

# HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Journal of Applied Hydrography

06/2024

HN 128

Munition im Meer



Accurate INX navigation

10 min deployment

USBL



High speed and manoeuvrability

DVL

Side Scan Sonar

200 / 680 kHz

swappable transducers

## MARVEL-SCAN

MARVEL-SCAN is the most compact AUV with side scan sonar and acoustic positioning.

Your new way to use AUVs.



### FEATURES

- » INX Navigation system
- » DVL
- » SEAPLAN Software
- » Embedded rechargeable batteries
- » SEACOMM
- » Field case and accessories
- » Acoustic positioning and communication module
- » Autonomous buoy with USBL unit and dual antenna GNSS-RTK module

### FURTHER INFORMATION



# Liebe Leserinnen und Leser,

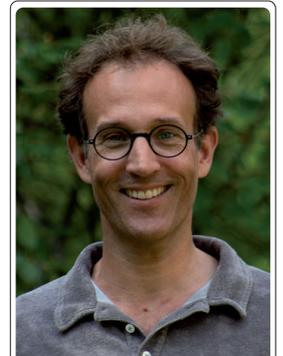
vor zehn Jahren wurde der *DHyG Student Excellence Award* zum ersten Mal vergeben. Mit ihm zeichnet die DHyG herausragende Abschlussarbeiten von Studierenden aus. In diesem Jahr geht der Preis an Annika Walter, die sich in ihrer Masterarbeit damit beschäftigt hat, wie sich aus Satellitendaten die Variationen der globalen Süßwasservorkommen bestimmen lassen. Der Zweitplatzierte, Ioannis Tsimpouxis, hat sich in seiner Masterarbeit mit der Ableitung von Tiefeninformationen aus frei verfügbaren Satellitenbilddaten am Beispiel zweier griechischer Inseln auseinandergesetzt. Die beiden Fachartikel finden Sie auf den ersten Seiten dieses Hefts.

Weiter geht es in dieser Ausgabe mit dem Schwerpunktthema »Munition im Meer«. Zur Einstimmung interviewen wir im Wissenschaftsgespräch Claus Böttcher, der im Jahr 2011 mit einer wegweisenden Veröffentlichung das Thema gesetzt hat. In den dann folgenden sechs Fachbeiträgen erfahren Sie etwas über die verschiedenen Methoden der UXO-Detektion, über die Fortschritte beim Monitoring, über das von der Bundesregierung einberufene »Sofortprogramm Munitionsaltlasten«, mit dem verschiedene Räum-

technologien getestet werden sollen, sowie über einen ersten konkreten Ansatz zur industriellen Räumung der versenkten Munition.

Längst beunruhigt die auf dem Meeresboden liegende Munition auch die Öffentlichkeit. Das lässt sich unter anderem daran erkennen, dass sich Schüler mit der Thematik befassen. Wie eingehend sich ein Gymnasiast in der zehnten Klasse mit der Frage auseinandergesetzt hat, lesen Sie im letzten Beitrag zum Schwerpunktthema. Wir veröffentlichen Auszüge aus einer Facharbeit, die mit dem Anerkennungspreis eines Schülerprojektwettbewerbs ausgezeichnet wurde. Zum Preis gehört auch ein Besuch bei der HYDRO 2024 in Rostock-Warnemünde. Vielleicht gelingt es mit solchen Aktionen, Nachwuchs für die Hydrographie zu begeistern.

Apropos HYDRO 2024: Das Konferenzteam hat soeben das Vortragsprogramm für die Veranstaltung im November veröffentlicht. Schauen Sie mal auf die Website ([www.hydro2024.com](http://www.hydro2024.com)). Ich bin sicher, das Programm mit ganzen 50 Vorträgen wird Sie überzeugen. Noch bis zum 31. Juli können Sie sich zum Frühbuche Preis für die Konferenz anmelden.



Lars Schiller

## Impressum

### Hydrographische Nachrichten HN 128 – Juni/Juli 2024

#### Journal of Applied Hydrography

Offizielles Organ der Deutschen Hydrographischen  
Gesellschaft – DHyG

#### Herausgeber:

Deutsche Hydrographische Gesellschaft e. V.  
c/o Innomar Technologie GmbH  
Schutower Ringstraße 4  
18069 Rostock

ISSN: 1866-9204

© 2024

**Chefredakteur:** Lars Schiller  
E-Mail: [lars.schiller@dhyg.de](mailto:lars.schiller@dhyg.de)

**Redaktion:** Peter Dugge, Dipl.-Ing.  
Horst Hecht, Dipl.-Met.  
Holger Klindt, Dipl.-Phys.  
Friederike Köpke, M.Sc.  
Dr. Jens Schneider von Deimling  
Stefan Steinmetz, Dipl.-Ing.  
Ellen Werner, M.Sc.  
Dr. Patrick Westfeld

**Hinweise für Autoren und Inserenten:**  
[www.dhyg.de](http://www.dhyg.de) > Hydrographische Nachrichten >  
Mediadaten und Hinweise

## Die nächsten Schwerpunktthemen

- HN 129 (November 2024) **International Issue zur HYDRO 2024**
- HN 130 (Februar 2025) **Küstenzone**
- HN 131 (Juni 2025) **Ausbildungen mit Hydrographie-Inhalten**

Hydrographic Conference

[www.hydro2024.com](http://www.hydro2024.com)



**HYDRO  
2024**

ROSTOCK

5 - 7 NOVEMBER

Sea you  
**ABOVE** and  
**BELOW**



KONGSBERG



**ATLAS MARIDAN**

A company of the ATLAS ELEKTRONIK Group



Evo  
Logics®

# Munition im Meer

## *DHyG Student Excellence Award I*

### 6 **Global lakes and reservoirs**

An investigation to which extent dynamic water body shapes have an impact on the estimates of the total water storage derived from GRACE

*An article by ANNIKA L. WALTER*

## *DHyG Student Excellence Award II*

### 12 **Water column optical properties influence in satellite-derived bathymetry**

Study case in Chrissi Island, Greece

*An article by IOANNIS TSIMPOUXIS, FICKRIE MUHAMMAD and HARALD STERNBERG*

## *Munition im Meer I – Wissenschaftsgespräch*

### 18 **»Alle Erfolge für Deutschland haben ihre Wurzeln in der internationalen Zusammenarbeit«**

*Ein Interview mit CLAUS BÖTTCHER*

## *Munition im Meer II*

### 24 **Magnetic data optimisation for advanced UXO interpretation**

*An article by SARA LISE UNDERHAY, JACK BRIGHOUSE, DORTHE RENG HANSEN, ANNELIES VANSTRAELEN, OLIVER THOMAS, DAVID SINCLAIR, JOEP GROOTEN, MIRCO CZERWONKA, BENOIT DE CABISOLE and TIZIANA BELLOMO*

## *Munition im Meer III*

### 34 **Marine dumped munition**

Example from Lübeck Bay where test clearance will start in 2024

*An article by JENS GREINERT, MAREIKE KAMPMEIER, VALENTIN BUCK and TORSTEN FREY*

## *Munition im Meer IV*

### 42 **Das Sofortprogramm Munitionsaltlasten in Nord- und Ostsee**

*Ein Beitrag von WOLFGANG SICHERMANN*

## *Munition im Meer V*

### 47 **Industrielle Räumung verklappter Munition – eine Generationenaufgabe**

*Ein Beitrag von JULIEN HANSEN, MARTIN RÜTTEN und STEFAN WENAU*

## *Munition im Meer VI*

### 53 **Der »Expertenkreis Munition im Meer«**

*Ein Beitrag von ALEXANDER BACH*

## *Munition im Meer VII*

### 55 **Auf welche Weise wird das maritime Ökosystem durch Weltkriegsmunition beeinflusst?**

*Ein Beitrag von ARIAN WULF*

## *Nachruf*

### 58 **Werner Nicola ist tot**

*Ein Nachruf von ANDRES NICOLA*

# Global lakes and reservoirs

## An investigation to which extent dynamic water body shapes have an impact on the estimates of the total water storage derived from GRACE

An article by ANNIKA L. WALTER

The satellite mission Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) measures gravity field variations caused by mass redistributions across the atmosphere, the continents and the oceans. Since the redistributions over the continents are linked to changes in the total water storage (TWS), expressed as equivalent water heights (EWH), the observations can be used to quantitatively assess global freshwater variations, which is of great social importance in times of increasingly scarce water resources. If the focus of interest refers to groundwater related variations explicitly, all other storage compartments (here: surface waters) have to be reduced from the GRACE observations. Therefore, the retrieved signal has to be decomposed into its individual components. To achieve this, the water volume can be estimated by forward modelling satellite altimetry and remote sensing data, considering both static and dynamic surface expansions. It will be discussed, that using a dynamic instead of a static surface area extent (1) will change the equivalent water height values in a magnitude between 0.006 cm and 0.243 cm, (2) causes the largest deviation for the Lake Mead and (3) that the question whether a dynamic or a static water body shape should be considered is driven by the interaction of various parameters.

surface water bodies | GRACE | dynamic surface area extent | forward modelling | freshwater resources  
Oberflächengewässer | GRACE | dynamische Oberflächenausdehnung | Vorwärtsmodellierung | Süßwasserressourcen

Die Satellitenmission Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) misst Schwerefeldschwankungen, die durch Massenumverteilungen in der Atmosphäre, auf den Kontinenten und in den Ozeanen entstehen. Da die Umverteilung auf den Kontinenten auf Änderungen des Gesamtwasserspeichers (TWS), ausgedrückt als äquivalente Wasserhöhen (EWH), zurückzuführen sind, können die Beobachtungen für die quantitative Bestimmung globaler Süßwasservariationen, welche in Zeiten von knapper werdenden Wasserressourcen eine hohe gesellschaftliche Bedeutung hat, verwendet werden. Liegt der Fokus explizit auf grundwasserbezogenen Veränderungen, dann müssen alle anderen Speicherkomponenten (hier: Oberflächengewässer) aus den GRACE Beobachtungen herausgerechnet werden. Hierfür muss das empfangene Signal in seine einzelnen Komponenten zerlegt werden. Um dies zu erreichen, kann unter Berücksichtigung von sowohl statischen als auch dynamischen Oberflächenausdehnungen eine Schätzung des Wasservolumens durch die Vorwärtsmodellierung von Satellitenaltimetrie- und Fernerkundungsdaten vorgenommen werden. Es wird diskutiert, dass die Verwendung einer dynamischen anstelle von einer statischen Oberflächenausdehnung (1) die äquivalenten Wasserhöhenwerte in einer Größenordnung zwischen 0,006 cm und 0,243 cm verändert, (2) die größte Abweichung für den See Mead verursacht und (3) die Frage, ob eine dynamische oder eine statische Oberflächenausdehnung in Betracht gezogen werden sollte, von der Interaktion verschiedener Parameter bestimmt wird.

### Author

Annika L. Walter works as a Research Assistant at HafenCity University in Hamburg.

[annika.walter@hcu-hamburg.de](mailto:annika.walter@hcu-hamburg.de)

### Motivation

In times of increasingly scarce water resources, a profound understanding of the global water cycle and its storage compartments, both key elements of hydrography, has become an essential aspect. To gather such an understanding on a global scale, observations from various satellite missions such

as GRACE, which measures the total water storage, play a crucial role. Hence, the respective data can be used to assess mass variations and thus to proportionally track volume variations of different water storage compartments (Swenson, n. d.).

The main difficulty with using GRACE observations is, that GRACE delivers column-integrated

total water storage changes. Hence, the hydrology related mass variations are composed by mass variations which are caused by for instance groundwater, soil moisture or surface water bodies such as lakes and reservoirs (Deggim et al. 2021). If the focus of interest refers to ground water related mass variations only, the other impacts have to be removed. This can be done by forward modelling the unwanted mass variations and subtracting them from the initial observations. In the scope of this study, this procedure was conducted for surface water bodies. Since previous studies (Deggim et al. 2021), have used a static defined surface area extent to model the water storage of surface water bodies, this study aims to depict the characteristics of surface water bodies, including their varying surface area extent, in greater detail. Therefore, a dynamic surface area extent was introduced.

