

Unter-Wasser-Drohnen für Hydrographie und Seebodenerkundung

Ein Beitrag von JÖRG KALWA

Für die Durchführung hydrographischer Surveys sollten autonome Unter-Wasser-Fahrzeuge (AUVs) einen Quantensprung in Richtung Kostenreduktion bei gleichzeitig größerer Detailschärfe bewirken. Zwanzig Jahre nach den ersten Entwicklungen in Deutschland haben Anwendungen derartiger Geräte immer noch einen gewissen Exotenstatus. Dieser Artikel beschreibt einige kürzlich durchgeführte Arbeiten, um den Stand der Technologie sowie beispielhafte Möglichkeiten für den Einsatz darzustellen.

Autor

Dipl.-Ing. Jörg Kalwa ist als Produktmanager UUV bei der Atlas Elektronik GmbH in Bremen tätig.

joerg.kalwa@atlas-elektronik.com

AUV | Hybrid-AUV | SeaCat | SwapHead | Nadir-Gap | SAS

Einsatz von Unter-Wasser-Drohnen

Als autonomes Unter-Wasser-Fahrzeug (AUV) bezeichnet man heute einen unbemannten, selbststeuernden Tauchroboter, der in der Lage ist, vorgeplante Wegpunkte auf geraden Linien anzufahren und auf diesen Wegstrecken Sensoren zu betreiben und deren Daten aufzuzeichnen. Von echter Autonomie, das heißt der Möglichkeit, situationsabhängig über den weiteren Verlauf der Aufgabe zu entscheiden, sind kommerzielle Geräte weit entfernt. Zwar ist die nationale und internationale Forschung hier deutlich weiter – in ausgewählten Anwendungen existieren bereits kooperierende Systeme, deren Sensoren sich ergänzen, oder Geräte, die z. B. die relative Breite eines Suchmänders den örtlichen Gegebenheiten anpassen können –, aber in der Praxis gilt selbst die Anwendung der Kategorie »vorprogrammiert« als exotisch, sie ist noch längst kein Tagesgeschäft. Aus Sicht der Hersteller sind die Geräte für den täglichen Einsatz bereit und versprechen mit relativ geringen Kosten und hervorragenden Kilometer- und Sensorleistungen erhebliche Einsparpotenziale. Grund genug, den erreichten Stand zu beleuchten.

Technologie autonomer Unter-Wasser-Fahrzeuge

Die Miniaturisierung elektronischer Komponenten sowie der heutige Konsumermarkt im Umfeld von Informations- und Batterietechnologie ermöglicht es, kleine Unter-Wasser-Fahrzeuge zu fertigen, die hinsichtlich der Leistung großen Fahrzeugen kaum oder nicht nachstehen. Größenbestimmende Faktoren sind letztlich die mitzuführenden Sensoren sowie der Energiegehalt der Batterien. Derzeit werden im Wesentlichen drei Klassen von AUVs unterschieden: tragbare Geräte mit einem Gewicht von unter 40 kg, mittelgroße AUVs bis etwa 400 kg, die noch mit einfachen Hilfsmitteln gehandhabt werden können, und große AUVs mit darüber liegendem Gewicht, typisch sind hier etwa 1,5 t. Kleingeräte mit einem Rumpfdurchmesser von kleiner 20 cm tragen üblicherweise hochfrequente Seitensichtsonare als Hauptsensor,

Großgeräte sind meist zusätzlich mit einer Kombination aus Fächerlot, Sub-Bottom-Profilier und Kamerasystem ausgestattet.

Den aus Sicht des Autors optimalen Kompromiss aus Handhabbarkeit und Leistungsfähigkeit stellen die mittelgroßen AUVs dar, die mit einem Rumpfdurchmesser von ca. 30 cm bereits über eine gute Sensorausstattung und Navigationsgenauigkeit verfügen können. Es hat sich gezeigt, dass die lange Betriebszeit vieler Großgeräte von bis zu 24 h in der Praxis kaum benötigt wird. In der Regel müssen die Daten nach einem Einsatz heruntergeladen und nachprozessiert werden. Daher bietet es sich eher an, zwei Fahrzeuge im Wechsel einzusetzen, wenn ein kontinuierlicher Einsatz gewünscht ist.

