

Einsatz von AUVs als anwendungsorientierte Sensorplattformen

Ein Beitrag von ALEXANDER STAVENHAGEN

Die professionelle Verwendung von autonomen Unterwasserfahrzeugen (AUVs) rückt immer mehr in den Blickwinkel der Anwender. Die fortschreitende Nutzung der Meere, aber auch das wachsende Problembewusstsein kreieren immer neue Anwendungsfelder. Die Entwicklung von forschungsorientierten Experimentalsystemen hin zu nutzerfreundlichen Systemen, die sich in die Arbeitsprozesse und die bestehende Infrastruktur der Nutzer problemlos einbeziehen lassen, hat inzwischen einen beachtlichen Status erreicht.

Autor

Dr. Alexander Stavenhagen arbeitet als Projektleiter für Entwicklungsprojekte bei der Atlas Elektronik GmbH in Bremen

alexander.stavenhagen@atlas-elektronik.com

Abb. 1: Multisensor-Vermessung eines Hafenbeckens: Die Daten wurden simultan von allen im AUV integrierten Sensoren registriert und erleichtern im Vergleich die Interpretation der gefundenen Untergrundstrukturen oder Objekte

AUV | fusionierte Information | Pipelinetracking | Kabeltracking | In-situ-Analyse

Sensorsysteme auf autonomen Unterwasserfahrzeugen

Datenakquisition mit schiffsgebundenen oder autonomen Unterwasserfahrzeugen

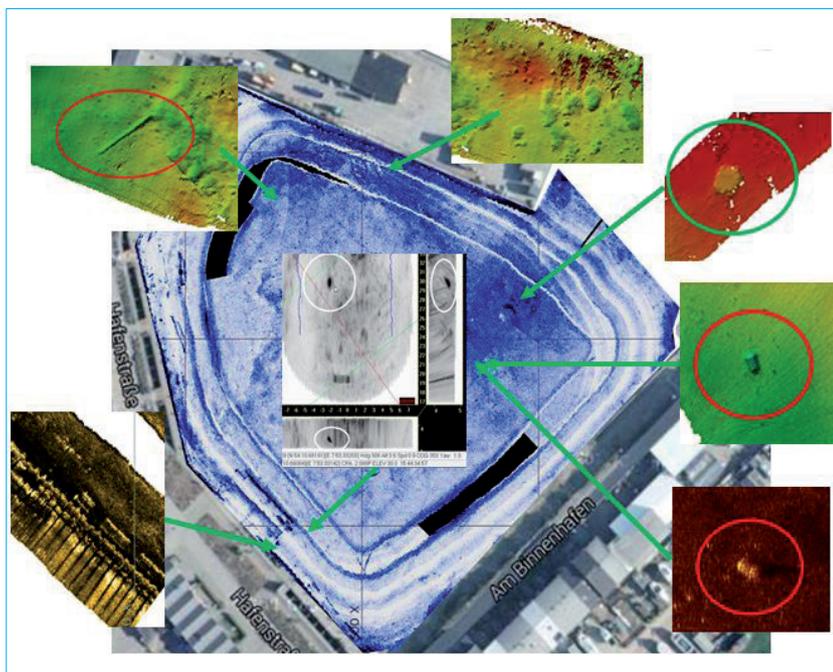
Die sehr verbreiteten geschleppten Sensorsysteme liefern, in ihrer hauptsächlichen Einsatzdomäne, der Flächensuche, Daten von hervorragender Qualität. Ihre Möglichkeiten decken viele Verwendungszwecke sehr gut ab. Erforderlich ist eine gewisse Infrastruktur auf den Vermessungsschiffen, seegangskompensierte Winchen, lange Schleppkabel und ein Messgebiet, in dem den besonderen Manövriereigenschaften Rechnung getragen werden kann. Die Kontrolle der Navigation erfolgt über Relativmessungen mittels USBL zum DGPS des Vermessungsschiffs, was für mittlere Wassertiefen und lange Vermessungstrassen gut funktioniert. Neuere Schleppsysteme besitzen zur Kontrolle der eigenen Position Trägheitsnavigation und zur präziseren Tiefenhaltung Ruderanlagen. Dennoch kommt es aufgrund von Navigationsungenauigkeiten des Zugverbandes immer wieder zu Datenlücken, die, falls eine flächendeckende Kartierung oder eine genaue Trassenführung notwendig ist,