### Data basis

For this study, GRACE data in the form of monthly gravitational field potential coefficients, provided by the TU Graz, were utilised (Kvas et al. 2019). To derive volume variations of surface water bodies under the consideration of a static surface area extent, static polygons derived by remote sensing from the Global WaterPack project (Earth Observation Center, n.d.) and water level time series derived by satellite altimetry from the database for hydrological time series of inland waters (DAHITI) were used (German Geodetic Research Institute, n.d.). By multiplying the area extent derived from the polygon by the mean water level, a volume variation based on a static water body shape was retrieved. This volume variation was then compared to a volume variation time series, considering a time-variable surface water body shape, which was directly provided in DAHITI. Driven by the number of available data sets, finally 29 globally distributed surface water bodies, whose location is depicted in Fig. 1, were analysed in the scope of this study.

### Methods

To combine the various input data products with the observations retrieved from GRACE, several steps had to be carried out.

#### Pre-processing

To match the temporal resolution of the monthly GRACE gravity field models, the water level and the volume variation time series were averaged to monthly mean values. Besides, data gaps were closed by applying a linear interpolation approach. To match the time frame of the GRACE observations, each time series was tailored to an investigation period reaching from January 2003 to December 2016. To achieve a better comparability, the time series were reduced by their mean

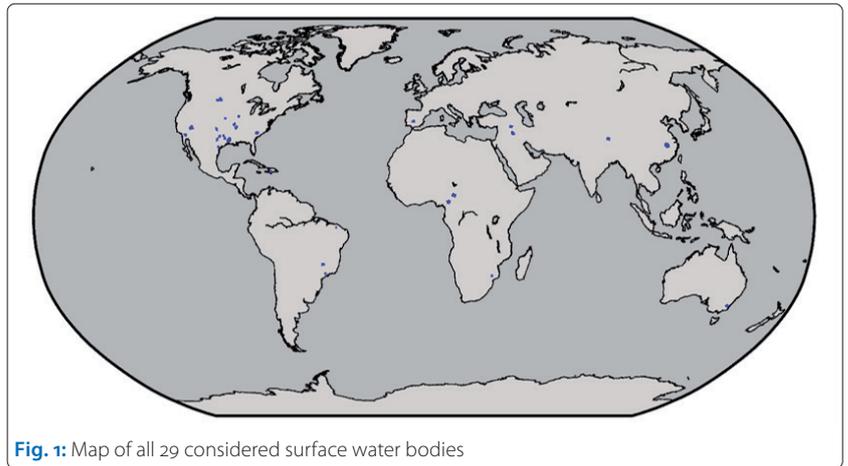


Fig. 1: Map of all 29 considered surface water bodies

values. Since the volume variation time series refer to a dynamic surface area extent, a division by the respective static surface area extent allowed to express the volume in equivalent water height values, which could then enter the forward modelling procedure.

Following, the Gravity Recovery Object Oriented Programming System (GROOPS) (Mayer-Gürr et al. 2021) was used to discretise the surface water body shapes on a fine-resolution grid with a cell size of  $0.0025^\circ \times 0.0025^\circ$ . As a result, also long and narrow water bodies, which are e.g. situated in valleys or between neighbouring mountain ranges, could be captured. After that, the surface water body shapes were multiplied with their respective water level height values. Hence, either the water level height values from the DAHITI database for the static approach, or the newly computed water level height values derived from the volume variation time series were used. Subsequently, an estimation regarding the temporal variation of the water volume values within each grid cell could be retrieved. To reduce the computation time, the volume values were distributed over a lower resolution grid of  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ . As a result, an information about the water level anomaly of each grid cell could be derived. These global water height anomaly values then entered a forward modelling algorithm.

#### Forward modelling

To subtract the gridded surface water variation values from the monthly GRACE gravity field estimates, the resolution of the surface water variation values had to be converted to the spatial resolution of GRACE. To perform this forward modelling procedure, the gridded water level anomaly values were expanded into spherical harmonic coefficients.

#### Filtering

The forward modelled spherical harmonic potential coefficients were smoothed by applying the order-convolution DDK3 filter (Kusche et al. 2009).

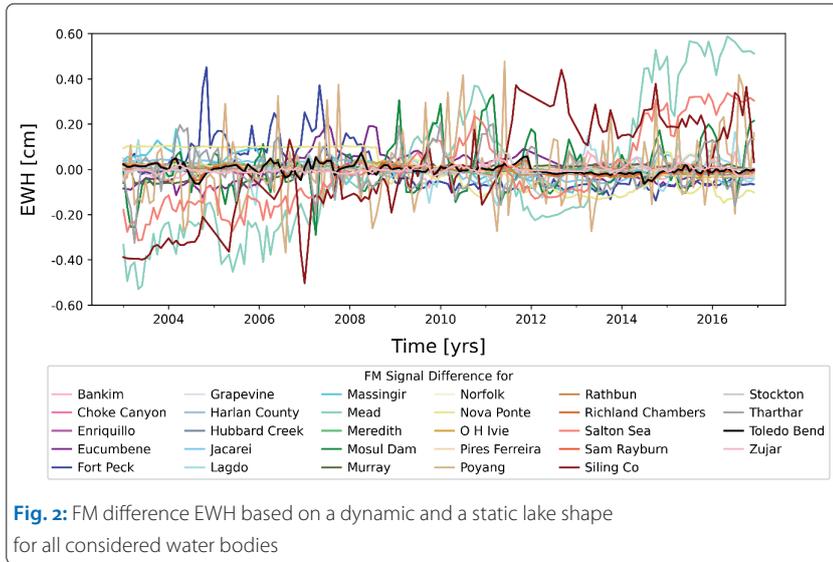


Fig. 2: FM difference EWH based on a dynamic and a static lake shape for all considered water bodies

**Re-computation**

The forward modelled and filtered spherical harmonic potential coefficients express the signal that GRACE would measure if the observations were only influenced by the changing mass of the water body. To obtain a grid-based solution, a re-computation had to be performed. As a result, the total water storage for every grid cell could be calculated.

**Results**

The retrieved results are summarised in Fig. 2, which illustrates the difference in the temporal variation of all forward modelled equivalent water height difference values when using dynamic instead of static water body shapes. Subsequently, it can be seen that all forward modelled equivalent water height difference values indicate a temporal

variation between  $-0.529$  cm and  $0.588$  cm. The largest variations are shown by the green coloured curve, which refers to the equivalent water height difference values which were computed for the Lake Mead.

Consequently, it can be assumed that the difference between the consideration of a dynamic and a static water body shape has the largest impact on the Lake Mead. To numerically quantify this assumption, the mean value of each curve was computed.

The result presented in Fig. 3 confirms that the decision, whether a dynamic or a static water body shape should be considered throughout the forward modelling procedure, has the largest impact on the forward modelled equivalent water height values of the Lake Mead.

Despite of that, Fig. 4 (top) shows the forward modelled signal, i.e. the water surface variations which appear when they are converted to the spatial resolution of GRACE. When assuming that GRACE has an accuracy of 1 cm to 2 cm equivalent water height, it can be seen that only for the Lake Mead, which is located on the west coast of the United States of America, and the Lake Siling Co, which is situated in the northern Tibetan Plateau of China, the difference between using a static and a dynamic surface area extent has a noticeable effect. The difference values of the remaining water bodies gather a higher visibility once the scale of the colour bar is adjusted. The result is depicted in Fig. 4 (bottom), which also emphasises that the Lake Mead and the Lake Siling Co experience severe negative differences. Thus, the forward modelled equivalent water height values, which were computed under the consideration of a dynamic water body shape, were smaller than those computed on the basis of a static water body shape. This accounts at least for 01/2003, which is visualised in this figure. Following, also the Reservoir Zujar in Spain and the Reservoir Eucumbene in Australia indicate a negative removal correction. Contrary to that, the Reservoir Nova Ponte in Brazil, the Lake Bankim and the Reservoir Lagdo, which are both located in West Africa, and for which the leakage effect causes the removal correction of the two water bodies to blend, and finally the Lake Massingir, which is located in South Africa, indicate a blue-coloured positive removal correction. For those cases, the consideration of dynamic water body shapes resulted in a slightly larger removal correction than the consideration of static water body shapes did.

To further assess the characteristics of the forward modelled equivalent water height difference time series and to gain a more comprehensive understanding concerning the effect that the consideration of an either dynamic or a static water body shape has, the trend as well as the amplitude

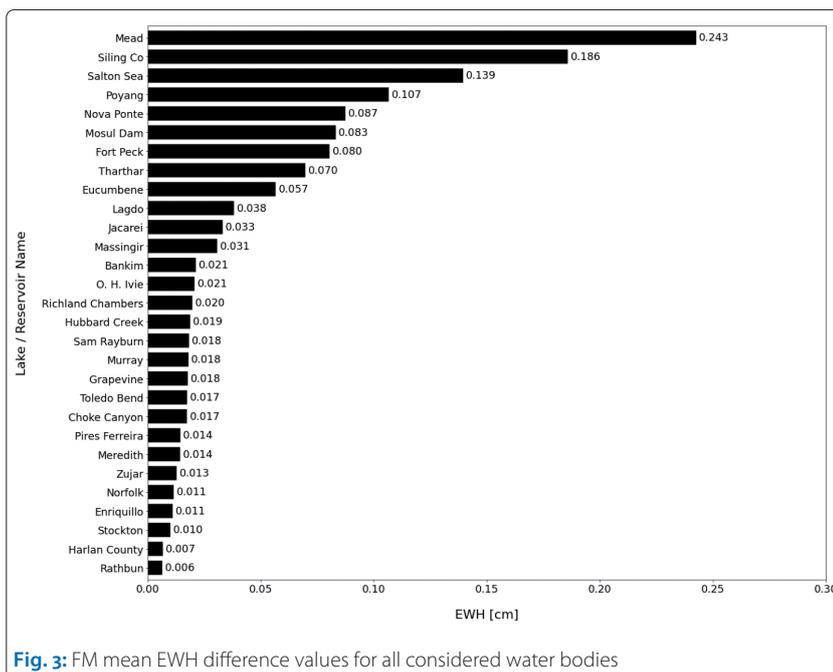
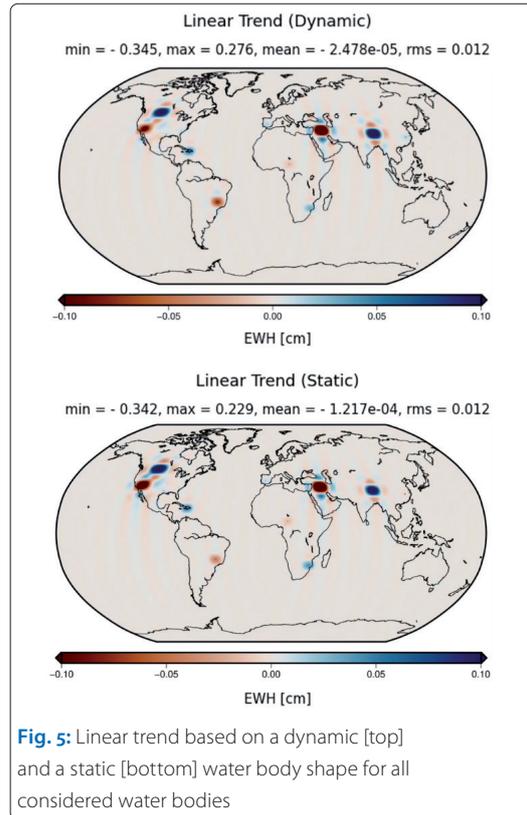
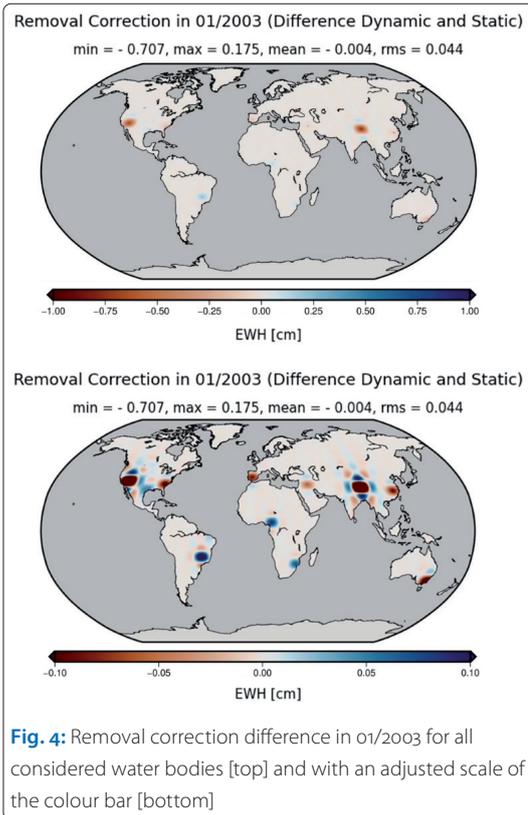


Fig. 3: FM mean EWH difference values for all considered water bodies



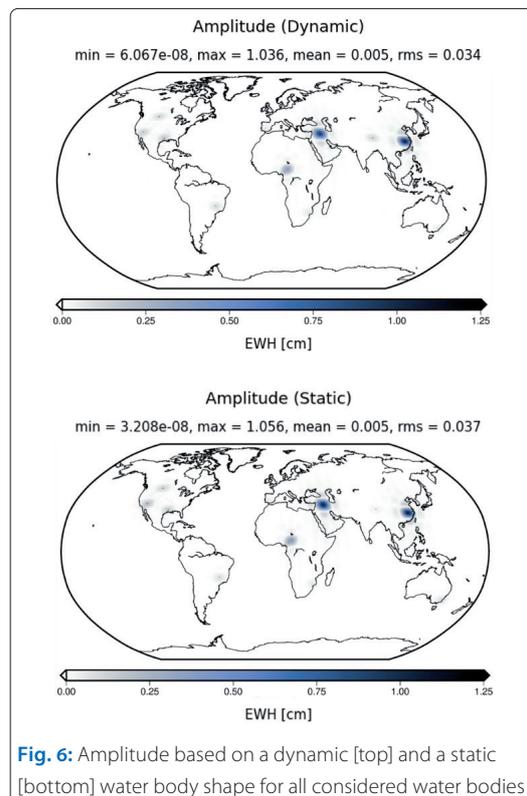
of the two forward modelled equivalent water height signals were evaluated.