Die Atlas Elektronik GmbH hat in den letzten Jahren das Hybrid-AUV SeaCat (Abb. 1) in umfangreichen Tests zur Marktreife gebracht. Mit einer Länge von ca. 3,5 m und einem Gewicht von unter 200 kg gehört es zu den mittelgroßen AUVs. Besonderes Merkmal dieses Systems ist zum einen die Hybridfähigkeit – eine zusätzliche Betriebsart, die aus dem AUV ein über Lichtwellenleiter ferngesteuertes und hoverfähiges Inspektionsfahrzeug macht –, zum anderen die Möglichkeit, verschiedenste Sensorgruppen in einem Wechselkopf (SwapHead) zu bündeln, um das AUV so den unterschiedlichen Einsatzzwecken anpassen zu können. Häufig wird jedoch von Kunden die komplette Ausstattung gefordert. Der bisher vorgestellte Survey-Head enthält daher zusätzlich zu dem Standard-Seitensichtsonar (Edgetech 2205DF) ein Fächerlot (Norbit WMBS), einen parametrischen Sub-Bottom-Profilier (Tritech SeaKing) sowie eine hochauflösende Reihenbildkamera mit Blitzlicht.

Grundsätzlich erfordern diese Sensoren jedoch verschiedene Einsatzbedingungen. In einem konventionellen Survey wird die Fächerlotung direkt vom Schiff durchgeführt, während das Seitensichtsonar tiefer über den Seeboden geschleppt wird. Daher wäre es auch für einen AUV-Einsatz interessant, ein Fächerlot mit größerem Abstand vom Boden zu führen, als es für eine Side-Scan-Mission

sinnvoll wäre. Zusätzlich sollen sich die Sonardaten von nebeneinander liegenden Tracks überlappen. Die Abstände zwischen den einzelnen parallelen Fahrspuren können aber nur für einzelne Sensoren optimal gewählt werden. Durch eine geeignete Gruppierung von Sensoren mit ähnlichen Einsatzbedingungen in einem SwapHead könnte dem Problem Rechnung getragen werden.

Das SeaCat-System lässt sich sehr schnell auf einem Boot einrüsten. An Deck werden lediglich ein Antennenträger sowie ein Anschlusskasten installiert. Letzterer beherbergt auch das Ladegerät für die Batterien des AUVs. Die Programmierung des Gerätes erfolgt mittels seekartengestützter grafischer Oberfläche auf einem Laptop. Durch die Eingabe von Wegpunkten und die Einstellung zugehöriger Nutzlastfunktionen wird ein Missionsplan erstellt. Über eine WLAN-Verbindung wird dieser Plan kurz vor dem Start auf das Fahrzeug geladen. Nachdem das AUV geprüft und ins Wasser gelassen worden ist, wird der Einsatz per Knopfdruck auf dem Laptop gestartet. Mit dem Abtauchen der Unter-Wasser-Drohne reißt dann die Kommunikationsverbindung ab, bis das AUV mehrere Stunden später wieder geborgen werden kann.

Das notwendige Vertrauen in die Funktionalität des Systems aufzubringen ist für viele Anwender ungewohnt und häufig auch ein Hindernis für den Einsatz autonomer Unter-Wasser-Fahrzeuge. Glücklicherweise lässt sich die Unsicherheit etwas verringern, indem Fernverbindungen eingesetzt werden. So wird z. B. das AUV Hugin der norwegischen Firma Kongsberg häufig als System betrieben, das über ein akustisches Unter-Wasser-Modem angebunden ist – mit dem Nachteil, dass das Schiff ebenfalls an das AUV gebunden ist. Die unüberwacht einsetzbare Atlas SeaCat besitzt ebenfalls ein akustisches Modem (Evologics W2C 18/36), das auf Anrufe seitens der Basisstation mit einer Statusmeldung antwortet. Weiterhin besteht eine Verbindung über den Satellitenkommuni-

kationsdienst Iridium, die genutzt wird, um im aufgetauchten Betrieb die Position des AUVs zu senden. Schließlich besteht noch die Möglichkeit, ein USBL-System zu benutzen, um das getauchte Fahrzeug einzumessen und diese Daten gegebenenfalls später als Positionsstützung bei der Nachprozessierung der Daten zu nutzen.

