

Autonome Unterwasserfahrzeuge mit SAS-Technologie

Neue Möglichkeiten in der zivilen und militärischen Anwendung

Ein Beitrag von Uwe Frenz

Autonome Unterwasserfahrzeuge (AUV) sind bereits weltweit bei verschiedenen militärischen, aber auch zivilen Anwendungen im Einsatz, vornehmlich bei der Minensuche und Pipeline-Inspektion. In Kombination mit anderen Sensoren wie einem Multibeam und SAS-Sonar (Synthetic Aperture Sonar) kann der Gewässerboden in bislang

Autonomes Unterwasserfahrzeug | AUV | Synthetic Aperture Sonar | SAS Apertursonar | HISAS | Pipeline-Inspektion | Munitionssuche | HUGIN | EM 2040

Seit über 15 Jahren entwickelt und fertigt Kongsberg Maritime AUV-Systeme für die kommerzielle und militärische Anwendung. Die Entwicklung und Fertigung umfasst dabei das Fahrzeug selbst sowie die zugehörige Schlüsselsensorik wie HISAS, Multibeam und Kameras. Hierneben sind weitere Sensoren sowie Effektoren Bestandteil der Systeme, die in ihrer Kombination ein weites Einsatzspektrum der unbemannten Unterwasserfahrzeuge eröffnen. Mehr als 30 AUV-Systeme wurden bisher ausgeliefert und 25 dieser Systeme befinden sich im zivilen und militärischen Einsatz.

Im kommerziellen Bereich werden beispielsweise Pipeline-Inspektionen, hydrographische Kartierungen des Meeresbodens und Umweltdatenerfassungen durchgeführt. Besondere Bedeutung gewinnen dabei auch hier immer mehr hochauflösende und präzise Sensoren wie Multibeam und SAS-Sonar.

Für die militärische Anwendung sind besonders die Fähigkeiten des SAS-Sonars HISAS 1030 für die Minensuche und Aufklärung von Bedeutung. Zehn AUV-Systeme vom Typ HUGIN 1000 wurden bereits an verschiedene Marinen geliefert (Norwegen, Finnland, Italien), wo sie bei der Minenbekämpfung eingesetzt sind.

In Deutschland betreibt die WDT 71 (Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen der Bundeswehr, Seetechnologie und Forschung) seit 2010 ein autonomes Unterwasserfahrzeug vom Typ HUGIN 1000 MR mit HISAS 1030-Sonar für militärisch-wissenschaftliche Zwecke.

AUV – Autonomous Underwater Vehicle

AUV-Systeme sind bereits heute für die stetig wachsende Offshore-Industrie unverzichtbar geworden. Diese Systeme erforschen, erkunden, vermessen und kartographieren hydrographisch den Meeresboden und erfassen die Unterwasser-Umweltdaten, um Offshore-Installationen vorzubereiten und später auch zu überwachen. AUVs überwachen und inspizieren Öl-, Gas- und Kommunikationsleitungen, Kabeltrassen oder Pipelines in großen Wassertiefen und suchen den Meeresboden nach gefährlichen Altlasten ab. Ein großes

Problem stellt die Vielzahl an Altlasten des Zweiten Weltkriegs in Form von nicht explodierter Munition dar, die sich bis heute auf den Meeresböden in Nord- und Ostsee befinden. Waren bislang von Altlasten vor allem Fischer betroffen, denen immer wieder Munition ins Netz gegangen ist, so muss sich heute insbesondere die Offshore-Branche, aber auch vermehrt der Tourismus mit Altlasten auf dem Meeresgrund auseinandersetzen.

Unterwasser-Pipelines sind kritische Infrastrukturkomponenten für die Öl- und Gasindustrie. Sie sind eine hohe Investition und so teuer, dass es oft wenig oder gar keine Redundanz für den Störfall gibt. Insofern sind die Inspektion und Wartung sehr wichtig, um sicherzustellen, dass Öl und Gas auch weiter fließen.

Ein AUV muss bei einer Pipeline-Inspektion autonom viele Aufgaben erfüllen, die bisher von einem ROV-Operator durchgeführt wurden. Dies umfasst die tatsächliche Erkennung und Verfolgung der Pipeline aus den Sensordaten und die optimale Positionierung der Sensoren relativ zur Pipeline. Die Technologie ist längst vorhanden, und so konnte Kongsberg eine Lösung entwickeln, die eine autonome Inspektion von Unterwasser-Pipelines mit relativ hoher Geschwindigkeit ermöglicht.

Ein wesentlicher Aspekt des Einsatzes von AUVs für bestimmte Aufgaben ist auch das wirtschaftlichere Kosten-Nutzen-Verhältnis bei der Kombination einer Trägerplattform mit einem AUV gegenüber einem nur für diesen Zweck eingesetzten Schiff. Darüber hinaus kann ein AUV verdeckt operieren (wichtiger militärischer Aspekt), der Sensor kann – im Gegensatz zu Hull-mounted-Systemen – unter optimierten Bedingungen eingesetzt werden (verbesserte Datenqualität) und die Trägerplattform kann während der Erkundung andere Aufgaben wahrnehmen, sofern entsprechende operative Gegebenheiten vorliegen.