Subsequently, a long-term trend of the forward modelled equivalent water height values over a time frame from 01/2003 to 12/2016 was computed. The results are depicted in Fig. 5.

While the consideration of dynamic water body shapes causes a global trend, which fluctuates between  $-0.345$  cm and  $0.276$  cm, the consideration of static water body shapes causes the global trend to reach from  $-0.342$  cm to  $0.229$  cm. Hence, the computed mean value of the trend deviates by  $-9.692e-5$  cm. Thus, the forward modelled equivalent water height values of for example the Lake Mead experience a decline, no matter whether a dynamic or a static water body shape is taken into consideration. Hence, the Lake Mead loses mass. When evaluating the mean values, which are both negative, it can further be said that the water storage decrease overweights the water storage increase. Hence, the majority of the considered water bodies experience a loss of mass within the evaluated time frame. Possible reasons for such a decline are usually attributed to climate change and the related rising temperatures.

The result for the amplitudes of both forward modelled equivalent water height signals is shown in Fig. 6.

Hence, Fig. 6 illustrates, that the minimum amplitudes for each grid cell vary between  $6.067e-08$  cm for the consideration of dynamic water body shapes and  $3.208e-08$  cm for the consideration of



static water body shapes. Considering the maximum amplitude values, which amount to  $1.036$  cm and  $1.056$  cm, it can be seen, that the mean values do not differ, at least for the first three digits, from each other. Hence, the most prominent features are the Lake Poyang in east China as well as the

Reservoir Mosul Dam and the Lake Tharthar, which are both located southwest of the Caspian Sea and for which both signal amplitudes blend into each other. Subsequently, all three water bodies indicate amplitudes of more than 1 cm. Most of the other lakes and reservoirs have mean correction amplitudes in the range of 0.25 cm.

### Conclusion

The overall investigation of the 29 globally distributed water bodies has impressively demonstrated, that the differences of the forward modelled equivalent water height values, which were computed under the reciprocal inclusion of dynamic and static water body shapes, cannot be related to a single parameter. Consequently, neither the features of the investigated water body itself, including its size, its volume variation and its volume variation difference, nor potential differences regarding the input parameters, but rather an interplay of all of these parameters attributed to the final results. Therewith, the resulting differences are driven by reciprocally acting characteristics. Hence, the largest deviation could be attributed to the Lake Mead, for which the forward modelled equivalent water height values encountered a mean difference of 0.243 cm.

Ultimately, it can be said that the derived results have a consistently marginal and non-significant influence which cannot, except for the Lake Mead

and the Lake Siling Co, be detected from GRACE when assuming an accuracy of 1 cm to 2 cm. Nevertheless, this research also showed that at least a difference in the range of sub-millimetres could be computed for every single water body. Hence, the consideration of dynamic water bodies does make a difference. This difference is also directly reflected in the corrected GRACE signal, which can then be used to examine variations in e.g. groundwater resources. Finally, the extent to which those differences can be allowed, primarily depends on the requirements of the end product and in the last instance from the client and the user.

### Discussion and outlook

Although it was ensured that the used data is of sufficient quality, it has to be considered that the selection of the 29 water bodies was not driven by a thoughtful deliberation but by the availability of the required data. Against the background that GRACE has a spatial resolution of 300 km to 400 km (Swenson, n. d.) and the consideration that 21 out of the 29 investigated water bodies have a surface area extent, which is smaller than 500 km<sup>2</sup>, the resilience of the obtained results is limited and should therefore not be generalised. Hence, further studies and the inclusion of larger water bodies are essential to estimate the maximum difference that the consideration of dynamic instead of static water body shapes might cause. //

### References

Deggim, Simon; Annette Eicker; Lennart Schawohl; Helena Gerdener et al. (2021): RECOG RL01: correcting GRACE total water storage estimates for global lakes/reservoirs and earthquakes. Earth System Science Data, DOI: 10.5194/essd-13-2227-2021

Earth Observation Center (n. d.): Global WaterPack (GWP). [www.dlr.de/de/eoc/forschung-transfer/projekte-und-missionen/global-waterpack-gwp](http://www.dlr.de/de/eoc/forschung-transfer/projekte-und-missionen/global-waterpack-gwp)

German Geodetic Research Institute (n. d.): DAHITI. <https://dahiti.dgfi.tum.de/en/>

Kusche, Jürgen; Ralph Schmidt; Svetozar Petrovic; Roelof Rietbroek (2009): Decorrelated GRACE time-variable gravity solutions by GFZ, and their validation using a hydrological model. Journal of Geodesy, DOI: 10.1007/s00190-009-0308-3

Kvas, Andreas; Saniya Behzadpour; Matthias Ellmer; Beate Klinger et al. (2019): ITSG-Grace2018: Overview and Evaluation of a New GRACE-Only Gravity Field Time Series. JGR Solid Earth, DOI: 10.1029/2019JB017415

Mayer-Gürr, Torsten; Saniya Behzadpour; Annette Eicker; Matthias Ellmer et al. (2021): GROOPS: A software toolkit for gravity field recovery and GNSS processing. Computers & Geosciences, DOI: 10.1016/j.cageo.2021.104864

Swenson, Sean (n. d.): GRACE: Gravity Recovery and Climate Experiment: Surface mass, total water storage, and derived variables. NCAR | Climate Data Guide, <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/grace-gravity-recovery-and-climate-experiment-surface-mass-total-water-storage-and>

# Ocean Power & Monitoring

Transform into the cost-efficient and sustainable future



OceanPack™  
Underway



Racing

SOCAT  
ready



pCO<sub>2</sub> optical Analyzer

## GHG Monitoring

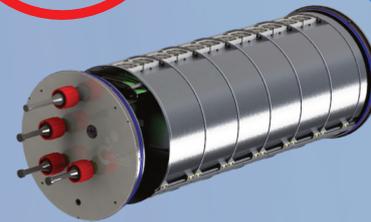
Modular, easy to use and reliable  
monitoring incl. pCO<sub>2</sub> and Microplastic

## Subsea Li-Ion Batteries

Highly reliable, efficient and safe underwater  
power solutions for DC + AC



Energy Storage &  
UPS Systems



Vehicles

API17F  
Offshore  
certified



Standard Batteries

SubCtech GmbH  
www.subctech.com  
info@subctech.com



2021  
2030  
United Nations Decade  
of Ocean Science  
for Sustainable Development



# Water column optical properties influence in satellite-derived bathymetry

## Study case in Chrissi Island, Greece

An article by IOANNIS TSIMPOUXIS, FICKRIE MUHAMMAD and HARALD STERNBERG

Satellite-derived bathymetry (SDB) has become increasingly recognised for its effectiveness in acquiring bathymetric data in recent decades. This method heavily relies on water properties to estimate depths accurately, assuming minimal backscatter from the water column and focusing mainly on seabed backscatter. In this study, we explore the potential benefits of incorporating water column properties information by calculating the absorption and scattering coefficients of remote sensing reflectance. By doing so, we aim to differentiate between the direct backscatter of the water column and that of the seabed. Our investigation focuses on Chrissi Island in Greece, known for its clear waters and distinctive geological and environmental features. Using SDB, we analyse changes in seabed morphology throughout the year 2022, revealing seasonal variations that influence water properties.

optical properties | satellite-derived bathymetry – SDB | change detection  
optische Eigenschaften | satellitengestützte Bathymetrie – SDB | Änderungserkennung

Die satellitengestützte Bathymetrie (SDB) wurde in den letzten Jahrzehnten zunehmend für ihre Effektivität bei der Erfassung von bathymetrischen Daten anerkannt. Diese Methode stützt sich stark auf die Wassereigenschaften, um die Tiefe genau zu schätzen, wobei sie von einer minimalen Rückstreuung aus der Wassersäule ausgeht und sich hauptsächlich auf die Rückstreuung des Meeresbodens konzentriert. In dieser Studie untersuchen wir die potenziellen Vorteile der Einbeziehung von Informationen über die Eigenschaften der Wassersäule durch Berechnung der Absorptions- und Streukoeffizienten der Fernerkundungsreflexion. Auf diese Weise wollen wir zwischen der direkten Rückstreuung der Wassersäule und derjenigen des Meeresbodens unterscheiden. Unsere Untersuchung konzentriert sich auf die Insel Chrissi in Griechenland, die für ihr klares Wasser und ihre besonderen geologischen und ökologischen Merkmale bekannt ist. Mit Hilfe von SDB analysieren wir die Veränderungen der Morphologie des Meeresbodens im Laufe des Jahres 2022 und zeigen so die jahreszeitlichen Schwankungen auf, die die Wassereigenschaften beeinflussen.

### Authors

Ioannis Tsimpouxis was a Master student at HafenCity University in Hamburg.

Today, he works at Hellenic Navy, Greece.

Fickrie Muhammad is a PhD student at HafenCity University in Hamburg.

Harald Sternberg is Professor at HafenCity University.

[i.tsimpouxis@gmail.com](mailto:i.tsimpouxis@gmail.com)

### Introduction

Bathymetry, akin to terrestrial topography, holds immense importance in marine applications such as navigation, commerce and research. It facilitates safe passage for vessels, optimises resource allocation and guides fisheries operations. Traditional bathymetric data collection methods, like echo sounders or LiDAR, are expensive and labour-intensive, limiting repetitive surveys. In contrast, satellite-derived bathymetry (SDB) offers a cost-effective alternative, particularly in shallow waters, leveraging multispectral satellite imagery to swiftly map the seafloor and fill critical data gaps worldwide. Despite challenges posed by water's low reflectance, advancements in computational

power and sensor technology have propelled SDB techniques forward. The dynamic nature of bathymetric data underscores the importance of studying spatio-temporal variations. Changes influenced by natural phenomena and human activities necessitate continuous monitoring and refinement of SDB models.

The concept of using satellites for mapping coastal seabed topography emerged in the 1970s as early optical satellite payloads demonstrated the ability to detect depth variations in very shallow coastal waters through the boundary between sea and land. Early experiments used multispectral imagery for coastal areas mapping, but accuracy was limited due to sensor and algorithm limitations (Bi-

erwirth et al. 1993; Spitzer and Dirks 1987). Significant improvements occurred in the 2000s with the launch of hyperspectral and multispectral sensors with higher spectral and spatial resolution (Conger et al. 2006; Klonowski et al. 2007). Algorithms were refined using physics-based radiative transfer models. Projects in the 2000s demonstrated the feasibility of mapping depths up to 30 metres in clear waters using these satellites, significantly improving over previous techniques. However, accuracies still varied greatly depending on conditions (Miller et al. 2005).