Navigationsgenauigkeit

Die Nutzlastdaten des AUVs sind nur dann für eine Weiterverarbeitung brauchbar, wenn sie möglichst genau mit einer Position referenziert werden können. In manchen Anwendungsfällen sind im kommerziellen Survey-Geschäft Genauigkeiten im Sub-Dezimeterbereich gefragt und durch moderne GNSS-Empfänger (Global Navigation Satellite System) und RTK (Real Time Kinematik) auch realisierbar. Unter Wasser ist ein Empfang solcher Daten nicht möglich, sodass das AUV seine Position aus Messdaten schätzen muss. Klein-AUVs besitzen zumeist einen Magnetkompass und häufig schon ein akustisches DVL (Doppler Velocity Log), mit dem die Geschwindigkeit relativ zum Boden gemessen werden kann. Aus Richtung und Geschwindigkeit wird die Position über die Zeit berechnet. Durch die Ungenauigkeiten der Systeme ist die Positionsschätzung dennoch oft nach einigen Minuten Tauchfahrt für die Erfüllung hydrographischer Standards unbrauchbar. Daher kommen bei solchen AUVs unter anderem akustische Messverfahren wie Long- oder Ultra Short Baseline-Positioniersysteme mit entsprechendem Aufwand zum Einsatz, um den Fehler zu begrenzen.

Bereits mittelgroße AUVs besitzen in der Regel ein gestütztes Trägheitsnavigationssystem. Derartige Geräte hoher Genauigkeitsklasse werden unter anderem auch in Raketen benutzt, weswegen besonders in den USA gefertigte Systeme strengen Exportkontrollen unterliegen. Das Atlas SeaCat besitzt eine PHINS III der Firma iXBlue aus

Abb. 1: Systemübersicht Atlas SeaCat MK1:

Um das AUV gruppieren sich links Deckskasten mit Laptop, Fernsteuerung und Unter-Wasser-Modem; rechts Mastbox mit Antennen und Dreibeinige. Gut sichtbar ist der orange lackierte Swap-Head



Bild: Atlas Elektronik GmbH

Frankreich, das trotz sehr guter Leistungen diesen Beschränkungen nicht unterliegt. Das Gerät besteht aus faseroptischen Kreiseln und hochempfindlichen Beschleunigungssensoren, die es ermöglichen, die Erddrehung zu bestimmen und so geografisch Nord sehr präzise zu finden. Jede Bewegung und Beschleunigung des AUVs wird gemessen, woraus eine Lage- und Geschwindigkeitsinformation berechnet werden kann. Mess- und mathematische Ungenauigkeiten werden mit Hilfe von Stützsensoren ermittelt. Dies sind in der Regel Druckmesser (Tiefe), DVL (Geschwindigkeit), GNSS (Positionsreferenz an der Oberfläche) und ein Schallgeschwindigkeitssensor. In einem Kalmanfilter werden die Daten fusioniert, und schließlich wird eine finale Navigationslösung bestimmt. Aber auch diese unterliegt noch einer geringen Drift. Im Falle von SeaCat sind häufig Abweichungen von kleiner 0,1 % der gefahrenen Wegstrecke beobachtet worden, was bei einem Kilometer Fahrtstrecke einen Positionsfehler von weniger als einem Meter ergibt.

Die Eigenschaft des Navigationssystems kann bei der Planung berücksichtigt werden. So ist es besonders in Umkehrkurven und bei relativ flachem Wasser für das AUV sinnvoll, an die Oberfläche zu kommen, um einen GNSS-Fix aufzunehmen und gegebenenfalls eine Iridium-Nachricht abzusetzen. Nur wenn bei langandauernden Tiefwasseranwendungen eine sehr hohe Genauigkeit gefordert ist, sollte man auch hier auf die oben genannten akustischen Referenzsysteme zurückgreifen, um die Navigationsdaten nachträglich zu verbessern. Im Postprocessing können zunächst die aufgezeichneten Rohdaten sowohl vom Start-

punkt vorwärts als auch vom Endpunkt rückwärts durch die Zeit berechnet und kombiniert werden. Dies verbessert die Ergebnisse um bis zu 50 %. Alle weiteren Positions-Updates können selektiv benutzt werden, um die Daten weiter zu optimieren.

