN MARTIN UND TOM BUSCH

entimeter für Zentimeter nähert sich das Kettenfahrzeug der Wasseroberfläche. Dann taucht der Roboter ein. Luftanhalten beim Team des Geomar-Zentrums für Ozeanforschung, das den „Viator“ steuert. Hier versinken gerade zwei Tonnen aus Titan und technischen Kunststoffen im Wasser. Dann steht der Roboter auf dem Grund der Explorationshalle. Die Wissenschaftler überwachen jede Bewegung, jede Dateninformation, die er aus acht Metern Tiefe sendet. Ein Wassereinbruch im System würde das vorzeitige Aus für den Viator bedeuten. Jetzt sinkt der nächste Crawler zum Beckenboden, der „Tramper“. Auch er ist bereit für den Härtestest unter Wasser.

In der Maritimen Explorationshalle des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz im Norden der Hansestadt Bremen werden gerade die jüngsten Entwicklungen der Robotertechnik für den Einsatz in der Tiefsee getestet. Die neue Generation der Meeresroboter macht erste Tauchversuche. Später sollen sie in Tiefen von bis zu 6000 Metern arbeiten – autonom, für ein ganzes Jahr auf dem Grund der arktischen Tiefsee, ohne jede menschliche Steuerung.

Zehn Kilometer entfernt, im Süden von Bremen: Ein Mondroboter fährt langsam auf die Positionsmarkierungen zu, hält inne. Zwei Sekunden rührt sich nichts. Vier Sekunden. Drei Männer legen ihre Stirn in Falten. Dann richtet sich der Roboter neu aus, zentriert sich zwischen den Markern und fährt los. Punktgenaue Landung diesmal, Präzisionsarbeit. Die Airbus-Forscher sind zufrieden. Am Standort Bremen arbeiten mehr als 1000 Menschen für den Bereich Airbus Defence & Space. Das Robotiklabor mit etwa 30 Wissenschaftlern gilt als eines der weltweiten Kompetenzzentren für Weltraumrobotik. Hier entwickelt man die Zukunftstechnologien für Weltraummissionen mit einem breitem Spektrum an Aufgaben: Beseitigung von Weltraumschrott, im Fachjargon Debris Removal, Einsätze zur Wartung und Reparatur von Satelliten, Missionen, bei denen es um „unkooperative Zielkörper“ geht, die sich nicht mehr steuern lassen wollen.

Die Softwareexperten, Navigatoren, Physiker und Elektroniker arbeiten an neuen Steuerungssystemen für Weltraumflüge sowie Expeditionen zu Mond und Mars. Dafür werden hier Schnittstellen eines robotischen Systems getestet: Robotik, Sensorik, Steuerung und Bodenanlagen.

Der Mondroboter fährt zurück in seinen Parking Slot. Detlef Wilde schaut zufrieden. „Das Ganze müssten die Crawler dann auch in 6000 Metern Tiefe schaffen“, sagt der Head of Space Robotics Projects bei Airbus. 6000 Meter tief im Ozean – das ist der Bereich der Tiefsee. Schwarze Raucher, die Abwesenheit von Licht, Wassertemperaturen von um die null Grad und enormer Druck. Ist der Weltraum nicht mehr weit genug für die internationale Raumfahrtindustrie?

„Die Tiefsee und der Weltraum haben einzigartige Eigenschaften, die viel mehr Ähnlichkeiten aufweisen, als man sich vorstellen kann“, sagt Rob Mueller von der NASA, der die Fortschritte der Wissenschaftler in Bremen aufmerksam verfolgt. Mueller sitzt auf Merritt Island in Florida, gleich

ISS-WELTRAUMLABOR
Große Missionen der
Raumfahrt müssen oft
über Jahrzehnte geplant
und vorbereitet werden.