A focused study in the Eastern Mediterranean, particularly on Chrissi Island, highlighted the significance of considering water column optical properties and integrating satellite-derived products for accurate SDB estimates. Greece's favourable conditions offer a promising environment for SDB's cost-effective, high-resolution capabilities to address various maritime challenges, from navigation safety to scientific research. Further research aims to refine depth estimations through in-situ measurements and algorithmic improvements, ensuring the reliability and applicability of SDB in hydrographic surveying and marine management.

## Material and methods

The broader study area is on Crete Island in Greece, which lies in the Southern Aegean Sea, part of the Eastern Mediterranean basin. The Aegean Sea, and explicitly the southern region surrounding Crete Island, is the deepest basin in Greece, with a depth of approximately 2500 m. Chrissi is a very low-lying island, almost flat, with an average height of 10 m. The longest side is about 5 km long, while the average width is 1 km, ranging from a maximum of 1.5 km to a minimum of 0.5 km. Its total perimeter is close to 14.5 km, and the area it covers approaches 5.5 km<sup>2</sup>. The seabed around the island, up to a depth of 20 m, covers an area of about 30 km<sup>2</sup>, and it is characterised by sand, shingle and rocky outcrops (Natura 2000, 2023). Chrissi Island is located SE of Crete in the open seas. Hence, investigating SDB estimates under different hydrodynamic conditions can produce significant insights for the Eastern Mediterranean as seen in Fig. 1. The field data were used to calibrate and validate the different SDB models performed in this study. Calibration data consists of approximately 20 to 25 points distributed in depths from 2.4 m up to 24 m.

From this specific area, the SDB models under investigation are the linear-logarithmic algorithm proposed by Lyzenga (1978), the band-ratio transformation developed by Stumpf et al. (2003) and the inherent optical properties linear model (IOPLM) proposed by Zhang et al. (2020). Lyzenga developed a method for studying marine environments with low suspended particles, chlorophyll and organic matter levels. This method assumes

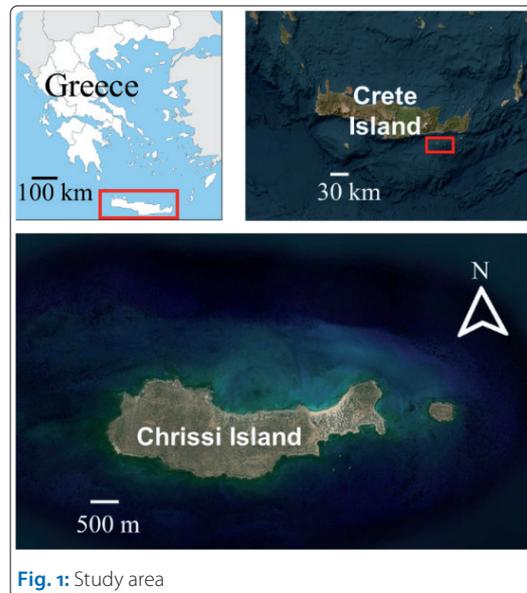


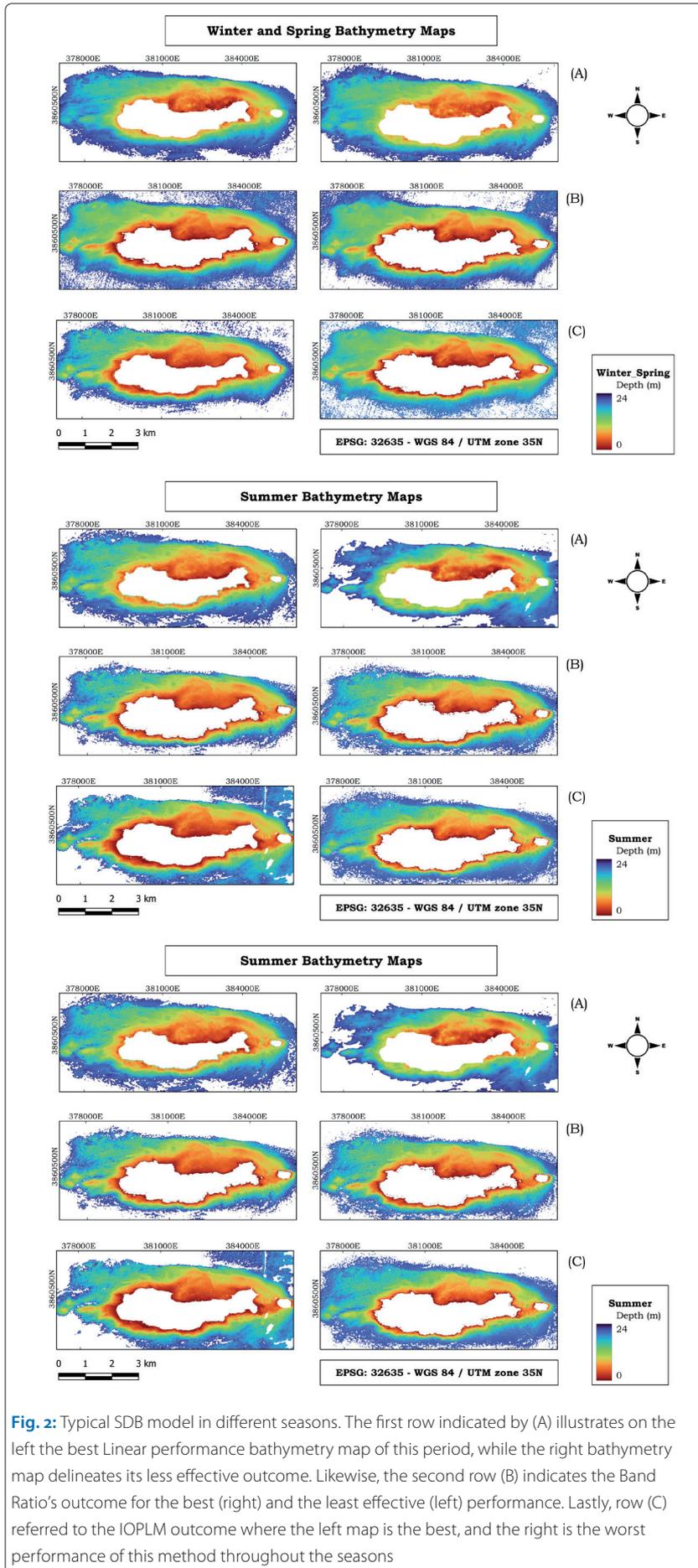
Fig. 1: Study area

that the physical and chemical properties of the water column depicted in a satellite image remain consistent. The ratio of attenuation coefficients due to light diffusion in two spectral zones, for instance, (i) and (j), should remain constant ( $K_i/K_j = \text{constant}$ ) across the entire image (Lyzenga 1978). However, this assumption may only hold in some cases, as reflectances from the water bottom may vary depending on the sediment composition.

A significant disadvantage of the linear-logarithmic algorithm in coastal environments consisting of underwater vegetation, such as algae or seagrass, is that the bottom reflectance in shallow water is lower than that in deep water. As a result, in shallower waters, the difference is smaller than zero, thus the natural logarithm  $\ln$  is not defined. The different spectral zones of passive sensors exhibit distinct spectral absorptions (attenuations), and the depth values in the Lyzenga equation vary as a function of the logarithm; therefore, the ratio of the logarithms, for example, between blue and green spectral bands, will also change according to the depth.

A variation in the bottom albedo, caused by changes in underwater vegetation or sediment, affects both spectral zones similarly, while changes in depth significantly impact the zone with higher absorption. Thus, the variation in the reflectance ratio between spectral zones due to depth will be much more significant than the variation caused by changes in bottom quality (Philpot 1989). Consequently, when investigating a coastal area with a constant depth but different bottom compositions, satellite imagery pixels that display varying reflectance due to sediment and vegetation will have a nearly consistent logarithmic ratio of reflectance.

Hereafter, Stumpf et al. (2003) proposed a ratio transform algorithm to determine the bottom



**Fig. 2:** Typical SDB model in different seasons. The first row indicated by (A) illustrates on the left the best Linear performance bathymetry map of this period, while the right bathymetry map delineates its less effective outcome. Likewise, the second row (B) indicates the Band Ratio's outcome for the best (right) and the least effective (left) performance. Lastly, row (C) referred to the IOPLM outcome where the left map is the best, and the right is the worst performance of this method throughout the seasons

depth, regardless of the bottom quality or existing vegetation. It can be calibrated to actual depths using data from a nautical chart or a bathymetric plot or through field measurements. The last SDB method tested in this study is based on the IOPs and their fluctuations with depth; thus, the IOPLM was developed by Zhang et al. (2020). This model utilises the blue and green bands from multispectral images, which offer very high resolution, to gather a wide range of water depth data. An important note is that this IOPLM method was initially developed for very high spatial resolution (~2 m) satellites such as WV-2, SPOT and Pleiades. In this study, the Sentinel-2 products belong to the high spatial resolution and all the tests executed with the best value of 10 m of visible bands.

### Result and discussions

The present sub-section of findings offers a comprehensive overview of the statistical metrics of SDB estimates of every tested method aligned with the analysis approach in a seasonal context as seen in Fig. 2. The performance of the three methods was evaluated concerning metric responses, maximum depth estimation achieved and band combinations for the years 2019 to 2023. The Linear method consistently exhibits stable performance throughout the year, primarily leveraging the reflectance of the green band, with its winter predictions proving to be the most accurate. The Band Ratio and IOPLM methods consistently yield superior results across all seasons, displaying good performance metrics. However, a subtle decline was discerned during the autumn season. Regarding band combinations, the IOPLM method predominantly employed the coastal blue paired with the green band across all seasons. On the other hand, the Band Ratio method was based on the blue-green combination for winter and fall, while the green-blue pairing was used during summer. A mild underestimation of depth calculations by the Band Ratio method was evident during the winter and summer. Notably, the depth estimates from all methods approximated 24 m during autumn. The general overview of depth profile can be seen in the Fig. 3.

As for the seasonality, during the winter and spring, it obtained the best performance in a percentage of 73.33 % (11 of 15 cases), while during summer, the best performance was up to 20 % (3 of 15 cases), and the remaining one in a percentage of 6.66 % (1 of 15 cases) belonged to autumn. Contrarily, the least effective outcome variations for autumn reached 40 % (6 of 15 cases), and the rest obtained during summer (9 of 15 cases) at 60 %. The results indicate that Band Ratio and IOPLM methods performed effectively across all seasons, while the Linear method delivered consistent but less accurate estimates. Moreover, IOPLM pre-