In Dänemark existiert südlich der Öresundbrücke bei Kopenhagen ein künstliches Unterwasser-Objekt in Form eines Tisches, das geodätisch vermessen ist und als Referenzziel für die Kalibrierung von hydrographischen Messwerkzeugen benutzt wird (Abb. 2). Atlas Maridan hat Anfang des Jahres die Möglichkeit genutzt, ihr SeaCat-AUV, das für eine Vermietung zur Verfügung steht, zu testen. Die offizielle Messung im System DVR90 (Danish Vertical Reference, 1990) ergibt für die Tiefe der Oberfläche des Tisches einen Referenzwert von 7,854 m. Die Messung des SeaCat-AUVs ergab Werte zwischen 7,95 und 8,04 m, wobei die vorliegende Tideninformation mit einem Fehler von 5 cm behaftet sein kann. Die Position des Objektes (6168341.143 N, 734279.685 E, UTM32) konnte exakt reproduziert werden.

Die Qualität der Daten, die durch die hohe Navigationsgüte und der verwendeten Sensoren erreicht wird, kann anhand der jüngsten Einsätze beispielhaft belegt werden.

Beispiel: Archäologische Kampagne am Arendsee

Der Arendsee liegt mit der gleichnamigen Gemeinde in der Altmark an der nordwestlichen Landesgrenze Sachsen-Anhalts zum niedersächsischen Wendland. Menschliche Aktivitäten sind im Umfeld des Arendsees schon seit der mittleren Steinzeit belegt. Ein Benediktinerkloster wurde westlich der heutigen Stadt 1283 durch Otto I. von Brandenburg gegründet. Der buchtenlose, ovale See bedeckt bei einer Ost-West-Ausdehnung von ca. 3,5 km und einer Nord-Süd-Ausdehnung von etwa 2 km eine Fläche von etwa 514 ha. Mit einer durchschnittlichen Tiefe von ca. 29 m gehört er zu den tiefsten Binnengewässern Deutschlands.

Die Entstehungsgeschichte des Sees ist bemerkenswert. Unter dem Gebiet befindet sich ein Salzstock, der teilweise durch von oben einsickerndes Wasser gelöst wurde. Die dadurch entstandenen Hohlräume sind in mehreren Phasen vermutlich über tausende von Jahren eingebrochen und bildeten oberirdisch den See. In einer alten Chronik (fränkische Annalen) wird von einem Landfall im Jahr 822 berichtet, der die Seefläche dramatisch vergrößerte. Für 1685 ist ein zweites Ereignis überliefert, bei dem am Südostrand des Sees ein Hügel samt Windmühle und etwa 20 ha Land im Wasser versanken. Dass dies keine Legenden sind, bewiesen bereits in den 1980er Jahren Taucher, die zwei Mühlsteine bergen konnten.

Das Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt vermutet in dem See weitere Fragmente aus dieser frühen Zeit, die sich unter