zeitintensive Nachvermessungen erforderlich machen. Für flache oder sehr große Wassertiefen ist eine Vermessung mit einem Schleppsystem noch anspruchsvoller, da USBL-Systeme an langen Auslagen im Flachwasser nicht durchgehend zuverlässige Signale liefern und die Schleppsysteme einer minimalen Zuggeschwindigkeit bedürfen, um ihre Tiefe zu halten; diese liegt bisweilen über der für die Sensorsysteme optimalen Geschwindigkeit.

Für flache, große und auch variierende Wassertiefen bieten sich autonome Unterwasserfahrzeuge an, vor allem für sensoroptimale Fahrtgeschwindigkeiten und wenn hohe Positionierungsgenauigkeiten der akquirierten Sensordaten für eine fehlerfreie Georeferenzierung gefordert sind. Mit DGPS-synchronisierter Trägheitsnavigation und Doppler-Log-Unterstützung bringen sie die Sensorik in die optimale Tiefe über Grund. Die erforderliche Infrastruktur auf einem kleineren Vermessungsschiff kann sich auf einen Bordkran mit entsprechender Lastkapazität beschränken oder sie kann durch ein halbautomatisches Ein- und Ausbringsystem abgebildet werden. Durch den Einsatz eines oder zweier AUVs lassen sich sowohl die Verwendungsmöglichkeiten als auch die Flächensuchleistung des Schiffs beträchtlich erweitern. Einsatz Tiefen bis zu 4000 m und Navigationsgenauigkeiten bis zu 0,1 % der zurückgelegten Strecke (CEP50), bei einer Reichweite bis zu 200 km (je nach Sensorausstattung) und Turn-around-Zeiten von nur zwei Stunden, erlauben Kampagnen größeren Maßstabs in akzeptabler Zeit.

Vielseitige Sensorik und hohe Autonomie

Aus dem Ansatz heraus, komplementäre Fähigkeiten für Arbeiten auf See zu entwickeln oder zeit- und ressourcensparende, effiziente Beobachtungssysteme in schwierigen oder gefährlichen Situationen und Umgebungen einzusetzen, werden zunehmend neue Aufgabengebiete für autonome Systeme konzeptioniert. Die dafür notwendigen Problemlösungen beinhalten zumeist eine Reihe von Sensoranwendungen, die in starker Abhängigkeit von hochpräziser Navigation und Positionierung stehen und damit vom situativ angepassten Verhalten der Trägerplattform.



Quelle: Atlas Elektronik GmbH, Bremen

Wurde in der Vergangenheit das Augenmerk auf einzelne Vergleichswerte des Trägersystems AUV, wie z. B. Geschwindigkeit, maximale Tauchtiefe, Reichweite oder Missionsdauer, gelegt, finden wir heute eine ausreichende Auswahl von autonomen Unterwasserfahrzeugen für vielfältige Aufgabenbereiche:

Von AUVs für große Reichweiten, hochpräzise und maximale Flächensuchleistungen mit sicherheitsbetonten, redundanten Navigationslösungen, Energiespeichern und Antriebssektionen, die in umfassende Küstenschutz- und Überwachungsinfrastrukturen eingebunden werden können, über universell einsetzbare Fahrzeuge, die noch an Bord mit unterschiedlichen Sensorköpfen für variierende Aufgaben bestückt werden und somit verschiedene Aufgaben mit einem Sensorträger erfüllen können, bis hin zu den größeren, tieftauchenden, autonomen Systemen, die mit umfangreichen Sensorsuiten ausgerüstet sind.

Neben diesen AUV-Systemen existieren noch eine Reihe von sehr eingeschränkt nutz- und auswertbaren »man-portable« Fahrzeugen mit preisgünstigen Sensoriken.