SAS – Synthetic Aperture Sonar

Synthetische Apertursonare kombinieren eine Reihe von akustischen Pings, um ein Bild mit sehr viel höherer Auflösung als herkömmliche Sonare zu generieren – in der Regel zehnmal höher. Das

unerreichter Detailtiefe untersucht werden. Die Erkenntnisse aus verschiedenen Studien, sowie erste Praxiserfahrungen werden vorgestellt. Spektakuläre Bilder zeigen die Leistungsfähigkeit.

Autor

Uwe Frenz ist Geschäftsführer der Kongsberg Maritime GmbH in Hamburg

Kontakt unter:

uwe.frenz@kongsberg.com

Prinzip der synthetischen Apertursonare ist es, eine Sonarantenne entlang einer Linie zu bewegen und die gleiche Stelle auf dem Meeresboden mit mehreren Pings zu beleuchten. Dies erzeugt ein synthetisches Array gleich der zurückgelegten Strecke. Durch kohärente Neuordnung der Daten aus allen Pings wird ein synthetisches Bild mit verbesserter Längsauflösung produziert. Im Gegensatz zum herkömmlichen Side-Scan-Sonar, bietet SAS eine bereichsunabhängige Längsauflösung, sodass auch bei maximaler Reichweite die Auflösung um Längen besser ist als die von konventionellen Side-Scan-Sonaren. Beim Kongsberg HISAS 1030 werden z. B. Reichweiten von über 300 m zu jeder Seite erreicht und dies mit einer konstanten Auflösung von weniger als 4×4 cm über die gesamte Fläche.

Das Erreichen solcher Genauigkeiten mittels einer virtuellen Antenne setzt allerdings eine stabile Plattform (z. B. ein AUV) mit Doppler-Velocity-gestützter Trägheitsnavigation zur Kompensation der Richtungs- und Bewegungsdaten voraus. Dies macht die Anwendung der im Grunde simplen Theorie in der Praxis außerordentlich komplex und erfordert kostenintensive Navigationssysteme für das AUV.

Ein weiteres »Nebenprodukt« des HISAS 1030 ist seine »Full-swath bathymetry«-Fähigkeit für die Kartographie, 3D-Darstellung und Multi-Aspekt-Imagery zur Betrachtung von Objekten im Raum.

Erfahrungen der WTD 71 mit dem HUGIN 1000 MR und HISAS

Um die Leistungsfähigkeit des HISAS-Sonars zu prüfen, wurden von der WTD 71 mehrere Forschungsfahrten mit dem HUGIN 1000 MR (Abb. 1) unternommen, die sowohl in die Nordsee als auch in die Ostsee führten. Dabei wurden neben den Untersuchungen zu allgemeinen Leistungsdaten im Flachwasser auch Fahrten in den tiefen Gewässern des Skagerraks durchgeführt. Nur dort ließ sich die eigentliche Sonarperformance bestimmen, da der Sensor weitgehend von Beeinträchtigungen durch Mehrwege-Ausbreitungseffekte und störende Sprungschichten in der Wassersäule entkoppelt war. Reichweiten von über 300 m zu jeder Seite wurden erreicht, und dies vollflächig mit einer Auflösung, die im Zentimeterbereich liegt.

Des Weiteren wurden vor Helgoland auch Versuche durchgeführt, die das Verhalten des Fahrzeugs bei starker Querströmung näher beleuchten und insbesondere auch den Einfluss eines aus der Querströmung resultierenden Vorhaltewinkels auf die Datenqualität des Sonars bestimmen sollten. Bei diesen Versuchen traten Vorhaltewinkel von über 30° auf, die das Sonarsystem an seine Grenzen brachten. Im Anschluss an diese Versuche ist es aber gelungen, die Weiterverarbeitung der Sonardaten so zu verbessern, dass selbst unter solch extremen Einsatzbedingungen auswertbare Ergebnisse erzielt werden können. Neben den Erkenntnissen im Bereich SAS konnten noch weitere Erfahrungen gesammelt werden. Dazu gehörten Aspekte der Unterwasserkommunikation, der Funkverbindungen (UHF/WLAN) mit nur wenig aus dem Wasser ragenden Antennen, der Hindernisvermeidung mit dem integrierten vorausschauenden Sonar (FLS/Obstacle avoidance), der Zuverlässigkeit des verwendeten AUV und der Grenzbedingungen des AUV-Einsatzes.