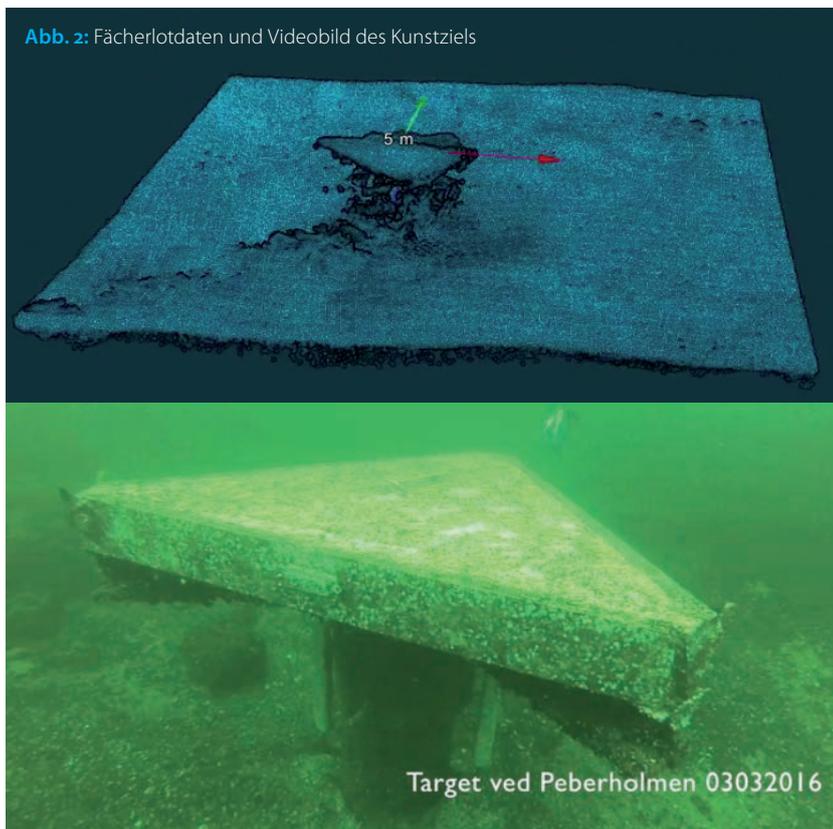


Bild: Flex-Survey.com App

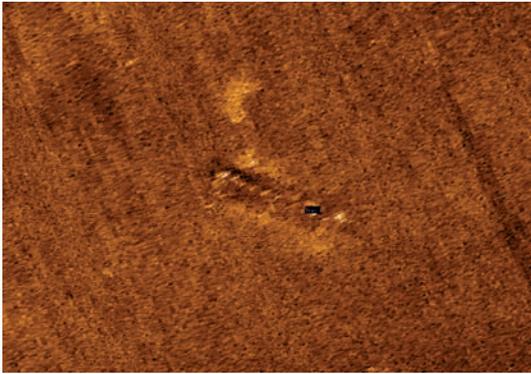


Abb. 3: Mittelalterlicher Prahm in LF-Auflösung (oben) und in HF-Auflösung (unten)

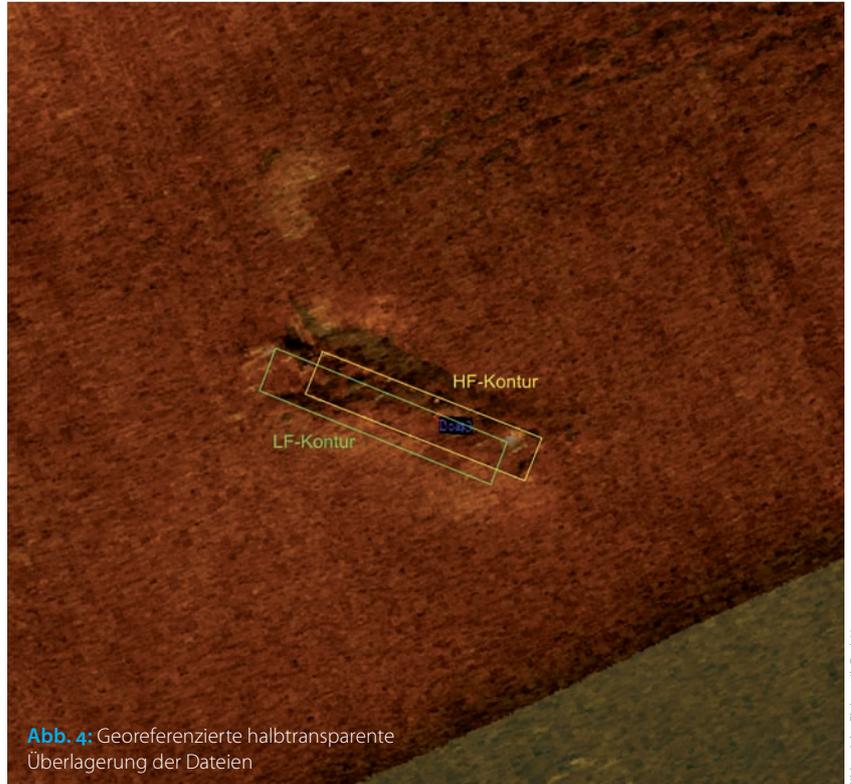


Abb. 4: Georeferenzierte halbtransparente Überlagerung der Dateien

Bilder: Atlas Elektronik GmbH

Luftabschluss und ohne menschliches Eingreifen am Seeboden erhalten haben könnten. In Kooperation mit Atlas Elektronik wurde eine erste hydrographische Untersuchung geplant, um den Seeboden zumindest stichprobenartig zu kartografieren.