EISBRECHER POLARSTERN
Meeresexpeditionen mit
Forschungsschiffen
können, verglichen mit der
Raumfahrt, rasch und
regelmäßig stattfinden.



neben Cape Canaveral. Sein Büro ist der Weltraumbahnhof. Als Senior Technologist leitet er im John F. Kennedy Space Center den Bereich Advanced Projects Development im Surface Systems Office der NASA und gilt als Experte für die Entwicklung neuer Technologien zur Erforschung von Planetenoberflächen.

Noch bis vor einigen Monaten hatten die Tiefseeforscher in Bremen mit den Raumfahrtexperten in derselben Stadt nur die ersten beiden Ziffern der Postleitzahl gemeinsam. Und mit den Wissenschaftlern der NASA in Florida teilten die deutschen Meeresforscher wohl nur das Interesse an korallenbunten Tauchgängen auf den Florida Keys. Aber jetzt arbeiten sie gemeinsam, als gäbe es keine zwei Welten mehr, die 384.400 plus 10.000 Kilometer auseinanderliegen: die Tiefsee und der Mond. Diese völlig verschiedenen Umgebungen mögen völlig unterschiedliche Bedingungen aufweisen, und die reichen von enormem Druck der Wassermassen bis zur Schwerelosigkeit im All, vom Element Wasser bis zum kompletten Vakuum – doch womit es die Forscher vor Ort zu tun haben, ob in der Tiefsee oder im Weltall, ist in vieler Hinsicht verblüffend ähnlich.

The Deep Sea and the Deep Space – beides sind extreme Umgebungen, die nur über große Distanzen erreichbar sind, und beide stellen an Mensch wie Technik höchste Ansprüche: „Wir haben dieselben Herausforderungen: Wir müssen in den jeweiligen Welten mit limitierter Energieverfügbarkeit zurecht kommen, die Navigationssysteme arbeiten komplett autonom, und der Datentransfer sowie die Behandlung von Systemfehlern werden ohne menschlichen Zugriff von Robotern durchgeführt“, erklärt Wilde (siehe dazu auch Interview Seite 79). Hinzu kämen, so Mueller, „eine schwierige Kommunikation und Logistik, bei wissenschaftlich aber höchst interessanten Forschungsfragen mit gewaltigen Auswirkungen für das Verständnis unserer Erde und ihrer Beziehung zum Sonnensystem“.

Die größte Gemeinsamkeit, die sich aus der Erkundung solch entlegener Extrembereiche ergibt, ist die Abhängigkeit von robotischen Systemen, von autonom agierenden Robotern. „Tiefseeroboter und in der Tiefsee operierende technische Systeme werden zunehmend selbstständiger und generell den Weltraumsystemen immer ähnlicher“, sagt Wilde. Als er über den Aufbau einer Forschungsstation auf dem Mond nachdachte, war er überrascht, dass er sich mit fast identen Herausforderungen wie die Kollegen von der Abteilung Tiefsee beschäftigte. „Auch in der Raumfahrt brauchen wir Vehikel, die sich über einen langen Zeitraum in einer extremen Umgebung bewegen und dabei selbstständig komplexe Aufgaben erledigen können.“

Verblüfft war man auch bei der Helmholtz-Gemeinschaft: Als das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung dort einen Forschungsantrag einreichte, stützen die Prüfer. Denn es lag bereits ein ähnlicher Antrag zum Thema autonome Roboter in Extremumgebungen vor, gestellt von einem der Raumfahrtinstitute. Die Bremerhavener Tiefseeforscher wollten zwar ihr Fahrzeug in der entlegenen Arktis in mehreren Tausend Meter Tiefe einsetzen, aber sonst: zwei Forschungsanträge mit frappant ähnlichen Zielen. Das war die Geburtsstunde von „Robex“.