Eine gänzlich eigene Klasse von autonomen Messsystemen sind die sogenannten Glider, die im wissenschaftlichen Auftrag in den Weltmeeren sehr große Flächen vermessen und ozeanographische Daten sammeln.

Der Blickwinkel der Anwender hat sich inzwischen geändert, sodass heute vermehrt komplexe Systeme mit linear unabhängigen Sensorsystemen oder mit In-situ-Analysefähigkeiten benötigt werden, deren Messwerte problemabhängig reduziert und fusioniert werden, um noch an Bord für die jeweils betrachtete Fragestellung aussagefähige Antworten geben zu können.

Diese fusionierten Messergebnisse werden in aktuell erprobten Systemen mit höherem Autonomiegrad für eine selbstständige Missionsänderung benötigt, d. h. für das Erkennen und Verfolgen einer bestimmten Struktur oder physikalischen Charakteristik, für eine autonom eingeleitete zielgerichtete weitere Untersuchung oder Beprobung.

Aktuelle Erprobungen autonomer Systeme für das Kabel- oder Pipelinetracking, die Sensorinformationen von Multibeam-Sonar, Side-Scan-Sonar, Sub-Bottom-Profiler, Magnetometern und Kameras zu einem Lagebild der untersuchten Pipeline fusionieren, eröffnen vielfältige Untersuchungsgebiete (Abb. 1).

Jedes dieser Sensorsysteme für sich besitzt eigene Charakteristiken; Linien- oder Flächenabtastung, zwei- oder dreidimensionale Messdaten, basierend auf akustischen oder optischen Verfahren oder auf Potenzialverfahren. Anhand dieser fusionierten Informationen findet und identifiziert das AUV die Pipeline – oder das gesuchte Kabel –, schwenkt auf deren Lage ein und verfolgt ihren Verlauf bis zum Rand der vorgegebenen Autonomiezone.

Währenddessen vermisst das System laufend



Quelle: Atlas Elektronik GmbH Bremen

die Lage und den Zustand der Pipeline, sodass nach der Mission alle Informationen im Offline-Processing verarbeitet und interpretiert werden können. Diese gewonnenen multidimensionalen Datensätze beinhalten alle Informationen, wie hochauflösende Bathymetrie aus Multibeam-Sonar und Side-Scan-Sonar, dreidimensionale, akustische Volumenaufnahmen mit mehreren Metern Eindringtiefe und die magnetische Signatur der verfolgten Pipeline oder anderer Anomalien im direkten Umfeld. Damit ist eine Interpretation des Zustandes der Rohrtrasse aus nur einem Überlauf möglich.

In neueren Entwicklungen wurden die auf AUVs angewendeten Messverfahren erfolgreich auch auf chemische In-situ-Analysen und auf gezielte Beprobungen erweitert. Damit ist es möglich, das Meerwasser oder das Sediment (Abb. 2) auf chemische Bestandteile von Schadstoffen zu untersuchen und so einen Nachweis von möglichen Kontaminationen zu führen. Im Zusammenhang mit der inzwischen hochentwickelten Navigation der autonomen Systeme, lassen sich die Quellen einer solchen Kontamination zurückverfolgen, markieren und zu einem späteren Zeitpunkt wieder auffinden und beprobieren.

Präzise Navigation in größeren Wassertiefen ist ein aktuell intensiv bearbeitetes Thema, denn alle Messungen und gewonnenen Informationen müssen auf einer reproduzierbaren Georeferenz basieren. Bisher werden bei einigen AUV-Systemen akustische SBL- oder USBL-Navigationsverfahren vom operierenden Schiff aus zur Steigerung der Navigationspräzision der AUV-eigenen Trägheitsnavigation verwendet. Diese Verfahren stoßen bei großen Tiefen und bestehenden Dichteschichtungen an Grenzen. Die Wiedererkennung von geologischen oder anderen signifikanten raumfesten Markern und die Verwendung dieser als Navigationsknotenpunkte sind Forschungsthemen, deren Umsetzung die Entwicklungsabteilungen auch in der nächsten Zeit noch beschäftigen wird.