Die Basisstation für SeaCat wurde an einem Bootsanleger in einem Transporter eingerichtet. Das Einsetzen des AUVs erfolgte mittels Rollwagen über einen seichten Strandabschnitt. In einer fünfeinhalbstündigen Mission mit 4 Knoten Fahrtgeschwindigkeit (ca. 7 km/h) konnte der See vollständig mit dem Seitensichtsonar im Niederfrequenzbereich (LF – 230 kHz) erfasst werden. In späteren Einsätzen wurden weitere Side-Scan-Aufnahmen im Hochfrequenzbereich (HF – 850 kHz) sowie Fächerlotdaten aufgezeichnet.

Tatsächlich konnten einige Spuren der Vergangenheit gefunden werden. Neben einer Reihe von Schiffswracks wurden Fundamente alter Bauwerke sowie ehemalige Wege entdeckt. Aus geologischer Sicht konnten mehrere Bruchphasen nachvollzogen werden. In den ältesten Teilen des Sees befinden sich offensichtlich ein Einbaum und möglicherweise Fischzäune.

Ein gut erkennbares Wrack scheint ein Prahm zu sein, vermutlich aus dem 16. Jahrhundert. Die Reste dieser ehemals schwimmenden Arbeitsplattform sind sehr gut in den HF-Daten zu sehen, aber auch in den LF-Daten (Abb. 3). Sie wurden an verschiedenen Tagen aufgenommen und zeigen in der Überlagerung die Wiederholbarkeit der Messung (Abb. 4). Da es in dieser ersten Stichprobe nicht um höchste Genauigkeit ging, wurde die initiale GNSS-Position nur mit einfacher EGNOS-basierter Korrektur ermittelt. EGNOS – European

Geostationary Navigation Overlay Service – verbessert die Genauigkeit von GNSS von typischen 10 bis 20 m auf 0,5 bis 3 m. Der leicht erkennbare Versatz fällt exakt in diesen Bereich und ist mit den verschiedenen Positionsfehlern beim Missionsstart zu begründen.

Beispiel: Seekabelvermessung

Im September dieses Jahres wurde in einer Kooperation der schwedischen Firma Clinton Marine Survey mit Atlas Maridan ein Auftrag im Oslofjord nahe Horten durchgeführt. Ziel war es, die Lage und den Zustand einiger Stromkabel festzustellen, die leicht S-förmig über eine Strecke von etwa 12 km quer durch den Fjord gelegt sind. Die Topografie des Gebietes ist anspruchsvoll: von Asgardstrand fällt der Seeboden innerhalb von 500 m auf etwa 40 m Tiefe ab. Das Kabel ist so verlegt, dass die erste Hälfte auf 40 bis 60 m liegt. Direkt unter der Hauptfahrrinne fällt das Kabel dann auf bis zu 200 m Tiefe ab, um, nachdem noch ein etwa 150 m hoher Unter-Wasser-Hügel überquert wird, innerhalb von 500 m von 150 m Tiefe nördlich des Evjesunds an Land zu führen. Eine glatte Bodenoberfläche ist kaum zu finden.

Der Survey wurde in zehn Teilstrecken durchgeführt, davon fünf mit großem Bodenabstand (12 m), um eine gute Flächenabdeckung mit dem Fächerlot zu erhalten, und fünf Abschnitte dichter am Boden (5 m), um detailliertere Bilder mit Seitensichtsonar, Fächerlot und Kamera zu erhalten. In Summe ist eine Strecke von ca. 100 km erfasst worden. Wegen schlechten Wetters und Umrüstzeiten zu Beginn der Arbeitsperiode von sechs Tagen sind etwa 75 % der Daten in den letzten zwei Tagen gemessen worden.