In dieser Allianz, der „Robotic Exploration Under Extreme Conditions“, schlossen sich vor zwei Jahren Experten aus der Raumfahrt- und Tiefseeforschung zusammen, um erstmalig gemeinsam Technologien zur Erforschung schwer erreichbarer Gebiete mit extremen Umweltbedingungen zu entwickeln – der Tiefsee und der Polargebiete, des Mondes und anderer Himmelskörper. Ganz bewusst sollen beide Seiten von den Technologien und Fähigkeiten der jeweils anderen profitieren.

Robex besteht aus einem Konsortium von Meeresforschungs- wie Weltraumforschungsinstituten mit international namhaften Einrichtungen: Als Beirat sind das J.F. Kennedy Space Center der NASA und auf Europa-Seite die European Space Agency (ESA) vertreten, ebenso das Institut de Physique du Globe de Paris, das French Research Institute for Exploitation of the Sea und Ocean Networks Canada. Als Partner gehören der Allianz zudem das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) an, das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, das Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung (Geomar), das Zentrum für marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt ist mit mehreren Instituten vertreten. Dazu kommt die oberste Liga der Technischen Universitäten Deutschlands. Und kürzlich trat auch Airbus Defence & Space als assoziierter Partner bei.

Für die Allianz wurde ein Etat von 30 Millionen Euro bereitgestellt. Das klingt viel – doch es geht um die beiden wichtigsten Explorationsgebiete der Zukunft. Wie die internationale Forschergemeinschaft hat auch die Wirtschaft enorme Interessen an den Ressourcen der Tiefsee und fokussiert bereits auf den Abbau von wertvollen Rohstoffen im Unterwasserbergbau. „Blue Economy“ ist das große Thema der aktuellen Strategiedokumente der EU.

Im Weltall sieht es nicht anders aus. Da geht es um das Erforschen von innovativen Technologien und Materialien sowie um kommerzielles Satellitenbusiness. Die Bedeutung dieser riesigen Potenziale verdeutlichen auch die in der Robex-Allianz festgelegten Schwerpunkte: In den Ozeanen werden hydrothermale und kalte Quellen als mögliche Standorte für die Mineralgewinnung und Methanhydrate als potenzielle neue Energiequelle erforscht – aber auch als Risikofaktor für Klimawandel und Naturkatastrophen. Die Raumfahrtthemen kreisen indes um intelligente Materialsysteme und innovatives Strukturdesign, um die Zusammensetzung des Mondinneren und innovative Materialien wie den lunaren Beton.

Als erstes gemeinsames Ziel ist nun ein zentrales Entwicklungsprojekt entstanden: Die vereinten Tiefsee- und Raumfahrtforscher wollen eine große Basisstation bauen, die in der Tiefsee genauso wie auf einem Planeten stehen könnte. An diese Station sollen mobile Einheiten wie Crawler – auf Ketten betriebene Roboter, die mit wissenschaftlichen Instrumenten und Sensoren ausgestattet sind – andocken und die aus weiträumiger Umgebung gebrachten Bodenproben und Daten übertragen. Dabei lassen sie sich von einer Basisstation mit neuer Energie füttern. Ein ehrgeiziges Projekt, für das in den 13 Teams interdisziplinär innovative Technologien für Energieaustausch, Datentransfer und Autonomie entwickelt werden. In einer Gruppe wird mit der TU Dresden ▶

„Im Weltraum fliegt kein Gerät mit Kabel“

DETLEF WILDE, Experte für Weltraumrobotik bei Airbus, über die extrem aufwendige Planung von Missionen ins All und Segelflugzeuge, die unter Wasser fliegen.

profil: Ihr Unternehmen assoziiert man mit Flugzeugen und Raketentechnik – nun entdecken Sie die Tiefsee?

Detlef Wilde: Das ist doch spannend: Der Mond ist bereits genau kartografiert, aber durch die Wassersäule hindurch in die Tiefe gucken können wir eben nicht.

profil: Nun wollen Weltraum- und maritime Forschungsinstitute gemeinsam Gebiete mit extremen Umweltbedingungen erkunden. Was bringt das?