In Zusammenarbeit mit der Marine wurden auf dem Minenjagd-Boot »Weilheim« (Abb. 2) auch Erkenntnisse für den praktischen operationellen Betrieb gewonnen. Zur modularen, flexiblen Einrüstung und Nutzung des AUV-Systems auf verschiedenen Schiffen kann das HUGIN-Gesamtsystem inklusive Ausrüstung in zwei Standardcontainer (20 und 10 Fuß) integriert werden, die für den Transport über Land, Luft oder See geeignet und zugelassen sind. An Bord der Schiffe werden nur ein Stellbereich für zwei Container und ein entsprechender Stromanschluss benötigt. Zur AUV-Ausrüstung gehört auch eine spezielle Aussetz- bzw. Bergeeinrichtung (L&R) am Heck der Schiffe. Damit kann das AUV auch bei rauer See und einer Schiffsgeschwindigkeit von 2 bis 3 Knoten ausgebracht bzw. eingeholt werden.

Im Laufe der Versuche (Beispiele für gelungene Sonarbilder zeigen Abb. 3 und 4) kristallisierte sich mehr und mehr heraus, dass die nur sehr schwer abschätzbaren Sonarbereichsbedingungen in Flachwassergebieten ein Schwachpunkt für die aktuelle Missionsplanung mit dem Ziel, eine lücken-

Abb. 1: HUGIN 1000 MR im Einsatz bei der WTD 71 in Eckernförde

Abb. 2: HUGIN auf dem Achterdeck des MJB »Weilheim« der deutschen Marine



Foto: WTD 71



Foto: Kongsberg Maritime

lose Flächensuche zu erreichen, sind. Bei guten Ausbreitungsbedingungen kann der seitliche Abstand zweier benachbarter Bahnen des AUV deutlich größer gewählt werden als bei schlechten. Erfahrungen zeigen, dass bei guten Bedingungen ein Verhältnis zwischen der Höhe über Grund und der verwertbaren Sonarreichweite von 1:10 erreicht wird. Konkret heißt das, dass ein AUV, welches mit einem Abstand von 10 m über dem Meeresboden fährt, im günstigsten Fall 150 m Sonarreichweite zu jeder Seite erreichen kann (HISAS-Zentralfrequenz 100 kHz). Unter schlechten Bedingungen kann sich dieser Wert aber auch auf weniger als die Hälfte verringern. Leider sind die Bedingungen (besonders in der Ostsee) sowohl zeitlich als auch räumlich sehr variabel. Es hat sich gezeigt, dass eine punktuelle Messung der Sonarbedingungen nicht ausreicht, um Aussagen für ein größeres Gebiet treffen zu können, da sowohl die Rauigkeit der Meeresoberfläche, die Inhomogenität der Wassersäule als auch die Beschaffenheit des Meeresbodens eine Rolle spielen. Um zuverlässige Ergebnisse im Sinne einer sicheren Minenerkennung und -klassifizierung zu generieren, bleibt nur der Weg, die entsprechenden Daten während der Mission fortlaufend zu ermitteln und den Missionsplan Schritt für Schritt automatisch anzupassen (In-mission SAS).

Vorführung eines AUV-Systems mit Echtzeit-SAS und ATR

Im Oktober 2012 hat das norwegische Forschungsinstitut FFI mit der Unterstützung durch die norwegische Marine (RNoN) und Kongsberg Maritime an einem Experiment teilgenommen, welches vom NATO Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE) nahe Elba, Italien, geleitet wurde. Ein Prototyp der neuen HISAS-Generation wurde während des »Autonomous Reactive Intelligence Sea Experiments« (ARISE) 2012 vom Forschungsschiff FS »Alliance« des CMRE bedient.

Das Forschungsinstitut CMRE entwickelt und evaluiert Technologien für den Einsatz durch die NATO-Nationen in der Seemwelt. Zielsetzung des ARISE12-Experiments war die Verifikation und Evaluation fortschrittlicher Autonomiekonzepte für AUVs unter realistischen Minenjagd-Bedingungen, inklusive einer Anzahl an Tests, in welchen AUVs Missionen dynamisch umplanen und auf die lokalen Umweltbedingungen adaptieren mussten.

Um In-Mission-Adaption zu ermöglichen, beinhaltet das neue HUGIN-System Hard- und Software für Echtzeit-SAS-Auswertung, automatisierte Zielerfassung in Echtzeit (ATR) basierend auf den SAS-Daten und In-Mission-Umplanung für das Überfahren von automatisch klassifizierten minenähnlichen Zielen für ihre Identifikation unter Nutzung einer optischen Kamera oder anderer Sensoren.

Das erweiterte HISAS-System errechnet die Sonar-Performance in Echtzeit, welche genutzt wird, um automatisch eine Änderung der Linienabstände in Schnitte zu rastern, die zur maximalen Abdeckung ohne Lücken führt.

