

# AUV-basierte Magnetik

## Übersicht

Die Integration von Unterwassermagnetometern in die schwebefähigen Girona 500 AUVs des GEOMAR ermöglicht komplett autonome geomagnetische Untersuchungen des Seebodens. Die häufigste Anwendung dieses Systems ist die Detektion und Lokalisierung von Unterwassermunition (*Unexploded Ordnance/ UXO*). Das Spektrum der Anwendungen umfasst sowohl die Überwachung kritischer Infrastrukturen wie Seekabel, Pipelines und Häfen sowie andere wissenschaftliche Bereiche wie die Unterwasserarchäologie. Für die Identifizierung und Verifizierung von Funden ist das AUV zusätzlich mit einer hochauflösenden Kamera samt Ausleuchtung ausgestattet.

## AUV

AUVs (*Autonomous Underwater Vehicles*) arbeiten in der Regel außerhalb der Kontrolle von Piloten und führen vorprogrammierte Missionen durch. Sie navigieren autonom und bieten daher eine effiziente Methode zur Durchführung schneller und präziser Datenakquise. AUVs sind in der Regel vergleichsweise klein, leicht zu transportieren und unabhängig von ihrem Mutterschiff, das während des AUV-Einsatzes andere Aufgaben übernehmen kann. Im Vergleich zu schiffsgeschleppten Systemen bieten AUV-basierte Vermessungen darüber hinaus eine wesentlich höhere Navigationspräzision. Das GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel besitzt zwei schwebefähige AUVs vom Typ Girona 500 ("Anton" und "Luise"). Entwickelt wurden diese im „*Underwater Robotics Laboratory*“ der Universität Girona, Spanien. Sie können für verschiedene Arten von Meeresbodenuntersuchungen eingesetzt werden und hochspezialisierte Inspektions- und Interventionsaufgaben übernehmen. Die Schwebefähigkeit dieser AUVs ermöglicht es, eine feste Position beizubehalten oder bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten und Höhen präzise zu navigieren.

## Magnetometer

Bei den verwendeten Magnetometern handelt es sich um vier 3-Achs-Fluxgate-Magnetometer FGM3D/100 UW II der Firma *SENSYS GmbH*. Jedes Magnetometer nimmt Daten mit einer Abtastrate von 200 Hz auf, was einen Messpunktabstand von 2,5 mm in Fahrtrichtung bei einer Geschwindigkeit von 0,5 m/s ergibt. Die geometrische Anordnung ermöglicht die Messung aller drei räumlichen magnetischen Gradienten. Aus der Kombination dieser Gradienten kann das analytische 3D-Signal abgeleitet werden, ein Wert, der die Position und Umrisse der Magnetfeldanomalie bestimmt. Durch die starre Sensorhalterung an der Nase des AUV (siehe Abbildung 1) werden Fehler in der Objektlokalisierung, die bei geschleppten Systeme normalerweise auftauchen, reduziert.

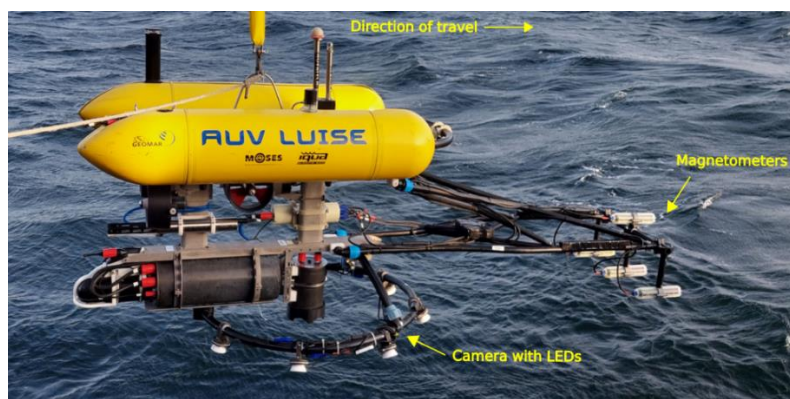


Figure 1: GEOMAR's Girona 500 AUV "Luise" mit vier tauchfähigen Magnetometern und einem Unterwasser-Kamerasystem.