Wilde: Beide Seiten haben sehr viele technologische Ähnlichkeiten. Die in der Tiefsee operierenden technischen Systeme wie Crawler oder Meeresobservationslabore werden immer selbstständiger und damit den Systemen, die wir im Weltraum einsetzen, immer ähnlicher. Die Forscher müssen mit gleich extremen Umweltbedingungen zurechtkommen, in beiden Bereichen geht es um das Management der äußerst limitierten Energieversorgung und die Steuerung von Navigationssystemen durch autonome Roboter.

profil: Was sind nun Ihre ersten Ziele?

Wilde: Ziel ist, die Robotersysteme autonom zu machen, sodass sie komplett eigenständig Entscheidungen treffen können und dies ohne jegliche externe Stromversorgung. Müssen sie auch: Im Weltraum fliegt ja kein Gerät mit einem Kabel zur Erde. In einem zweiten Projekt entwickeln wir gemeinsam mit dem Zentrum für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen den Prototyp

ROBOTIKEXPERTE DETLEF WILDE
„Die Forscher müssen mit gleich extremen Umweltbedingungen zurechtkommen.“



eines Tiefseegleiters, der sich wie ein Segelflugzeug unter Wasser durch das Meer bewegen soll. Dieser Glider wird völlig autonom unter Wasser fliegen. Einen ähnlichen Gleiter hat die US Navy entwickelt, der ist drei Monate von der amerikanischen Ostküste nach Spanien durchgetaucht.

profil: Also profitiert die Raumfahrt von der Meeresforschung?

Wilde: Auf jeden Fall. Wir können ja nicht so ein bisschen in den Weltraum fliegen

und Tests absolvieren. Die Tiefseeforscher sagen: Ich baue das mal und schicke es mit der nächsten Schiffsexpedition unter Wasser oder teste es am Nachmittag mal eben in der Nordsee gleich gegenüber vom Institut. Geht im Weltraum leider nicht. Die Planung für Weltraummissionen verläuft in anderen Dimensionen, in mehreren zeitlichen Dekaden. Bei Rosetta hat das Entwicklungsprogramm 20 Jahre gedauert, allein der Flug dauerte zehn Jahre.

bereits an einer Art Hochleistungsbeton geforscht, einem Konzept zur Produktion von Beton aus Mond-Regolith folgend. In einem anderen Team bauen die Forscher an einem Unterwassergleiter, unterstützt durch Airbus-Expertise. Die Ergebnisse sollen 2017 in Demomissionen zur Tiefsee sowie zu einer „Mond-Analog-Landschaft“ präsentiert werden.

Doch bis all die Forscher eine gemeinsame Sprache fanden – das dauerte. Zunächst prallten zwei Welten förmlich aufeinander, und die bis dahin völlig unbekanntem Arbeitsweisen der jeweils anderen Disziplin verursachten einiges Staunen. „Die Raumfahrtkollegen denken und planen in ganz anderen Zeiträumen als wir“, sagt der Meeresforscher Sascha Lehmenhecker, einer der Konstrukteure des Unterwasserroboters Trampler. Während die AWI-Techniker Instrumente für die Erkundung des arktischen Ozeans innerhalb eines Jahres entwickeln, läuft dieser Prozess in der Raumfahrt über Dekaden. Wilde: „Bei uns in der Raumfahrt sind alle Abläufe sehr umfangreich und teuer, doch die Meeresforscher sagen einfach: „Dann kommen Sie doch mal mit aufs Schiff, und wir testen das gleich.““ In die Tiefsee führen jährlich Expeditionen mit Forschungsschiffen wie dem Eisbrecher FS Polarstern. Weltraummissionen werden dagegen für alle 20 bis 25 Jahre vorbereitet – wie auch der lange Vorlauf zum ESA-Projekt der Raumsonde Rosetta zeigte, die den Lander Philae zum Kometen 67P „Tschuri“ brachte. Zurück in der Maritimen Explorationshalle in Bremen.