In einer Einzelmission wurde ein vordefiniertes Suchraster in einem Areal mit verschiedenen platzierten Anwendungszielen vom AUV abgearbeitet. Die aufgezeichneten HISAS-Daten wurde während der Mission aufbereitet und das Ergebnis an das SITAR-ATR-Modul übergeben. Basierend auf den automatisch erkannten und klassifizierten Zielen wurde ein erweiterter Missionsplan für Electro-Optical Identification (EOID) kalkuliert. Im Anschluss tauchte das Fahrzeug auf und sendete eine Zielliste und den neu berechneten Missionsplan an den Operator, um diesem die Prüfung des EOID-Plans zu ermöglichen. Nachdem der Plan vom Operator bestätigt wurde, tauchte das AUV wieder ab, aktivierte das Kamerasystem und nahm eine Serie von Einzelbildern der klassifizierten Ziele auf. Nach Abschluss der Mission waren sofort alle Daten in-

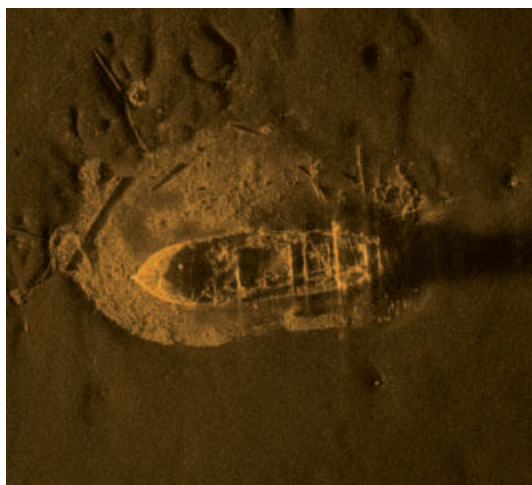


Abb. 3: Das HISAS-Sonarbild (MJB »Weilheim«) zeigt einen gesunkenen Fischkutter bei Rügen

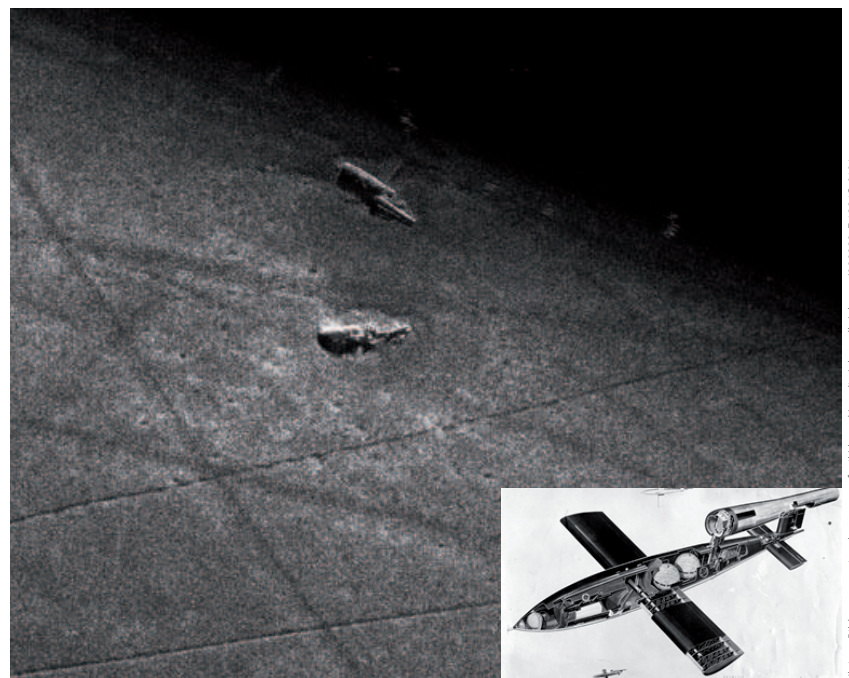


Abb. 4: Das HISAS-Sonarbild (MJB »Weilheim«) zeigt zwei deutsche V1-Raketen aus dem Zweiten Weltkrieg, gefunden in der Flensburger Förde

Kleines Bild: www.nationalmuseum.af.mil/sharecf/media/photos/090928-F12345-010.jpg



klusive der bildlichen SAS-Darstellung und Kameraaufnahmen zum Download vom AUV verfügbar.

Mit den genannten Funktionen im Fahrzeug, kann HUGIN die Detektion, Klassifikation und Identifikation während einer einzelnen Mission durchführen. Diese Funktionalität bietet wesentliche Zeitersparnis bei Maßnahmen zur Minenbekämpfung (MCM).

Diese Echtzeit-SAS-Fähigkeit mit ATR wurde 2013 auf dem HUGIN 1000 MR der WTD 71 nachgerüstet.

Suche nach Munitionsaltlasten in der Kolberger Heide (Ostsee)

Die theoretischen und praktischen Erkenntnisse über die Leistungsfähigkeit der neuen Technologien konnten bereits in einer Zusammenarbeit zwischen der Marine, der WTD 71 und der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ein-drucksvoll unter Beweis gestellt werden.