Die hier beschriebenen Möglichkeiten gelten aber nicht ausschließlich für einzelne operierende Systeme. Aktuelle Versuche zur Schwarmin-telligenz und zur gegenseitigen Steuerung von

Abb. 2: ATLAS SeaCat mit Raman-Spektroskop. Der Sensorkopf hängt am unteren Ende des Kabels und kann, in der oberen Sedimentschicht geschleppt, die Messung durchführen

mehreren AUVs, auch in komplexeren Situationen, eine arbeitsteilige Aufgabe zu erfüllen, zeigen vielversprechende Ergebnisse. Damit wurde erstmals der Weg eingeschlagen, vielseitige Aufgaben in einem Kontrollgebiet zu verteilen und kollektiv abzuarbeiten.

Anwendungen

Der Vielzahl von denkbaren Anwendungen für autonome Unterwasserfahrzeuge steht eine breite Angebotspalette von AUV-Fahrzeugen und -Systemen gegenüber, die für diese Aufgaben ausgerüstet werden können. Dabei kann festgestellt werden, dass es das universelle »Ein-Sensor-System« nicht gibt, sondern die Stärken von Systemlösungen je nach Problem an die anwenderseitig bestehenden personellen Gegebenheiten, an die Datenverarbeitungssituation und an die marine Infrastruktur angepasst werden müssen.

Im Folgenden werden vier Hauptanwendungsgebiete näher beleuchtet.

Offshore-Infrastrukturen und -Bauwerke

Die in der vergangenen Dekade entstandenen sowie die noch in Planung befindlichen Offshore-Windfarmen in Nord- und Ostsee decken inzwischen viele hundert Quadratkilometer in einem Umfeld mit schwierigsten Umweltbedingungen ab. Neben den vorbereitenden großflächigen Baugrundvorerkundungen müssen die Fundamentierungen, die Lage und der Zustand der Kabelnetze fortlaufend beobachtet werden. Auch wenn bis heute noch keine ausreichenden Erfahrungen und geschlossenen Strategien für das Monitoring dieser Bauwerke und Felder existieren, steht zu erwarten, dass sich ein weites Betätigungsfeld für autonome Überwachungsaufgaben erschließt (Abb. 3).

Würden bisher viele der Untersuchungen durch die Berufstaucherei ausgeführt, werden kurzfristig die zu überprüfenden Flächen die Tauchkapazitäten bei Weitem übersteigen. Damit wird eine komplementäre Erweiterung der Fähigkeiten durch

technische Überwachungssysteme, ferngesteuert oder autonom, stark nachgefragt sein.

Kabel und Pipelines

Tiefseekabel gewährleisten heute 99 % der interkontinentalen Kommunikation, sowohl für die zivile und wirtschaftliche Nutzung als auch bei der militärischen Nachrichtenübermittlung. Die Kosten für Verlegung und Reparatur belaufen sich auf mehr als 100 000 US\$ pro Tag. Die Beschädigung eines solchen Kabels kann weite Teile eines Landes von der Stromversorgung oder Kommunikation abtrennen. In kleinerem Maßstab benötigen auch Windparks eine Kabelinfrastruktur, um die gewonnene Energie an Land zu transportieren.

Bereits vor der Verlegung ist es erforderlich, die Kabeltrasse auf ihre Untergrundbeschaffenheit hin zu untersuchen. Die Frage ist, ob auf dem anstehenden Untergrund ein Kabel problemlos verlegt oder eingegraben werden kann und ob die Trasse frei von Hindernissen oder Altmunition ist.

Ähnliches gilt für Pipelines, durch die Öl oder Gas über Tausende von Kilometern transportiert wird. Als Beispiel mag die North-Stream-Pipeline gelten, die russisches Gas über 1200 km nach Europa führt. Eine Überwachung der Leitungen in Bezug auf ihre Lage, auf Verkolkung oder Unterspülung kann unter Umständen die Energieversorgung eines Landes sicherstellen oder auch drastischen Umweltschäden vorbeugen.