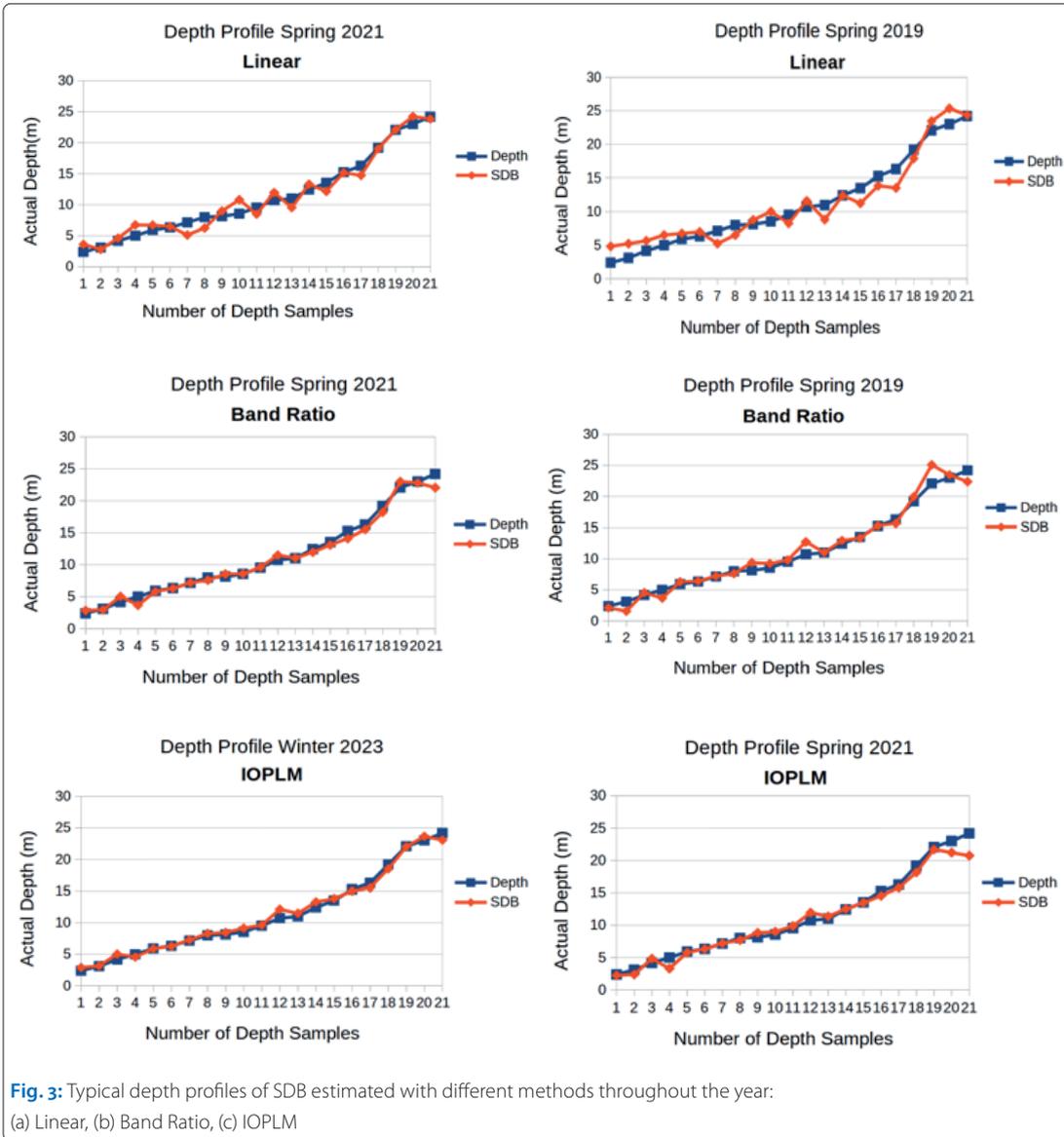


Fig. 3: Typical depth profiles of SDB estimated with different methods throughout the year: (a) Linear, (b) Band Ratio, (c) IOPLM

dicted better depth estimates in almost the entire study period. Fig. 4 represents the average RMSE metrics of every year and every method to provide a more comprehensive view of the performance. It is noticeable that the Linear method delivered the less accurate estimates; however, with consistency around the mean RMSE of 1.5 m.

### Conclusion

The study focused on estimating water depth using satellite imagery in the Eastern Mediterranean. Rigorous preprocessing of satellite data was performed, selecting products with minimal cloud coverage. Multiple SDB algorithms, including the Linear Logarithmic algorithm, Band Ratio transformation and the IOPLM, were evaluated. Notably, a strong correlation was found between water column optical properties and SDB accuracy. The Band Ratio transform algorithm performed consistently across study sites but declined during autumn. In contrast, the IO-

PLM method demonstrated adaptability, albeit with sensitivity to specific environmental conditions. The study highlighted limitations related to atmospheric distortions, sensor resolution and

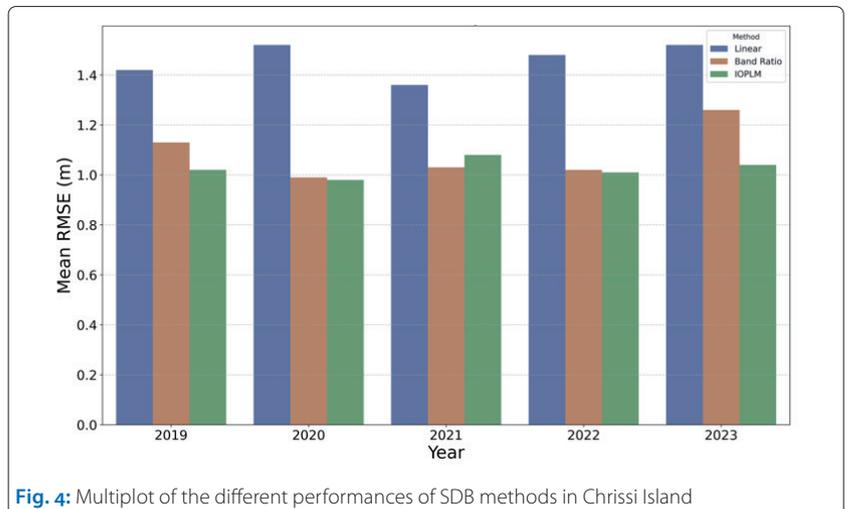


Fig. 4: Multiplot of the different performances of SDB methods in Chrissi Island

georeferencing inaccuracies. Additionally, access to high-resolution commercial satellite data was challenging. Temporal analyses revealed patterns and fluctuations in SDB estimates and water optical characteristics.

### Outlook

Several recommendations emerge in the context of advancing SDB research, particularly in the vital Eastern Mediterranean. First, it is imperative to examine the influence of anthropogenic activities, such as maritime shipping and offshore exploration, on the water column's optical properties for more accurate algorithmic modelling. Developing region-specific SDB models that account for unique oceanographic phenomena, like complex current systems and high salinity, is crucial for enhancing bathymetric accuracy. Third, leveraging

advancements in Machine Learning and Artificial Intelligence in combined high-resolution commercial data offers promising avenues for automating data processing and overcoming spatial limitations. Fourth, integrating real-time or near-real-time corrections for optical properties into existing SDB algorithms could provide greater adaptability to dynamically changing environmental conditions. Fifth, incorporating the Extended Kalman Filter can serve as a robust method for quantifying the uncertainties associated with SDB estimates. Lastly, exploring alternative calibration and validation data sources like ICESat-2 may reduce dependency on in-situ data and contribute to more reliable SDB applications. Collectively, these recommendations aim to address the current challenges in SDB and enhance its applicability in diverse hydrospace tasks. //

### References

Bierwirth, Phil; T. J. Lee; Robert V. Burne (1993): Shallow sea-floor reflectance and water depth derived by unmixing multispectral imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 59(3), pp. 331–338

Conger, Chris; Eric J. Hochberg; Charles H. Fletcher; Marlin J. Atkinson (2006): Decorrelating remote sensing color bands from bathymetry in optically shallow waters. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, DOI: 10.1109/TGRS.2006.870405

Klonowski, Wojciech M.; Peter R. C. S. Fearn; Mervyn J. Lynch (2007): Retrieving key benthic cover types and bathymetry from hyperspectral imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, DOI: 10.1117/1.2816113

Lyzenga, David R. (1978): Passive Remote-Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features. *Applied Optics*, DOI: 10.1364/AO.17.000379

Miller, Richard; Carlos E. Del Castillo; Brent A. Mckee (2005): *Remote Sensing of Coastal Aquatic Environments Technologies, Techniques and Applications*. Springer New York, DOI: 10.1007/1-4020-3100-9

Natura 2000. (2023): Natura 2000 – Standard Data Form: Site GR4340003. <https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=GR4340003>

Philpot, William D. (1989): Bathymetric mapping with passive multispectral imagery. *Applied Optics*, DOI: 10.1364/ao.28.001569

Spitzer, D.; R. W. Dirks (1987): Bottom influence on the reflectance of the sea. *International Journal of Remote Sensing*, DOI: 10.1080/01431168708948642

Stumpf, Richard P.; Kristine Holderied; Mark Sinclair (2003): Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, DOI: 10.4319/lo.2003.48.1\_part\_2.0547

Zhang, Xuuechun; Yi Ma; Jingyu Zhang (2020): Shallow water bathymetry based on inherent optical properties using high spatial resolution multispectral imagery. *Remote Sensing*, DOI: 10.3390/RS12183027

# INTERGEO<sup>®</sup> 2024

SEPT. 24 – 26  
STUTTGART

INSPIRATION

FOR A SMARTER

WORLD

WWW.INTERGEO.DE



EXPO  
CONFERENCE STAGE  
NETWORKING



DVW e.V. – Gesellschaft für Geodäsie,  
Geoinformation und Landmanagement



HEXAGON



SPONSORS:

# »Alle Erfolge für Deutschland haben ihre Wurzeln in der internationalen Zusammenarbeit«

Ein Interview mit CLAUS BÖTTCHER

Im Jahr 2011 ist der erste Bericht zur »Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer – Bestandsaufnahme und Empfehlungen« erschienen, der bis heute grundlegend ist und zitiert wird. Einer der Autoren war Claus Böttcher, der sich seit 2008 intensiv mit der Thematik auseinandersetzt. Im MELUND, dem Ministerium in Kiel, hat Claus Böttcher bis 2022 in der Sonderstelle »Munition im Meer« gearbeitet. Seither ist er bei der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW) als Referent Einsatz beschäftigt.

Munitionsbelastung | Versenkungsgebiete | Munitionssuche | AUV | AmuCad | Bergung  
ammunition load | dumping areas | ammunition search | AUV | AmuCad | salvage

In 2011, the first report on »Munitions in German Marine Waters – Stocktaking and Recommendations« was published, which is still fundamental and cited today. One of the authors was Claus Böttcher, who has been working intensively on the topic since 2008. Claus Böttcher worked at the MELUND, the ministry in Kiel, in the special unit »Munitions in the Sea« until 2022. Since then, he has worked as deputy head of unit at the German Federal Agency for Technical Relief (THW).

## Interviewer

Das Interview mit Claus Böttcher hat Lars Schiller im Juni per E-Mail geführt.

[c.boettcher@thw-pinneberg.de](mailto:c.boettcher@thw-pinneberg.de)

2011, vor knapp 13 Jahren, haben Sie den ersten Bericht zur »Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer« veröffentlicht. Sie gingen damals davon aus, dass es keine »großräumige Gefährdung« gibt. Heute bewertet der »Expertenkreis Munition im Meer« das anders. Die Rede ist von »vielfältigen Gefahren für Mensch und Umwelt«. Bitte konkretisieren Sie das für uns.

Als wir im Jahr 2009 die Arbeit an diesem Bericht aufgenommen haben, gab es eine vage Vorstellung davon, dass Munition im Meer liegen würde. Eine Bereitschaft, sich aktiv damit zu befassen, konnte ich damals nicht feststellen. Es gab auch keine sinnvolle Methode, mögliche Belastungen der Meeresumwelt durch Inhaltsstoffe der Waffen zu messen. Parallel zu unserer Suche nach historischen Unterlagen über die Versenkungen haben Prof. Maser und sein Team solche Nachweisverfahren am Toxikologischen Institut des Universitätsklinikums Kiel erfolgreich entwickelt. Im Jahr 2011 gab es also noch große Wissenslücken. Im Zuge der Umsetzung fast aller Empfehlungen der Autoren des ersten Berichts haben Forschende, die Zivilgesellschaft und die Verwaltung viele Fakten zugänglich machen können, die der heute gültigen Gesamtbewertung zugrunde liegen.

Dem ebenfalls auf so eine Empfehlung hin unter dem Dach der Bund/Länder-Arbeitsgruppe Nord- und Ostsee (BLANO) eingerichteten »Expertenkreis Munition im Meer« ist es offenbar gelun-

gen, zu informieren, Bedenken auszuräumen und den einen oder anderen Widerstand zu brechen oder auf unterschiedlichsten Wegen zu umgehen. Ohne den Expertenkreis wären wir jedenfalls nicht weitergekommen.

1,6 Millionen Tonnen an Munition liegen angeblich im Meer, davon rund 1,3 Millionen in der Nordsee und 300 000 Tonnen in der Ostsee. An den Zahlen hat sich seit 2011 nichts geändert. Wie hat man die Zahlen ermittelt? Und können Sie die 1,6 Millionen Tonnen irgendwie veranschaulichen?

Belüde man einen 1945 üblichen Güterzug mit dieser Masse Munition, wäre er so lang wie die Gleise zwischen Oslo und Rom. Diese Zahl aus dem Jahr 2011 basiert auf bis dahin aufgearbeiteten Unterlagen über Versenkungen von Munition, die auf dem Gebiet des ehemaligen Deutschen Reichs entbehrlich geworden war. Manche sagen, sie sei geschätzt. Uwe Wicherts weitere Arbeit mit Dokumenten unterschiedlicher Archive stützt diese Größenordnung jedoch bis heute. Nach meiner Auffassung sollten alle gemeinsam die tatsächlich belasteten Gebiete suchen, statt immer wieder diese Zahl in Zweifel zu ziehen.