Ein besonderes Problem stellt die Vielzahl an Altlasten des Zweiten Weltkriegs in Form von nicht explodierter Munition dar, die sich bis heute auf den Meeresböden in Nord- und Ostsee befinden (Abb. 5 und 6). Allein in deutschen Hoheitsgewässern werden mindestens 1,6 Mio. Tonnen konventionelle und weitere 5000 Tonnen chemische Kampfmittel vermutet.

Um weitere Erkenntnisse bezüglich Lage und Ausdehnung der Altlasten zu gewinnen, wurde

die WTD 71 im Rahmen eines Amtshilfeersuchens der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) Kiel Anfang 2012 beauftragt, mit ihrem HUGIN 1000 MR ein Seegebiet am Eingang der Kieler Förde (Kolberger Heide) nach Bomben, Minen, Torpedos und weiterer Munition abzusuchen. Hauptsensor bei der Suche war das hochauflösende Sonarsystem HISAS 1030.

Bei diesem Einsatz im Frühjahr 2012 wurde ein ca. 25 km² großes Gebiet abgesucht, in dem über 6600 munitionsartige Objekte gefunden werden konnten (Abb. 7). Trotz des hohen Auflösungsvermögens des eingesetzten Sonars, ist die Detektion und Klassifikation von Objekten nicht immer einfach. In vielen Bereichen der Kolberger Heide ist der Boden übersät mit Felsbrocken und Steinen, die im Laufe der letzten Eiszeit liegengelassen sind. Da auch sie, genauso wie die gesuchten Objekte, glatte Kanten besitzen, fällt die Abwägung bei der Klassifikation nicht immer leicht. Erschwerend kommt hinzu, dass das Spektrum der gesuchten Objekte sehr groß ist und von kleinen Munitionskisten bis hin zu großen Torpedos reicht.

Auch für die Zukunft ist eine weitere enge wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit zwischen der WTD 71, dem Norwegischen FFI und Kongsberg Maritime für die Bereiche Verbesserung des Autonomieverhaltens sowie Optimierung bei der Hindernisvermeidung von AUVs vereinbart.

Abb. 5: Das HISAS-Sonarbild der WTD 71 zeigt ein Minenfeld mit ca. 70 Ankertaaminen aus dem Zweiten Weltkrieg in der Kolberger Heide

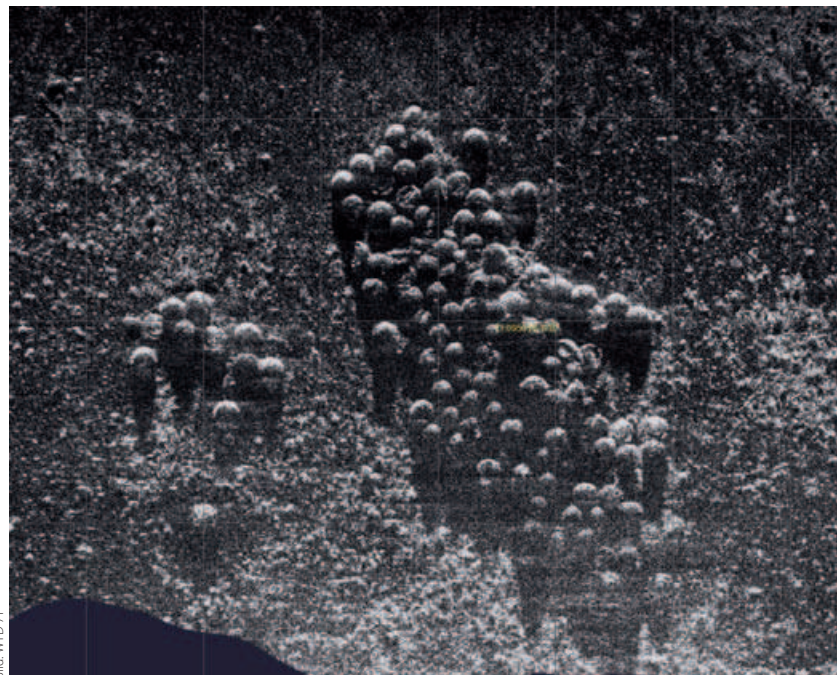


Bild: WTD 71

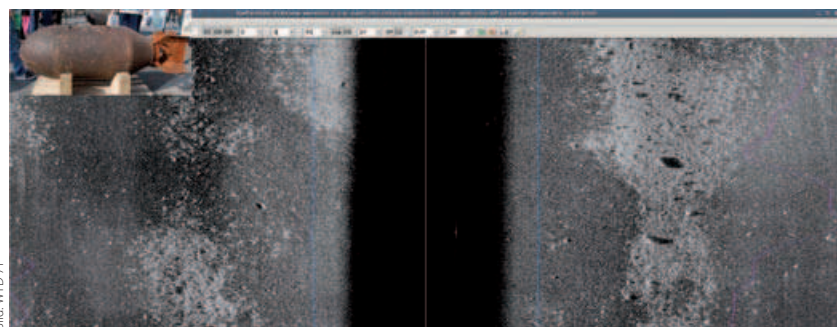


Bild: WTD 71

HUGIN im Offshore Einsatz – Pipeline-Inspektion

Eine Unterbrechung der Öl- und Gasströme kann erhebliche finanzielle und soziale Auswirkungen haben, ganz besonders gefährlich sind aber die ökologischen Folgen einer möglichen Leckage. Um ein größtes Maß an Sicherheit zu gewährleisten, werden Unterwasser-Pipelines deshalb auf einem sehr hohen Standard entworfen und gebaut und durch strenge sowie umfangreiche Kon-