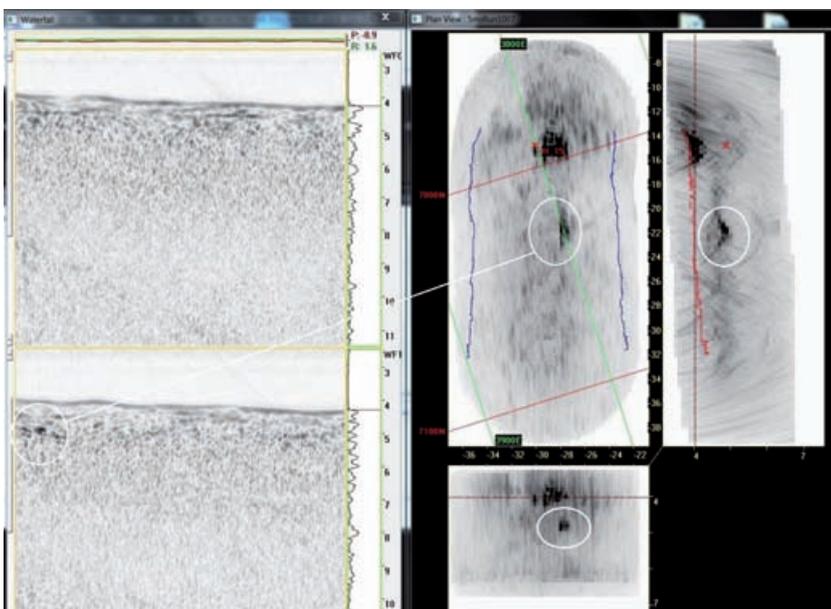
Da Kabel und Pipelines nicht nur den harschen Umwelteinflüssen des Meeres unterliegen, sondern manchmal auch der Schleppfischerei oder einfach den Ankern von Schiffen ausgeliefert sind, sind sie teilweise unter der oberen Sedimentschicht vergraben. Eine Kontrolle der Lage und des Zustandes erfordert komplexe Sensorik, die nicht nur die Bathymetrie hochauflösend darstellen kann, sondern die Kabel und Leitungen und mögliche Kreuzungen auch unter der Sedimentschicht abbilden und verfolgen kann.

Altlastenerkundung

Etwa zwei Millionen Tonnen Altmunition oder Sprengstoffe lagern in deutschen und benachbarten Gewässern der Nord- und Ostsee (Abb. 4). Zum Teil sind die Gewässer vor den Küsten flächendeckend vermint. Bei Kriegsende haben sowohl die eigenen Streitkräfte als auch die alliierten Marinen die nicht mehr benötigte Munition einfach ins Meer geschmissen – und so scheinbar problemlos entsorgt. Ungenaue Bombardements der alliierten Luftwaffen trugen zu einem weiteren Teil der Munitionsaltlasten zumindest im Umfeld der damaligen strategischen Standorte bei.

Munitionsfunde hat es an den besagten Küsten seit jeher gegeben. Seit etwa zehn Jahren rückt das Problem jedoch immer häufiger in das Bewusstsein der Öffentlichkeit, aufgrund einer stärkeren Sensibilisierung für Umweltbelange und auch durch eine entsprechende Medienberichterstattung.

Abb. 3: Sub-Bottom-Profiler-Daten aus Hafenvermessungen. Detektion eines in ca. 1 m Tiefe unter dem Sediment verborgenen Objekts



Quelle: Atlas Elektronik GmbH, Bremen

Speziell im Zuge der Erschließung von Offshore-Windparks und deren Infrastruktur oder bei der Trassenplanung für Kabel oder Pipelines ist eine Baugrundvorerkundung im Hinblick auf gefährliche Objekte gefordert. Ein praktisches Problem hierbei stellt die Differenzierung zwischen Munition und Unrat dar, die nicht nur den Einsatz verschiedener Sensorprinzipien, sondern auch eine profunde Erfahrung in der Interpretation der Messergebnisse erfordert.