TIEFSEEFORSCHER SASCHA LEHMENHECKER
„Jetzt haben wir die Konzepte der Raumfahrt und können diese für eine Lösung nutzen.“



Im großen Salzwassertestbecken macht der Unterwasserroboter Trampler in acht Metern Tiefe seine ersten Anfahr- und Abbremsübungen. Locker manövriert der knallgelbe Crawler durchs Wasser. Die Ingenieure überwachen den Energieverbrauch per Computer. Der Roboter wird später ein Teil der Tiefsee-Demomission sein. Mehrere mobile, autonome Roboter und Kettenfahrzeuge sollen dann in der

Einsatzplanung

Sascha Lehmenhecker, Tiefseexperte beim Alfred-Wegener-Institut des Helmholtz-Zentrums für Polar- und Meeresforschung, ist wesentlich in die Robex-Allianz eingebunden. Hier erklärt er ...

... die ersten Einsatzpläne

für den Unterwasserroboter Trampler:

Er wird westlich von Spitzbergen, nahe unserem Tiefseeobservatorium, das mit seinen Unterwasserstationen bis zu einer Tiefe von 5500 Metern reicht, Messungen von Salzgehalt und Temperatur vornehmen und den Meeresboden analysieren.

... die größten Herausforderungen

für das Tiefseeprojekt:

Das ist die Energieversorgung: Der Crawler soll ein ganzes Jahr in der Tiefe bei Temperaturen um den Gefrierpunkt komplett autonom und ohne jegliche externe Energieversorgung arbeiten. Wir entwickeln derzeit die

Elektronik, um ihn so energiesparend wie möglich operieren zu lassen. Würde man ein Smartphone zum Steuern des Roboters nutzen, bräuchte man dafür 40 Autobatterien – diesen Platz haben wir nicht. Aber jetzt haben wir die Konzepte der Raumfahrt und können diese für eine Lösung nutzen.

... den Einfluss von Weltraumtechnologie auf das Tiefseeprojekt:

Die Raumfahrtkollegen steuern die Navigationssoftware und das Power-Management bei. Die Technologien testen sie bei dieser Ganzjahresexpedition unseres Tiefseeroboters dann gleich im Hinblick auf den Einsatz im Weltraum.

Methanhydrat vermutet. Bis dahin stehen für die Unterwasserroboter weitere Härtefälle an. Bereits im Sommer werden sie das erste Mal in einem Meer ausgesetzt. Es ist nicht mehr lange bis zur gemeinsamen Reise der Meeres- und der Weltraumforscher mit der FS Polarstern 2017 in die Arktis.

„Durch das Testen in einer dem All analogen Umgebung auf der Erde können wir die Entwicklung neuer Technologien beschleunigen, und das bei gleichzeitiger Kostenersparnis“, sagt NASA-Experte Rob Mueller. „Unser

Tiefsee rund um ihren Masterlander eine Fläche von bis zu einem Kilometer erkunden, Sauerstoff, Temperatur, Salzgehalt und Nährstoffe messen sowie seismologische Tests durchführen. Zwei Zielgebiete wurden bereits benannt: ein polares Langzeit-Tiefseeobservatorium zwischen Grönland und Svalbard, Spitzbergen, sowie ein Gashydratfeld bei Svalbard. Am dortigen Kontinentalrand werden große Mengen

re Verfahren zur Steuerung der Roboter müssen erprobt werden, und die Tiefsee ist eine ideale Umgebung, wo wir unter fast realen Bedingungen testen können“, so Mueller, der schon für das Human Spaceflight Architecture Team der NASA den Bereich Mond verantwortete.

Wer also zum Mond will, startet zunächst in der Tiefsee. ■

Der Fuhrpark Die raffiniertesten Fahrzeuge von Weltraum- und Tiefseeforschern und ihre Aufgaben.