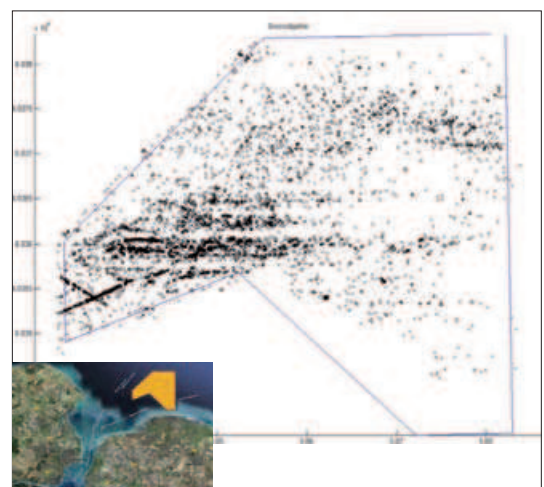


Bild: WTD 71; Kleines Bild: maps.google.de

Abb. 7: Der Kartenausschnitt für das Gebiet der Kolberger Heide zeigt Tausende von der WTD 71 klassifizierte Objekte

Abb. 6: Die Wasserfall-Darstellung zeigt eine HISAS-Munitionssuche der WTD 71 in der Ostsee

trollprogramme überwacht. Die Gefahren für eine Pipeline unterscheiden sich zum Teil wesentlich, je nach Lage und Wassertiefe.

Naturphänomene wie Wirbelstürme oder seismische Aktivität und Sedimentverschiebung sind ein zentrales Anliegen in einigen Teilen der Welt, während anderswo menschliche Aktivitäten wie Grundschleppnetzfisherei oder Verankerungen das größte Risiko für Rohrleitungen darstellen. Unabhängig von den lokalen Herausforderungen ist eine robuste, wirtschaftliche und effiziente Überwachung notwendig, um Pipelines auf einem hohen Standard zu halten.

Das Hauptanliegen eines Überwachungsprogramms variiert zwar mit dem Gefahrenszenario, die Inspektion beinhaltet aber typischerweise immer, Eingrabungstiefe, freitragende Länge, Ausbeulungen und jede Art von Beschädigung an der Pipeline festzustellen.

Neben dem Zustand der Pipeline selbst sind in der Regel auch Daten aus ihrer Umgebung von großem Interesse, wie z. B. Trümmer, oder Hinweise auf schädigende menschliche Aktivitäten. Diese vielfältigen Aufgaben werden am besten durch die Erfassung von Daten mit unterschiedlichen Sensoren – sowohl akustischen als auch optischen – gelöst.

Heute wird die Inspektion von Pipelines noch fast ausschließlich mit Schlepp oder Remote Operated Vehicles (ROV) durchgeführt. In den vergangenen Jahren hat Kongsberg Maritime aber ein Konzept und eine Technologie für den Einsatz von autonomen Unterwasserfahrzeugen für diese Aufgaben entwickelt und nachgewiesen. Der primäre Vorteil der Verwendung eines AUV für diese Aufgabe liegt in der wesentlich höheren Geschwindigkeit (typischerweise 4 bis 5 Knoten) im Vergleich zu 1 bis 2 Knoten für ein ROV. Zweitens können AUVs unabhängig operieren ohne Begleitung eines großen Überwasserschiffes. Drittens ermöglicht die größere Stabilität eines AUV die Erfassung von we-

sentlich besseren Daten wie z. B. von einem Synthetic Aperture Sonar (SAS). Der Umstieg auf AUVs für die Pipeline-Inspektion ist nicht leicht, ist aber vermehrt zu beobachten (z. B. bei Fugro).

Das Konzept für Multi-Sensor-AUV-Pipeline-Inspektion befindet sich bei Kongsberg Maritime seit 2009 mit unterschiedlichsten Szenarien im Feldtest und wurde mit einem »full-scale«-Test eines kompletten Systems im Juli 2012 in der Nordsee präsentiert.