Wo liegen die größten Versenkungsgebiete? Was hat es damit auf sich?

Es gibt keinen Zusammenhang zwischen der Flächengröße und der Munitionsbelastung. In Nord- und Ostsee gibt es große Gebiete mit geringer Belastung aus Versenkungen und relativ

kleine Versenkungsgebiete, in denen mehrere 10 000 Tonnen lagern. Gemäß den Entscheidungen der Alliierten des Zweiten Weltkriegs, gemäß den Daten über entbehrliche Munition aus Depots und von Sammelstellen sowie gemäß der Dokumentation der Aufsicht über Versenkungsfahrten wurden zwischen 650 000 und 1,2 Millionen Tonnen Munition in der Außenjade versenkt. Das Versenkungsgebiet zwischen Wilhelmshaven und der kleinen Insel Mellum führt auf AmuCad ([www.amucad.org](http://www.amucad.org)) die Kennung »NSE02L«.

Noch während des Zweiten Weltkriegs hat Nazi-Deutschland besondere Munition am Ausgang der Flensburger Förde versenken lassen. Die Britische Militärverwaltung hat dort später weitere Munition versenken lassen. Leider gaben die deutschen Besatzungen einen Teil der Ladung bereits unterwegs von Bord. Für große Teile der Flensburger Förde ergibt sich daraus ein diffuses Bild der Belastung. In den 1960er-Jahren wurden aus diesem Gebiet zwei Schuten voller Kampfstoffgranaten geborgen.

Deutsche Chemiewaffen liegen zudem bei Helgoland, ostwärts von Bornholm, im Skagerrak und in der Karibik bei Puerto Rico. Daten über bisher bekannte Gebiete weisen auf sehr unterschiedliche Hintergründe hin. Diesen Teil der Geschichte aufzuarbeiten, war schon sehr spannend.

**Stimmt die Behauptung, dass die Munitionsaltsalten immer gefährlicher werden, je länger sie auf dem Meeresgrund liegen?**

Ja, sowohl für die Gefahr der Explosion als auch wegen der Giftwirkung vieler Sprengstoffe. Daten des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie in Pfinztal und aus der Militärforschung in Norwegen zeigen, dass alter Munition entnommener Sprengstoff auf Schläge und Reibung heute empfindlicher reagiert als nach der Herstellung. Die standardisierten Tests wiesen auf eine Größenordnung von 1 : 10 hin. Heute reicht also schon ein Bruchteil der kinetischen Energie aus, um eine Umsetzung des Sprengstoffs zu initialisieren. Diese Ergebnisse sollten in Gefährdungsanalysen einbezogen werden.

**Die Hydrographie kommt bei der Detektion ins Spiel. Gibt es neben der Suche mit Magnetometern noch andere Methoden, Munition aufzuspüren?**

Um alte Munition am Meeresboden zuverlässig aufzuspüren, bedarf es einer Serie von Maßnahmen. Forschende haben das inzwischen systematisch beschrieben. Im Kern können die Reflexionen unter Wasser ausgesendeter Schallwellen harte Oberflächen auf dem Meeresboden anzeigen. So erhalten wir Hinweise auf mögliche Metallkörper oder Steine. In einem zweiten Arbeitsschritt können ferromagnetische Eigenschaften untersucht werden. Der Vorteil dieser Methode ist, dass sich hier auch Stahlhüllen im Sediment



Claus Böttcher

zeigen, die für Echolotverfahren »unsichtbar« bleiben. Am Schluss muss man jedoch jede magnetische Anomalie vor Ort untersuchen, um magnetischen Schrott von gefährlichen Kampfmitteln zu unterscheiden.

Wer wird mit der Suche nach Kampfmitteln beauftragt? Üblicherweise doch wahrscheinlich vor allem private Firmen. Bleiben dadurch nicht man-

»AUVs waren der »game changer«. Der Einsatz eines AUV hat den Stand der Technik offensichtlich gemacht und letzte vernünftige Zweifel beseitigt. Allen Kartierungen belasteter Gebiete liegen heute Daten von AUVs zugrunde«

Claus Böttcher

che Schiffe ungenutzt, zum Beispiel Schiffe der Behörden, die gerade nicht eingesetzt werden?

Derzeit werden vorrangig europäische und deutsche Forschungsgelder für die Dokumentation der Versenkungen eingesetzt. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bedienen sich dazu naheliegenderweise der Schiffe ihrer nationalen Forschungsflotten. Eine Zusammenarbeit mit

den Schiffen der Gewässeraufsicht und den »Lieggeschiffen« der Gefahrenabwehr könnte ich mir schon sehr gut vorstellen. Die Bereitschaft zur Kooperation muss jedoch zunächst wiedererweckt werden.

Was verspricht der Einsatz von autonomen Unterwasserfahrzeugen für die Suche oder das Monitoring?

Die autonomen Unterwasserfahrzeuge (AUVs) waren der »game changer« dieser Aufgabe. Die erste sinnvolle Inventur des Versenkungsgebietes »Kolberger Heide« (BKB04L) wurde auf Grundlage hochauflösender Daten eines AUV erstellt. Dieser Einsatz hat den Stand der Technik offensichtlich gemacht und letzte vernünftige Zweifel beseitigt. Allen weiteren Kartierungen belasteter Gebiete liegen auch Daten von AUVs zugrunde.

Wie kann künstliche Intelligenz die Munitionssuche verändern?

Wenn es auch bei der KI-Entwicklung weiter so vorangehen sollte, wie in den letzten zehn Jahren, wird der Mensch Werkzeuge erhalten, die dabei helfen, die Wirtschaftlichkeit der Beseitigung alter Munition aus dem Meer zu verbessern. KI-basiert werden schon heute Munitionskörper in den Daten erkannt und bewertet. Morgen werden sich weitere Fragen stellen, zum Transport, zur Überwachung, zum Monitoring und zur Optimierung von Abläufen. Da viele Sensoren auch viele Daten liefern, werden Methoden mit KI untersucht, um Informationen zu gewinnen und daraus weitere Entscheidungen abzuleiten.

Die Hydrographie kann nicht nur bei der Suche helfen, sondern auch bei der Darstellung in einer Karte, in der die Fundstellen verzeichnet sind. Oder, moderner, beim Zusammenführen der Infor-

mationen in einem Geoinformationssystem. Gibt es eine zentrale Datenbank, in der alle Informationen zusammenlaufen?

Ja und nein; im Föderalismus ist technisch gesehen eine einzige Datenbank echt sehr selten. Dennoch sind wir bei der Munition im Meer dichter an diesem Ziel als in anderen Aufgabenfeldern der Gegenwart. Auf AmuCad ([www.amucad.org](http://www.amucad.org)) kann man sich einen Eindruck davon verschaffen, wie so eine Plattform aussehen könnte. Ergebnisse vieler wissenschaftlicher Projekte zu Munition im Meer sind in der Datenbank abgelegt, die diesem Kataster zugrunde liegt. In nichtöffentlichen Datenbeständen liegen noch höher aufgelöste Daten, die aber nur zwischen Sicherheitsbehörden ausgetauscht werden. Bund und Länder arbeiten hier eng zusammen. Das Maritime Sicherheitszentrum Cuxhaven ([www.msz-cuxhaven.de](http://www.msz-cuxhaven.de)) dient als einheitliche, nationale Meldestelle für alle Ereignisse mit Munition im Meer, an den Stränden, in Häfen und entlang der tidebeeinflussten Ströme der Westküste. Diese Zusammenarbeit halte ich für sehr vernünftig!

Versenkter Sprengstoff ist nicht nur wegen der unkontrollierten Detonation potenziell gefährlich, er ist auch toxisch. Wie gefährdet ist dadurch das Nahrungsnetz in Nord- und Ostsee? Landet am Ende TNT auf unseren Tellern?

Prof. Maser vom Institut für Toxikologie und Pharmakologie für Naturwissenschaftler des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein schließt seinen Artikel »Can seafood from marine sites of dumped World War relics be eaten?« (DOI: 10.1007/s00204-021-03045-9) mit der Feststellung: »Es besteht ein unbestreitbarer direkter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von versenkter Munition und erhöhten Konzentrationen toxischer Stoffe mit möglichen Auswirkungen auf die Genießbarkeit von Fischen, Muscheln und anderen Meeresfrüchten.« Gleichzeitig betont er in seinen Vorträgen stets, dass wir jetzt handeln müssen, um gefährlichen Anreicherungen dieser Giftstoffe in einer absehbaren Zukunft noch rechtzeitig zu begegnen. Prof. Maser und ich haben in Kiel wiederholt lokal gefangenen Fisch und auch Muscheln aus der Kieler Förde gegessen.

Mit einem regelmäßigen Monitoring will man die Auswirkungen auf die Umwelt untersuchen. Was ist über die Auswirkungen auf die Lebewesen im Wasser heute bekannt?

Nun, die Forschenden haben vielleicht noch nicht alle Zusammenhänge abschließend beschreiben können, doch 2008 wurde noch behauptet, das TNT sei »weg«. Heute beweisen geringe Spuren dieser krebserregenden Verbindung im Fischfilet, dass das nicht stimmt. Relevante Konzentrationen führen zu Vergiftungen, die sich durch Tumorbildung (Krebs) zeigen, Fischlaich wird so geschädigt, dass sich aus den Larven keine geschlechtsreifen

Fische mehr entwickeln und die Muscheln zeigen schon bei geringen Konzentrationen Reaktionen auf genetischer Ebene. Die so wichtige Filterwirkung der Muscheln wird durch die Belastung reduziert. Der Sprengstoff ist zudem eine weitere synthetische Verbindung im Meerwasser. Es ist wichtig, den »Giftcocktail« dort draußen zu bewerten. Es erscheint mir unredlich, noch länger mit der Unbedenklichkeit von im Meer festgestellten Konzentrationen einzelner Verbindungen zu argumentieren. Schließlich bringt der letzte Tropfen das Fass im Sprichwort dann doch zum Überlaufen.

Vor dem Bau von Windkraftanlagen im Meer wird systematisch nach Munition gesucht. Die Kampfmittel müssen dann beseitigt werden. Wie geht man da vor? Wurde das Problem bei der ursprünglichen Planung unterschätzt? Welche Verbesserungen zeichnen sich ab? Und wie teuer ist das alles?

Hierzu gibt es sicher besser geeignete Interviewpartner als mich. Gemeinsam beobachten konnten wir, dass Seekabeltrassen Anfang der 2000er-Jahre noch entlang von in Seekarten eingezeichneten Versenkungsgebieten geplant wurden (zum Beispiel der Offshore-Windpark Riffgat). Das hat sich

nicht wiederholt. Viele technische Entwicklungen, die uns heute die Bergung versenkter Munition in Erwägung ziehen lassen, haben zunächst geholfen, die enormen Kosten der unumgänglich notwendigen Munitionsräumung auf Baustellen zu senken. In der nächsten Phase könnten sich Erkenntnisse der Probebergungen in der Lübecker Bucht auf die Räumkosten auswirken. Wichtig erscheint mir, diese beiden Aufgabengebiete zusammenzudenken. Das Rad darf nicht immer wieder neu erfunden werden, nur weil Entscheider meinen, solche Gespräche seien verschwendete Zeit!

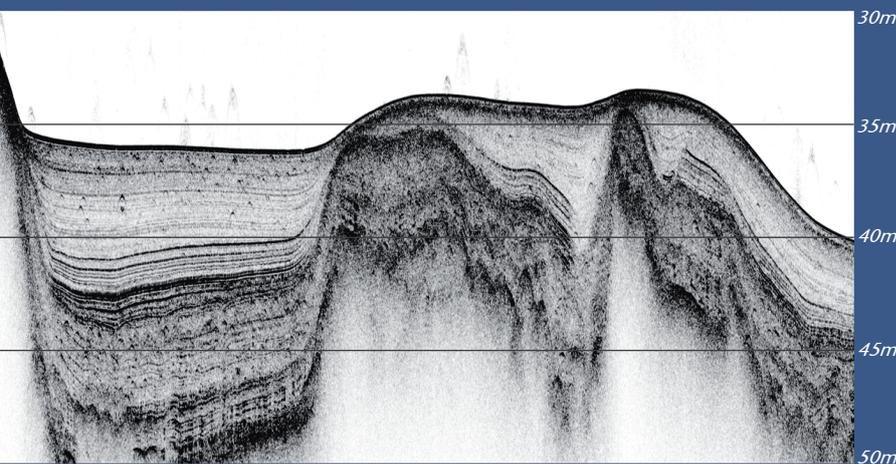
Was geschieht mit den gefundenen Kampfmitteln, zum Beispiel in den Schifffahrtsrouten? Wie wird entschieden, wann Kampfmittel geborgen werden?