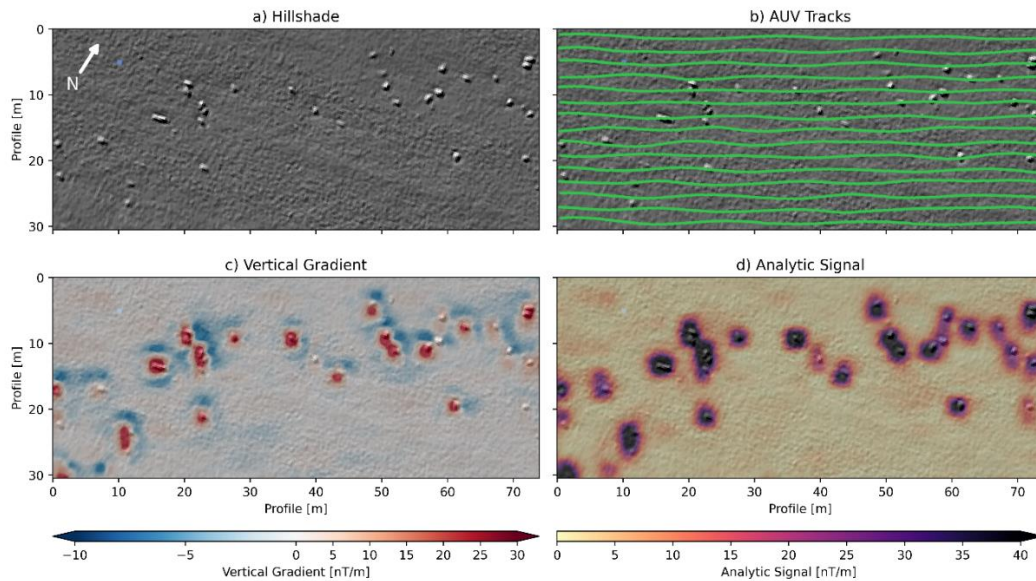


Figure 2: Bathymetrische, navigatorische und magnetische Daten einer AUV Mission in der Kolberger Heide vom Oktober 2021. (a) Hillshade-Derivat der Bathymetrie, (b) AUV Tracks mit 2 m Linienabstand, (c) vertikaler magnetischer Gradient und (d) analytisches Signal. Die bathymetrischen Daten wurden während einer früheren MBES-Vermessung erfasst.

## Exemplarische Ergebnisse

Bei AUV Missionen mit einem Linienabstand von 1-3 m können 2D-Kartierungen des Vermessungsgebietes berechnet werden. Abbildung 2 zeigt einen  $73 \times 31 \text{ m}^2$  großen Ausschnitt eines AUV-Einsatzes auf der Munitionsdeponie "Kolberger Heide" bei Kiel, Deutschland. Die in Abbildung 2a gezeigte Bathymetrie (genannt *Hillshade Derivat*) wurde während einer vorangegangenen Sonarvermessung (Multibeam Echosounder - MBES) erfasst. Die akustischen Daten zeigen Dutzende potenzieller UXO-Objekte unterschiedlicher Form und Größe auf dem Meeresboden. Während der magnetischen Vermessung erzeugten alle Objekte Signale in den Magnetometern (Abbildung 2c+d). Sehr wahrscheinlich handelt es sich bei allen Objekten um Munition. Abbildung 2b zeigt die AUV-Spurlinien (grün), die für die Berechnung der magnetischen 2D-Rasterdaten (Abbildung 2c+d) berücksichtigt wurden. Daten, die während der Wendemanöver am Ende einer jeden Linie aufgezeichnet wurden, wurden weggelassen, da sie in der Regel zu stark verrauscht sind. In diesem Beispiel betrug der Linienabstand der AUV Mission 2 m. Die Gesamtdauer der Mission für 16 Vermessungslinien von 80 m Länge bei 0,5 m/s (einschließlich Wendemanöver) betrug etwa 1 Stunde.

## CONMAR

Im Rahmen des CONMAR-Projekts werden (a) mögliche Ansätze zur Sanierung von Munitionsaltlasten untersucht und bewertet und (b) das wissenschaftliche Verständnis der Rolle und des Verbleibs mariner Munition in der Umwelt weiterentwickelt. Hierbei helfen AUV-gestützte magnetische Messungen, detaillierte Informationen über die Verteilung und den Zustand von Munition in deutschen Gewässern zu gewinnen. Im Gegensatz zu den meisten akustischen Methoden, die nur Objekte aufspüren können die auf dem Meeresboden liegen, können magnetische Messungen auch Objekte aufspüren, die einige Meter tief im Meeresboden vergraben sind.

## Weitere Informationen

Projekt SAM (Smart AUV-based Magnetics): <http://www.sam-project.eu>

Seidel, M., Frey, T. & Greinert, J. (2023) Underwater UXO detection using magnetometry on hovering AUVs. *Journal of Field Robotics*, 40, 848–861. <http://doi.org/10.1002/rob.22159>