Der Viator

Bei diesem Masterlander-Crawler-System des Geomar-Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung wird derzeit die Steuerungssoftware für den Unterwassereinsatz implementiert. Der Lander, Teil des Robex-Programms, kann mit verschiedenen Instrumenten bestückt werden und dient dem Crawler als Dockingstation.



Der Trampler

Er zählt zu den autonom geführten Unterwasserfahrzeugen, die sich mit einer Geschwindigkeit von bis zu drei Metern pro Sekunde auf dem Meeresboden fortbewegen. Das Kettenfahrzeug des Robex-Programms ist eine Konstruktion aus Titan und Fiberglas mit einem Gewicht von 550 Kilo, Primärzellenantrieb, LED-Scheinwerfern und Kamera. Die maximale Einsatztiefe beträgt 6000 Meter. Seine Aufgaben: Messungen und Probenahme in schwer zugänglichen Meeresregionen, in der Tiefsee und unter dem Eis.



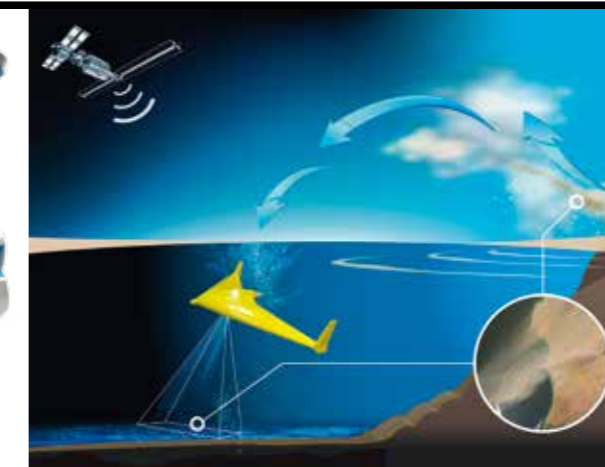
Der Krabblor

Roboter, die sechs Beine haben und damit hervorragend krabbeln können, werden etwa für Marsmissionen entwickelt, um autonom ihre Umgebung zu explorieren und zu kartieren. Der Krabblor des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt soll über eine ganzheitliche Wahrnehmung seiner Umgebung verfügen – über die zwei Robotersinne Fühlen und Sehen.



Rollin' Justin

Humanoide Roboter sollen künftig auch in der Raumfahrt eingesetzt werden. Rollin' Justin verfügt über multisensorielle Vierfingerhände und einen multisensoriellen Kopf mit Bewegungssensoren, Stereokameras und Laserscanner. Justin kann seine Umgebung komplett in 3D rekonstruieren, durchsichtige Gläser erkennen und ergreifen, Flaschen öffnen, Getränke einschenken – aber auch Bodenproben auf dem Mars nehmen. Neu in der humanoiden Robotik sind die 43 drehmomentgeregelten Gelenke am Torso des Roboters.



Der Glider

Hier handelt es sich um eine gänzlich neu zu entwickelnde Technologie des Zentrums für Marine Umweltwissenschaften (Marum) nach Konzepten der Raumfahrt und von Airbus. Aufgabe des segelflugzeugähnlichen Drei-Meter-Gleiters sind Gashydratmessungen im Ozean. Der Glider gehört ebenfalls zum Maschinenpark des Robex-Programms.



Der Space Climber

Der Laufroboter wurde für extraterrestrische Missionen in schwierigem Gelände, insbesondere für Krater, Canyons oder Felsspalten, entwickelt. Besonders robust, energieeffizient und mit hoher Ausfallsicherheit konstruiert, soll er Steigungen von bis zu 80 Prozent meistern können. Zwecks hoher Stabilität in Steillagen wurden für den Space Climber völlig neuartige Fußkonzepte entwickelt, mit Druck- und Drei-Achsen-Beschleunigungssensor in der Fußsohle und optischem Wegmesser im Federzylinder des Unterschenkels.