Wie genau die zuständigen Behörden vorgehen, hängt vom Ergebnis einer individuellen Analyse aller Gefahren ab, die von dem Sprengkörper ausgehen. Es gibt dafür keine pauschale Antwort. Unter anderem im Projekt DAIMON ([www.dai-](http://www.dai-)

»Belüde man einen Güterzug mit 1,6 Millionen Tonnen Munition, wäre er so lang wie die Gleise zwischen Oslo und Rom«

Claus Böttcher

[www.innomar.com](http://www.innomar.com)



Data Example from a Norwegian Fjord (Innomar "standard" SBP, 10kHz)

## Innomar Parametric Sub-Bottom Profilers

- ▶ Discover sub-seafloor structures and buried objects
- ▶ Acquire unmatched hi-res sub-seabed data with excellent penetration
- ▶ Cover all depth ranges from less than one meter to full ocean depth
- ▶ Highly portable equipment for fast and easy mobilisation
- ▶ User-friendly data acquisition and post-processing software
- ▶ Used worldwide for various applications by industry, authorities, science

### ▶ Shallow-Water Solutions



### ▶ High-Power Solutions



### ▶ Remotely Operated Solutions



**Innomar**



monproject.com) entwickelte Modelle helfen den zuständigen Stellen dabei, alle Gefahren zu erkennen und sich gegenseitig bei der Risikobewertung zu unterstützen. Im Ökosystem Meer hängt schließlich alles mit allem zusammen. Nur eine gemeinsame Betrachtung aus vielen Perspektiven kann zu vernünftigen Entscheidungen führen. Hier ist es ein klarer Vorteil, dass in Deutschland zivile Behörden für die Gefahrenabwehr zuständig sind. In anderen Staaten sprengt die Marine entdeckte Munition, noch bevor überhaupt jemand Notiz davon nehmen konnte. So ein Vorgehen widerspricht meiner Meinung nach den globalen Zielen der Vereinten Nationen für den Meeresschutz und müsste schon deshalb von allen Regierungen abgestellt werden.

In Deutschland stellen sich Einsatztaucher der Kampfmittelräumdienste dem Risiko einer Entschärfung unter Wasser, um eine umweltgerechte Lösung in der Zukunft zu ermöglichen. Es beeindruckt mich jedes Mal, wenn sie davon erzählen, wie sie ihre Verfahren weiterentwickeln, um die Sicherheit zu verbessern und so der besseren Lösung eine Chance geben. Sie beseitigen die gegenwärtige Gefahr und verlagern die entschärfte

Munition aus dem Fahrwasser in ein bereits belastetes Gebiet. Wenn alles klappt, können diese besonders großen Blindgänger dann später, zusammen mit der versenkten Munition und mit der dann zur Verfügung stehenden Technologie, endgültig vernichtet werden.

**Sie sagen es, nachdem die Kampfmittel geborgen wurden, müssen sie vernichtet werden. Welche Ansätze gibt es für die Vernichtung und Entsorgung?**

In diesem Sommer wird erstmals Munition aus Versenkungsgebieten im Meer geborgen und auf See transportsicher gemacht werden, um sie an Land vernichten zu lassen. Im Projekt »Bordex« werden neue Ansätze für die thermische Vernichtung und die Abgasreinigung erforscht.

Parallel schafft die Firma SeaScape unter der Federführung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz die Voraussetzungen für die Entwicklung einer Vernichtungstechnologie auf See, sodass der Transport an Land entfallen wird. Das ist ein sehr spannender Ansatz, für den sich Bundestag und Bundesregierung weiter engagieren.



## OBTAIN COMPREHENSIVE HYDROGRAPHIC DATA IN DEEP WATER AND COASTAL REGIONS

We draw on our vast experience and extensive resources, including a fleet of dedicated survey vessels and airborne systems, to deliver a high-quality service that meets your data objectives.

To find out more visit  
**fugro.com**

### Gibt es Überlegungen, Unterwasserrobotik für die Bergung und Entschärfung von Kampfmitteln einzusetzen?

Ja, wie bereits ausgeführt sind es die Fortschritte der Automation unter Wasser, die eine Bergung versenkter Munition wirtschaftlich machbar erscheinen lassen. Entschärft und vernichtet wird dann nicht unter Wasser, aber auch hier kommt Robotik zum Einsatz.

### Wie steht es um die internationale Zusammenarbeit?

Sowohl wissenschaftlich als auch politisch haben alle Erfolge für Deutschland ihre Wurzeln in der internationalen Zusammenarbeit. Schon bei der initialen Verhandlung saß ich mit Vertreterinnen und Vertretern aus Polen und Deutschland in Berlin zusammen. Aus europäischen Budgets wurden zwei Drittel der Forschungsmittel gewährt. Arbeitsgruppen der internationalen Gremien zum Schutz der Meere, hier insbesondere HELCOM und OSPAR, die NATO, das Europäische Parlament und der Ostseerat haben dafür gesorgt, dass es diese Aufgabe auch nach 2013 immer wieder auf die Tagesordnungen der verschiedenen Veranstaltungsformate geschafft hat. Wichtige Meilensteine stellen ohne jeden Zweifel die Perioden deutscher Präsidentschaften der Ostseeparlamentarierkonferenz (2019 bis 2022) und des Ostseerates (Juli 2022 bis Juni 2023) sowie die »Kiel Munition Clearance Week« im Jahr 2021 (munitionclearanceweek.org) dar.

### In Deutschland werden viele Aufgaben der Suche und Beseitigung von Firmen aus der Privatwirtschaft erledigt. In anderen Ländern ist eher die Marine zuständig. Es heißt, durch den Wettbewerb seien die Methoden effizienter geworden, die Kosten seien gesunken. Wie ordnen Sie die Innovationskraft ein, die durch die Aufgabenverteilung in Deutschland entsteht?

Aus meiner Sicht wurde dieser Meilenstein bereits in der Ausbauphase von Offshore-Wind erreicht und hat uns Zuversicht gegeben, diesen Weg fortzusetzen. Die Firmen waren es, die sich vor allem den technischen Fortschritt der Wissenschaft zunutze gemacht haben.

Zur Wahrheit gehört aber auch, dass Vertreter der Deutschen Marine und der »forschenden Bundeswehr« von Anfang an dabei waren. Sie haben

unendlich viele Hürden innerhalb der deutschen Ministerialbürokratie überwunden, von deren Existenz wir im Innenministerium des Landes Schleswig-Holstein gar keine Ahnung hatten. Hierbei haben sich ein Dutzend sehr engagierter und weit-sichtiger Menschen durch ihr kontinuierliches Wirken im Hintergrund allergrößte Verdienste um den Meeresschutz erworben. Darüber wird sicher nie konkreter gesprochen werden, doch ich bin sehr dankbar für diese Begegnungen und freue mich, wenn ich an diese besonders vertrauensvolle Zusammenarbeit »hinter den Kulissen« zurückdenke.

Sie waren in der Geschäftsführung der Sonderstelle »Munition im Meer« beim MELUND, dem Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein. Heute sind Sie beim Technischen Hilfswerk beschäftigt. Wie kam es zu dem Wechsel? Was machen Sie beim THW?

Beim THW bin ich schon seit 1980 ehrenamtlich tätig, seit 2006 als Einsatzkraft auch für internationale Einsätze im Auftrag der Bundesregierung. Die Entscheidung des Deutschen Bundestages, Mittel für die Umsetzung des »Sofortprogramms Munition im Meer« bereitzustellen, markiert aus meiner Sicht den Abschluss meines Auftrages aus dem Jahr 2008. Das THW hatte mir eine sehr spannende Position in Kiel angeboten. Seit November 2022 arbeite ich daher als Referent Einsatz für den Landesverband, der die Bundesanstalt in den drei norddeutschen Küstenländern vertritt.

### Was möchten Sie gerne besser können?

Ich würde gerne schneller Wesentliches von Vernachlässigbarem unterscheiden können, um meine begrenzte Kraft stets »richtig« einzusetzen.

### Was wissen Sie, ohne es beweisen zu können?

Dass es da draußen für alle meine Fragen Menschen gibt, die die Antwort kennen oder sie für mich finden würden. //

*»Es ist ein klarer Vorteil, dass in Deutschland zivile Behörden für die Gefahrenabwehr zuständig sind. In anderen Staaten sprengt die Marine entdeckte Munition, noch bevor überhaupt jemand Notiz davon nehmen konnte. So ein Vorgehen widerspricht meiner Meinung nach den globalen Zielen der Vereinten Nationen für den Meeresschutz«*

Claus Böttcher

# Magnetic data optimisation for advanced UXO interpretation

An article by SARA LISE UNDERHAY, JACK BRIGHOUSE, DORTHE RENG HANSEN, ANNELIES VANSTRAELEN, OLIVER THOMAS, DAVID SINCLAIR, JOEP GROOTEN, MIRCO CZERWONKA, BENOIT DE CABISOLE and TIZIANA BELLOMO

Collaborative industry research was undertaken to provide insight into survey planning, processing and modelling of magnetic data for UXO mitigation. The outcomes should help to increase understanding factors relevant if advanced interpretation is desired, which could then be used to improve accuracy and reduce false positives during target discrimination. Current industry methods are explored to provide practicable insight for developers, UXO consultants and survey companies. The data sets comprised magnetic data from 220 found munitions, a controlled drone test over an inert munition, a vertical gradient test series over a surrogate item and synthetic data. Significant research was undertaken on a variety of topics, however, here we have confined the discussion to just the key results regarding altitude correction, munition response, synthetic items, modelling and acquisition sampling. This document closes with a summary of a potential workflow for advanced interpretation as supported by the research.

UXO | magnetic data | advanced processing and modelling | synthetic data | industry research  
 UXO | Magnetikdaten | fortgeschrittene Verarbeitung und Modellierung | synthetische Daten | Industrieforschung

In Zusammenarbeit mit der Industrie wurden Forschungsarbeiten durchgeführt, um einen Einblick in die Planung, Verarbeitung und Modellierung von magnetischen Daten zur Entschärfung von Blindgängern zu gewinnen. Die Ergebnisse sollten zu einem besseren Verständnis der Faktoren beitragen, die relevant sind, wenn eine erweiterte Interpretation erwünscht ist, die dann zur Verbesserung der Genauigkeit und zur Verringerung falsch positiver Ergebnisse bei der Zielunterscheidung genutzt werden könnte. Die aktuellen Methoden der Industrie werden untersucht, um Entwicklern, UXO-Beratern und Vermessungsunternehmen einen praktikablen Einblick zu geben. Die Datensätze umfassten magnetische Daten von 220 Munitionsfunden, einen kontrollierten Drohnentest über einer inerten Munition, eine vertikale Gradiententestserie über einem Ersatzobjekt und synthetische Daten. Es wurden umfangreiche Forschungsarbeiten zu einer Vielzahl von Themen durchgeführt, doch beschränken wir uns hier auf die wichtigsten Ergebnisse in Bezug auf die Höhenkorrektur, die Reaktion der Munition, die synthetischen Elemente, die Modellierung und die Erfassungsproben. Dieses Dokument schließt mit einer Zusammenfassung eines potenziellen Arbeitsablaufs für eine erweiterte Interpretation, wie sie durch die Forschung unterstützt wird.

## Authors

Jack Brighthouse works at ALM Geophysics.  
 Dr. Sara Lise Underhay, Dr. Benoit de Cabissole and Tiziana Bellomo work at Deep BV.  
 Dr. Dorte Reng Hansen previously worked for Ørsted and now works for Ceridwen.  
 Annelies Vanstraelen and Oliver Thomas work at Ørsted.  
 David Sinclair, Joep Grooten and Mirco Czerwonka work at TenneT.