Dazu wurde das HUGIN-AUV auf MV »Icebeam«, einem Schiff der schwedischen Firma Marin Mätteknik (MMT), installiert (Abb. 8). Zum Einsatz kam die »tragbare« Version des HUGIN-System in einem 20-Fuß-Container (mit integrierter Ein-/Aussetzvorrichtung) sowie einem separaten 10-Fuß-Container für Bedienung und Datenauswertung. Das System beinhaltete auch ein portables HiPAP-System für akustische Positionierung sowie ein Seapath-Navigationsystem, HF- und Satellitenverbindungen und die notwendige Wartungsausrüstung.

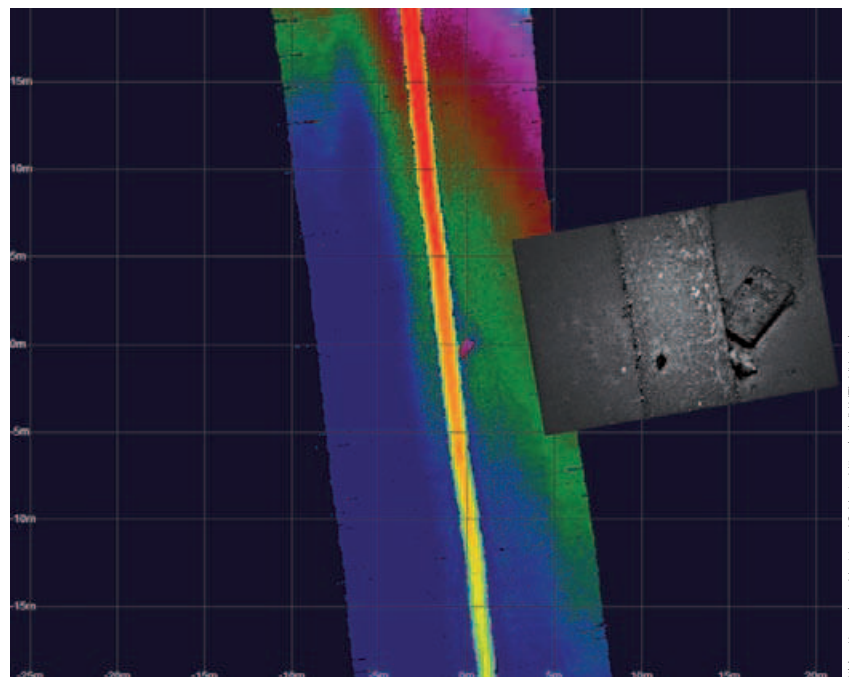
Das Komplettsystem konnte innerhalb eines Tages inklusive Seetest für die HiPAP-Kalibrierung auf MV »Icebeam« mobilisiert werden, was auch die Flexibilität für den kommerziellen Einsatz gezeigt hat. Danach folgte der Schiffstransit in das Operationsgebiet mit einer vierstündigen umfangreichen Test-Tauchfahrt des HUGIN. In den folgenden zwei



Abb. 8: MV »Icebeam« (Marin Mätteknik/MMT, Schweden) mit HUGIN-System

Foto: Kongsberg Maritime AS, Marin Mätteknik (MMT), MV »Icebeam«

Abb. 10: Pipeline-Aufnahme »free span« mit HUGIN EM 2040 auf MV »Icebeam«



Bilder: Kongsberg Maritime AS, Marin Mätteknik (MMT), MV »Icebeam«

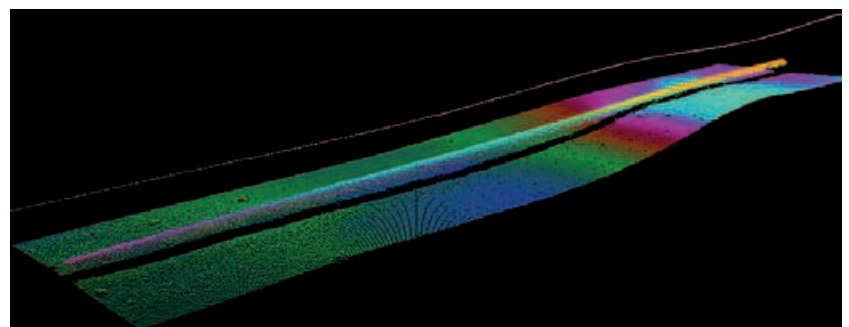


Abb. 9: Pipeline-Aufnahme eines Objekts mit HUGIN EM 2040 und Kamera auf MV »Icebeam«



Tagen wurden zwei Missionen mit je 13 Stunden Messung durchgeführt. Nach Rückkehr in den Hafen wurde das System innerhalb eines halben Tages wieder demobilisiert.

Hauptsensoren für die Pipeline-Inspektion mit dem HUGIN-AUV waren das interferometrische SAS HISAS 1030, das hochauflösende Multibeam EM 2040 sowie die digitale TileCam Still-Kamera für optische Aufnahmen.