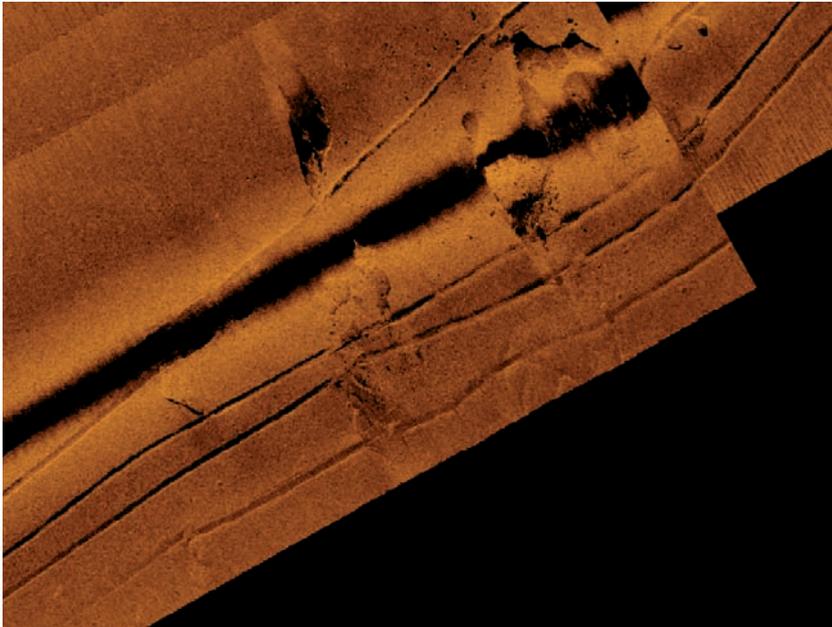


Bild: Atlas Meridian APS

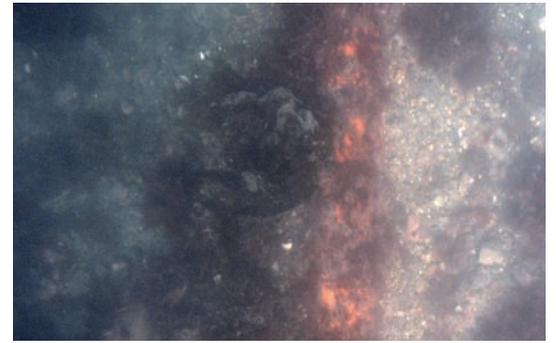


Abb. 6: Videobild eines Kabelstückes. Die UUV-Kamera arbeitet mit Einzelbildern, die etwa mit 5 Hz aufgenommen werden

Abb. 5: Überlappende Streifen des Seitensicht-Sonars mit etwa 100 m Breite zeigen die Qualität der Navigation. Die Gräben der Kabel schließen nahtlos an. Der leichte Versatz (Mitte, links) entsteht durch den noch nicht korrigierten Nadir-Gap. Als Nadir-Gap bezeichnet man die Datenlücke direkt unterhalb des Sonars, deren Breite mit größerem Bodenabstand zunimmt

Abb. 5 zeigt einen Screenshot von der Datenkontrolle vor Ort. Dabei handelt es sich um unbearbeitete Daten, die aber schon einen Eindruck von der Qualität geben. Im Side-Scan-Bild sind die Gräben, in denen die Kabel geführt werden, gut zu erkennen. Man sieht rechts oben deutlich, wie gut die zu verschiedenen Zeiten gemessenen Daten zusammenpassen. Dabei wurden hier die Navigationsdaten noch nicht nachprozessiert. Das Kabel selbst ist in den Videodaten (**Abb. 6**) gut zu erkennen. Leider ließen die überwiegend schlechten Sichtbedingungen keine vollständige Videoerfassung zu, sodass auf die Multibeam-Daten zurückgegriffen werden musste.

Die nahe Zukunft: Synthetic Aperture Sonar (SAS)

Das klassische Seitensichtsonar ist in vielen Fällen die erste Wahl, wenn es um Sensoren für die Ob-

jektsuche geht. Die Länge der Antenne (Apertur) ist proportional zu dem horizontalen Winkel, in dem der Sonarstrahl gebündelt wird. Je länger die Antenne, desto schärfer die Bilder. Ein anderer bestimmender Faktor ist die Frequenz. Je niedriger, desto breiter der Winkel und umso unschärfer die Daten bei großer Entfernung. Andererseits ist die Dämpfung der Schallwellen mit niedriger Frequenz geringer, sodass größere Reichweiten möglich sind.