Rohstofferkundung

Während in anderen Teilen der Erde bereits autonome Systeme bei der Erkundung und Beobachtung von Rohstofflagerstätten professionelle Verwendung finden, sind diese Anwendungen in deutschen Gewässern zumeist eher experimentell als Bestandsaufnahmen der Verkehrswege in Häfen, Flussmündungen oder Kanälen zu finden.

Werfen wir einen Blick in die arktischen Schelfmeere, wo über eine mögliche Verwertung von Rohstoffen, aber auch über eine nachhaltige und ökologisch verträgliche Nutzung diskutiert wird. Große Wassertiefen und extreme Umweltbedingungen erschweren eine Beurteilung mit den von einem Forschungsschiff aus zu bedienenden Sensoren und Geräten; die Datenqualität und damit auch die Möglichkeit einer sicheren Interpretation lässt sich signifikant erhöhen, wenn die Sensorik in eine optimale Tiefe zum Meeresboden gebracht werden kann.

Adaption an das Anwender- und Problemumfeld

Um durch den Einsatz von AUVs eine effektive komplementäre Erweiterung der Anwendungen hydrographischer Messmethoden zu erhalten, ist es erforderlich, sich sowohl der zu lösenden Problemstellung zu widmen, indem die autonomen Systeme mit angepasster Sensorik ausgerüstet werden, als auch sich der Infrastruktur und der Arbeitsweisen der Anwender anzupassen. Dies betrifft die Anteile der Arbeitsprozesse, in denen AUVs eine andere Akquisitionstechnik ablösen oder ergänzen können.

Eine maßgebliche Frage stellt sich natürlich bei der schiffseitig notwendigen Infrastruktur, an die im Vergleich zum Einsatz von ROVs oder Schleppsystemen geringere Ansprüche gestellt werden. Wenn das Einsatzgebiet und die vorherrschenden Seebedingungen dies zulassen, kann ein AUV-Survey auch von kleineren »ships of opportunity« aus durchgeführt werden. Die Minimalanforderung verlangt einen hinreichend lastfähigen Kran, einen Stellplatz für ein AUV-Ablagegestell (Abb. 5), einen kleinen Werkstattbereich für die Wartungsarbeiten und, sofern dies gewünscht ist, ein Labor für die Post-Mission-Datenbearbeitung.

Auf der Fahrzeug- und Systemseite werden viele Anwendungsbereiche dadurch abgebildet, dass eine Swap-Head-Technologie das Aufgabenspek-



Quelle: WTDZ, Eckernförde

Abb. 4: Altmunition in der Ostsee

trum eines AUV-Systems durch anpassungsfähige Sensorköpfe erweitert und dass modulare AUV-Plattformen die Wartbarkeit an Bord extrem vereinfachen und die notwendigen Turn-around-Zeiten auf einen »Boxen-Stopp« reduzieren. Das Ziel hierbei ist geringster Personal- und Zeitaufwand sowie maximale Ausnutzung der Möglichkeiten der Systemverfügbarkeit.

Auf der Seite der Post-Mission-Datenverarbeitung und der Interpretation wurden in aktuellen Entwicklungen die Dateninfrastruktur den Prozessketten der Anwender angepasst und diese weiterentwickelt, sodass ein direkter Mehrwert durch die neuen Akquisitionssysteme entsteht.

Mit ihren modernen Batterietechnologien bieten die aktuellen AUVs Missionsdauern an, die in vielen Anwendungsfällen über den Datenverarbeitungskapazitäten an Bord, aber auch über einem sinnvollen Qualitätsmonitoring-Ansatz liegen. Hier muss geprüft werden, ob der alternierende Einsatz von zwei AUVs von einem Survey-Schiff aus, oder ein »Fast-Turn-around« des Datendownloads und des Batterieladens die Missionsergebnisse schneller für den Anwender verfügbar macht und damit eine sinnvolle Option innerhalb der Arbeitsprozesse bieten kann. ⚓

Abb. 5: ATLAS DeepDiver-AUV mit Sub-Bottom-Profiler an Bord eines Arbeitsschiffes



Quelle: Atlas Elektronik GmbH, Bremen