In der ersten Mission erfasste und verfolgte HUGIN ohne Operator-Unterstützung die Pipeline kontinuierlich mit dem HISAS für ca. 7 Stunden, wobei ein Abschnitt von 49 km mit 4 Knoten Geschwindigkeit vermessen wurde (Abb. 9 und 10). Danach drehte HUGIN um und erfasste dieselbe Pipeline kontinuierlich mit dem Multibeam und der Kamera für ca. 4,5 Stunden auf einem Abschnitt von 30 km bei einer Geschwindigkeit von 3,8 Knoten und einer Flughöhe über dem Boden von 3,5 m (Abb. 11 und 12). Dabei wurden hervorragende Kameraaufnahmen gemacht (Abb. 13 und 14).

Verschiedene Einstellungen bezüglich AUV-Geschwindigkeit und Sensoren zur Optimierung der Multibeam-Überdeckung und der Pingdichte wur-

den während des Tests untersucht. Die Pingrate des EM 2040 lag bei mehr als 40 Hz, womit eine gleichmäßig verteilte Beschallung des Bodens von ca. 5 cm in Längs- und Querrichtung erreicht wurde, was mehr als genug für eine hochauflösende Inspektion ist. Die stabile Umgebung des AUV erlaubt es, praktisch jeden Ping und Beam für die DGM-Generierung zu benutzen und damit hochauflösende Grids mit Zellgrößen von 10 cm oder kleiner zu erstellen.

Die Analyse der Daten hat gezeigt, dass dieses Konzept enorme Einsparungen an Zeit und Kosten gegenüber den konventionellen Methoden der Pipeline-Inspektion ermöglicht.

Obwohl die Vorteile der Datenqualität sowie die Zeit- und Kostenersparnis auf der Hand liegen, wird es sicherlich noch einige Zeit dauern, bis sich diese neue Technologie bei der Pipeline-Inspektion durchsetzen wird. Die Akzeptanz für dieses neue Systemkonzept wächst kontinuierlich und es gibt sicherlich eine ganze Reihe von weiteren Anwendungsbereichen bei der Überwachung von Unterwasserstrukturen, besonders auch in der hydrographischen Vermessung. ⚓

Abb. 11: Pipeline-Aufnahme mit HUGIN-HISAS (links) und HISAS/EM 2040 kombiniert (rechts) auf MV »Icebeam«

Abb. 12 (rechts): Pipeline-Aufnahme mit HUGIN-HISAS auf MV »Icebeam«

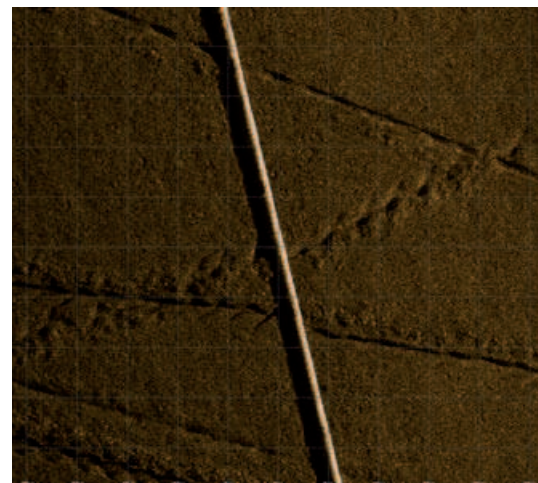
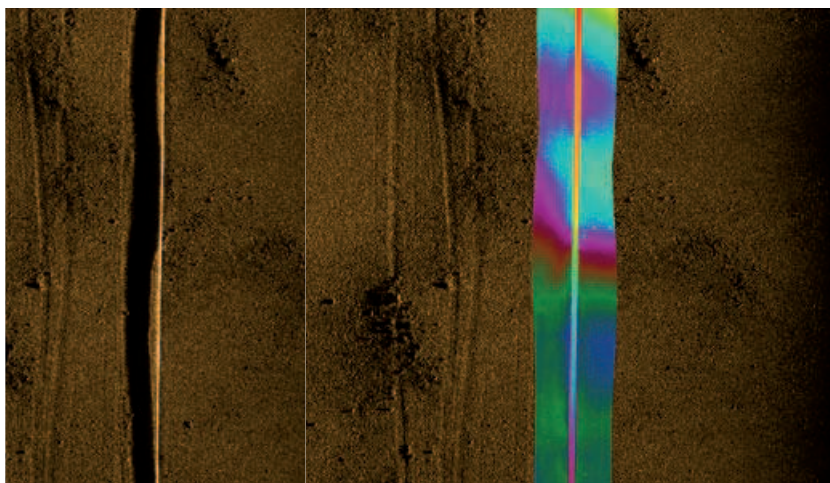


Abb. 13: Die Pipeline-Aufnahme mit der HUGIN-Kamera auf MV »Icebeam« zeigt einen Gartenstuhl

Abb. 14: Die Pipeline-Aufnahme mit der HUGIN-Kamera auf MV »Icebeam« zeigt eine Beschädigung der Ummantelung