Im praktischen Betrieb ist z. B. das im SeaCat verwendete Edgetech 2205 Dual-Frequency-Sonar im LF-Betrieb bis zu einer Suchbreite von 240 m zu betreiben, während im HF-Modus 120 m sinnvoll sind. Der Detailverlust ist in **Abb. 3** gut zu erkennen. Für eine Sondierung ist die niedrige Frequenz gut nutzbar; Funde sollten aber durch eine zweite Mission mit hoher Frequenz bestätigt werden.



Abb. 7: Atlas SeaCat mit eingerüstetem Synthetic Aperture Sonar

Bild: Atlas Elektronik GmbH



Abb. 8: SAS-Bild mit breitem Gap (links). Die im Bild dargestellte Reichweite beträgt 80 m

Bilder: Atlas Elektronik GmbH

Um bei niedriger Frequenz und relativ großer Reichweite zu einer hohen Auflösung zu kommen, können mathematische Verfahren eingesetzt werden, die es ermöglichen, eine künstliche (synthetische) Apertur zu berechnen. Damit kann die Auflösung auf bis zu $2,5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$ unabhängig von der Reichweite gesteigert werden. Derartige Sonare werden derzeit unter anderem von der kanadischen Firma Kraken oder dem norwegischen Unternehmen Kongsberg am Markt angeboten. Atlas Elektronik hat ein Kraken-Sonar zu Versuchszwecken mit dem AUV SeaCat kombiniert (Abb. 7), um praktische Erfahrungen mit dem System zu gewinnen.

Ende September 2019 konnten in der Ostsee erste SAS-Bilder in relevanter Umgebung aufgenommen werden. Die begrenzte Wassertiefe ließ zu jeder Fahrzeugseite Reichweiten bis zu 80 m zu. Abb. 8 zeigt ein Beispiel der SAS-Daten, das Steine, Sandrippel und Kiesfelder wiedergibt. Eine normale Bildschirmauflösung gibt den Detailreichtum der Bilder nicht wieder, sodass problemlos interessante Bereiche vergrößert werden können (Abb. 9). Der Betrachter hat den Eindruck, es würde fast jeder einzelne Kieselstein wiedergegeben. Ein Nachteil des Synthetic Aperture Sonars ist es, dass eine relativ breite Lücke existiert, in der das SAS-Processing nicht genug Daten von sich überlappenden, aufeinanderfolgenden Messwerten hat. Diese Lücke kann durch eine geschickte Planung der Wegstrecken über benachbarte Tracks abgedeckt werden, oder man nutzt das klassische Side-Scan-Bild im Nahbereich, was aber dann immer noch einen Nadir-Gap direkt senkrecht unter dem AUV besitzt.

Zusammenfassung

In der knapp 20-jährigen Entwicklungsgeschichte von autonomen Unter-Wasser-Fahrzeugen in Deutschland ist lange Zeit der Schwerpunkt darauf gelegt worden, das Fahrzeug als solches ein-



Abb. 9: Die Vergrößerung eines Ausschnittes zeigt den Detailreichtum trotz großer Entfernung

satzbereit und zuverlässig zu machen. Erst in den letzten Jahren, mit zunehmender Betriebssicherheit und vermehrten Einsätzen mit potenziellen Anwendern wurde auch der Sensor- und Navigationsaspekt intensiver betrachtet.

Mit dem hybriden AUV SeaCat steht nun ein System zur Verfügung, das umfangreiche Umweltqualifizierungen und Softwaretests durchlaufen hat. Die Sensoren sind durchweg kalibriert und Daten lassen sich in gängige Formate konvertieren. Die Navigationsgenauigkeit ist für viele Zwecke mehr als ausreichend und kann durch externe Stützung noch erhöht werden.

Neben der Möglichkeit, dieses leistungsstarke Produkt für unterschiedlichste Anwendungen erwerben zu können, stehen Interessenten zwei solche Systeme nebst Crew bei der dänischen Atlas Maridan für eine Anmietung zur Verfügung. Über diese können ohne großen finanziellen Aufwand Anwendungen getestet werden, um so Vertrauen in die mittlerweile gereifte Technologie zu gewinnen. //