ANNVA@orsted.com

## Key findings

- There is extreme variation in the anomaly amplitude of previously found munitions. For example, standard deviations of over 100 nT for 30 1000-lb bombs.
- Therefore, anomaly amplitude should not be used as the sole discrimination method within the target list.
- The practice of using a single instance of an inert munition, or a surrogate item to determine the response at various altitudes is inconsistent between equivalent items and so should not be used to define survey specification. Synthetic data is a recommended alternative to determine the possible detection distance of a munition for a given geographic location.
- The altitude correction performed better when the correction distance was less than 25 % of the total altitude. Ideally, a survey would have a tighter range of altitude requirements with a minimum altitude requirement as well as a maximum.
- It is recommended to use Batch fit modelling within Oasis montaj to refine initial target positions, estimate depth, and calculate the magnetic moment and a modelled diameter.
- Apparent weight performed poorly, is based on outdated science and should not be used.
- Anomaly amplitude and the accuracy of modelled values (depth, position and magnetic moment) are strongly influenced by sensor spacing and gap sizes.
- Data accuracy improved when the maximum sampling frequency in the data set was less than  $\frac{1}{2}$  (though ideally to  $\frac{1}{3}$  or  $\frac{1}{5}$ ) the maximum source-sensor separation. This sampling

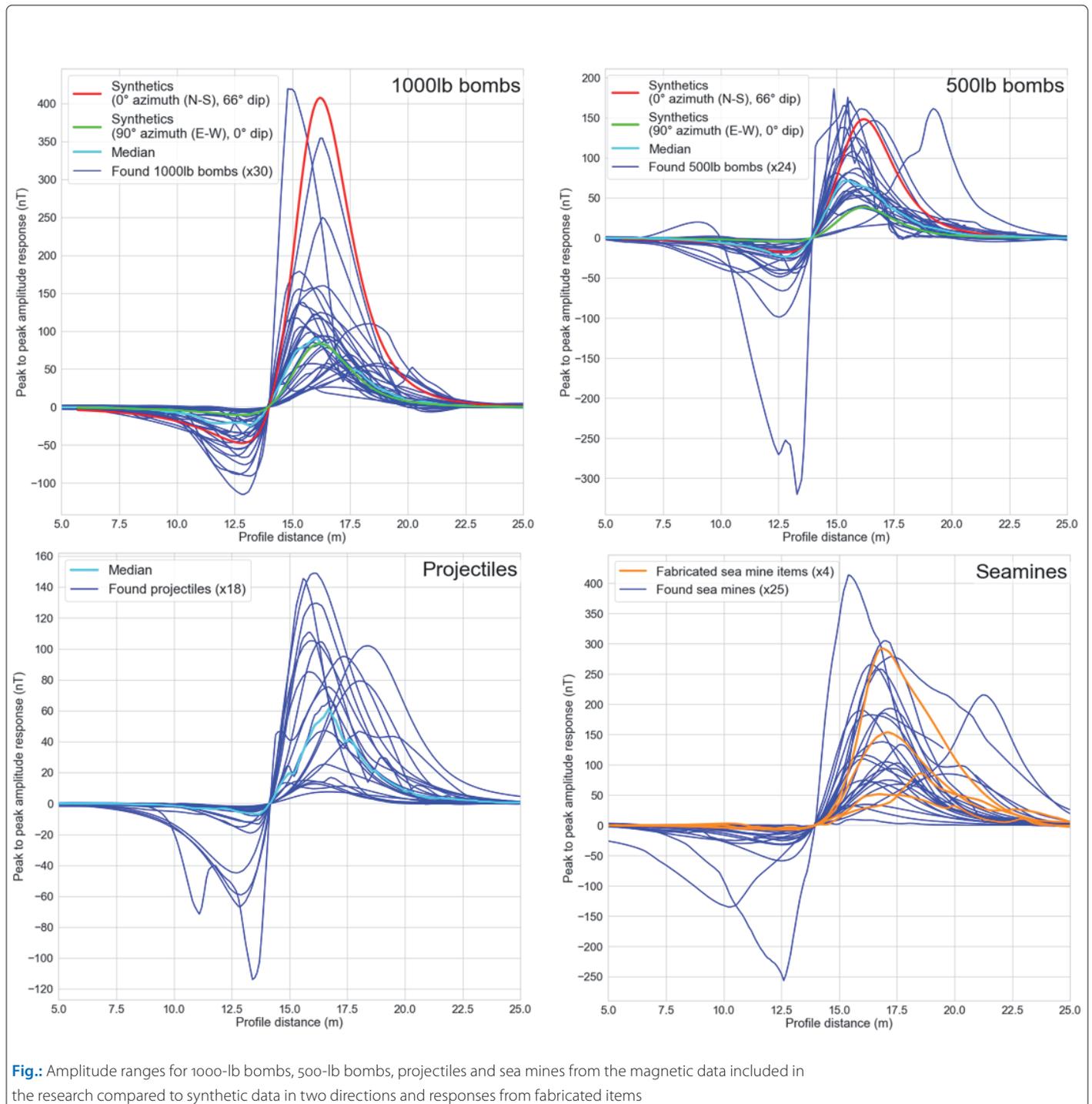
## Fact Box 1

## Measured response amplitude of found UXO

Profiles were extracted over the peak positive and negative responses of 30 1000-lb bombs, 24 500-lb bombs, 18 projectiles, 25 sea mines and 4 fabricated sea mine items. The data was collected in the North Sea and has been corrected to 2.75 m above each item using the altitude correction in Brighthouse et al. (2024). The 1000-lb bomb and 500-lb bomb graphs also show the synthetic response produced using the McFee (1990) method presented here at an equivalent 2.75 m height above the item. The synthetic responses are shown at the most

favourable (north-south, 66°) and least favourable (east-west, 0°) orientations and dip angle for amplitude size.

There are multiple reasons why the amplitude of a found UXO response could be smaller than the smallest synthetic response, including item degradation, missing tail fins, high amount of remanent magnetism and non-horizontal item alignment. However, we consider the most likely cause to be the large sensor spacing and resulting lower data density over some of the included UXO.



frequency includes the (fixed frame) sensor spacing and any allowance for along track and across track gaps.

Most results found here can be implemented by changes in the scope of work for future offshore survey campaigns. These changes will primarily comprise tailored survey specifications fitting the threat level on the site and intended interpretation level for the data set. A benefit of an improved magnetic data set and the potential for advanced interpretation is a reduction in false positive investigations and more efficient investigation campaigns.

Disclaimer: All information contained in this document has been researched, calculated and compiled to the best of our knowledge and belief. Nevertheless, no guarantee can be given for

the accuracy of the information. No liability is assumed for the assessment of anomalies based on this document.

## Munition response

Profiles were extracted over the peak positive and negative responses of 1000-lb bombs, 500-lb bombs, projectiles and sea mines (see [Fact.Box.1](#) for cross sections). The data was collected in the North Sea and has been corrected to 2.75 m above each item using the altitude correction approach introduced in Brighthouse et al. (2024). Synthetics were modelled for the 1000-lb bomb oriented horizontally with the long axis east-west (lower response) and north-south (higher response) for comparison against the measured response (more details on synthetics in the next section and in [Fact.Box.2](#) and [Fact.Box.3](#)).

## Fact Box 2

### Synthetic modelling theory and validation

#### Magnetic modelling theory for munitions

The synthetic magnetic response for this project was created using a forward model for a uniformly magnetised solid spheroid implemented in Python 3.9 using the multipole expansion method detailed in McFee and Das (1990) and further explained in Butler (1998). The algorithm is based on a solid spheroid with the length along the major axis of symmetry, a diameter across the minor axis, a relative magnetic permeability (1000) and an orientation (azimuth and dip). The International Geomagnetic Reference Field (IGRF) acts as the inducing field and the output is a 2D array representing a horizontal plane of the Total Magnetic Field magnitude (McFee and Das 1990). Cross sections, amplitudes and other metrics are extracted from this 2D array.

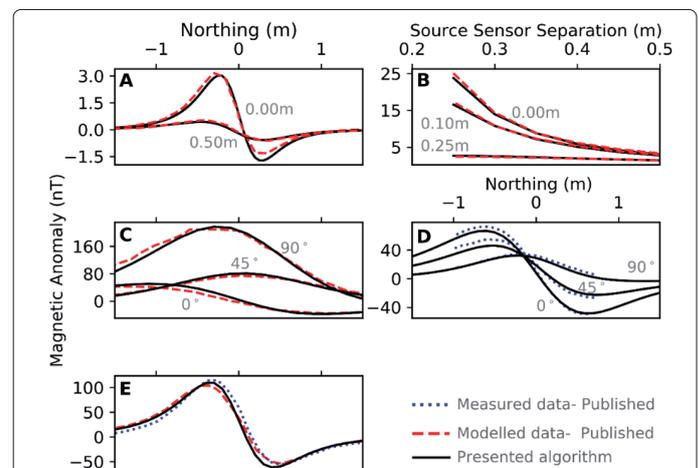
The elongated shape and the high magnetic permeability of the steel in the casing for many munitions is important to account for in a synthetic model as it creates an internal magnetic field that opposes the inducing field, effectively reducing the object's magnetisation. This phenomenon is referred to as self-demagnetisation and is a function of the relative permeability and the object's shape and orientation within the inducing magnetic field (McFee and Das 1990). The demagnetisation effects are amplified with elongation, and spheroids with aspect ratios greater than 1 will experience significantly different magnetisations along their major and minor axes. When magnetised along its long axis, increasing aspect ratio will result in significantly increased magnetisation (Butler 2001). When magnetised along its short axis, increasing aspect ratio can result in decreased magnetisation. For example, in the North Sea, this means that when the long axis of the munition is aligned with the IGRF (north-south, with a dip of around 66°), the magnetic response will be considerably stronger than when it is perpendicular (east-west and laying horizontal).

Though relative magnetic permeability can have a significant effect on the magnetisation of spheroids (especially with larger aspect ratios), it is not considered a critical parameter as the magnetisation tends to saturate quickly above 150-250 (unitless) and increase only by about 10 % up to 1000 (Butler 2001). Most modelling studies fix the relative magnetic permeability at 1000. Shell thickness does not have a signifi-

cant effect on the magnetisation, unless it is very thin (Altshluer 1996). The algorithm assumes that the magnetisation is wholly induced.

#### Synthetic model validation

Validation of the presented algorithm was performed against published data from previous implementations of the maths and of measured data. The figure shows the following validation comparisons: Panel A: Magnetic anomaly of a 20-mm projectile at 0.5 m altitude and measured with a north-south profile directly over the munition and at a 0.5 m offset (Butler et al. 2012). Panel B: Magnetic anomaly maximum of a modelled 20-mm projectile (Butler et al. 2012). Panel C: Magnetic anomaly of a 175-mm projectile pointing north at dips of 0° (horizontal), 45° and 90° (vertical) (Simms et al. 2004). Panel D: Magnetic anomaly of a horizontal 105-mm projectile at azimuths of 0° (north), 45° and 90° (east) (Butler et al. 1998). Panel E: Magnetic anomaly of a horizontal 105-mm projectile pointing north. Both modelled and measured data are presented (Butler et al. 1998).



**Fig.:** As demonstrated in [Fact.Box.1](#) in practice it is possible for UXO to have lower responses than the synthetics, with munition degradation and lower sampling of responses not considered in the synthetics

The absolute difference in the ranges of amplitudes is greater than 500 nT for the sea mines and 1000-lb bombs, highlighting the response variability that can be found within a single munition type. Note, there is variation in ferrous content between the different types of 1000-lb bombs (e.g. GP, SAP and MC) and also size variation within the sea mines plotted in Fact Box 1. The sea mine plot also displays the response of four fabricated surrogate items with the same dimensions and weight, showing that there is a significant variation in response within these items, as well as between the real munitions and the surrogates.

The variation in response may be attributed to factors intrinsic to the munition (physical properties) and its unique relationship with the Earth's magnetic field. In 1996, Altshuler showed that the orientation of a munition can change the shape

and amplitude of the response, with greater variation among elongated items, and less with more spherical items. Other unknown magnetisation factors, such as remanence or demagnetisation may be contributing to the variation. Differences in the degradation and rusting of the munitions may also be considered a significant influence on response amplitude.

Also, extrinsic factors (determined by the acquisition and processing) must be considered. Variation in sampling such as sensor or line spacing and the presence of gaps within the data sets can have a large effect on the shape and amplitude of the signal (see »Sensor spacing and coverage« section). Additionally, the exponential relationship between changes in source-sensor distance and changes in amplitude must be considered. In this case the application of an altitude correction to account for this

### Fact Box 3

#### Synthetic munition response – detection range

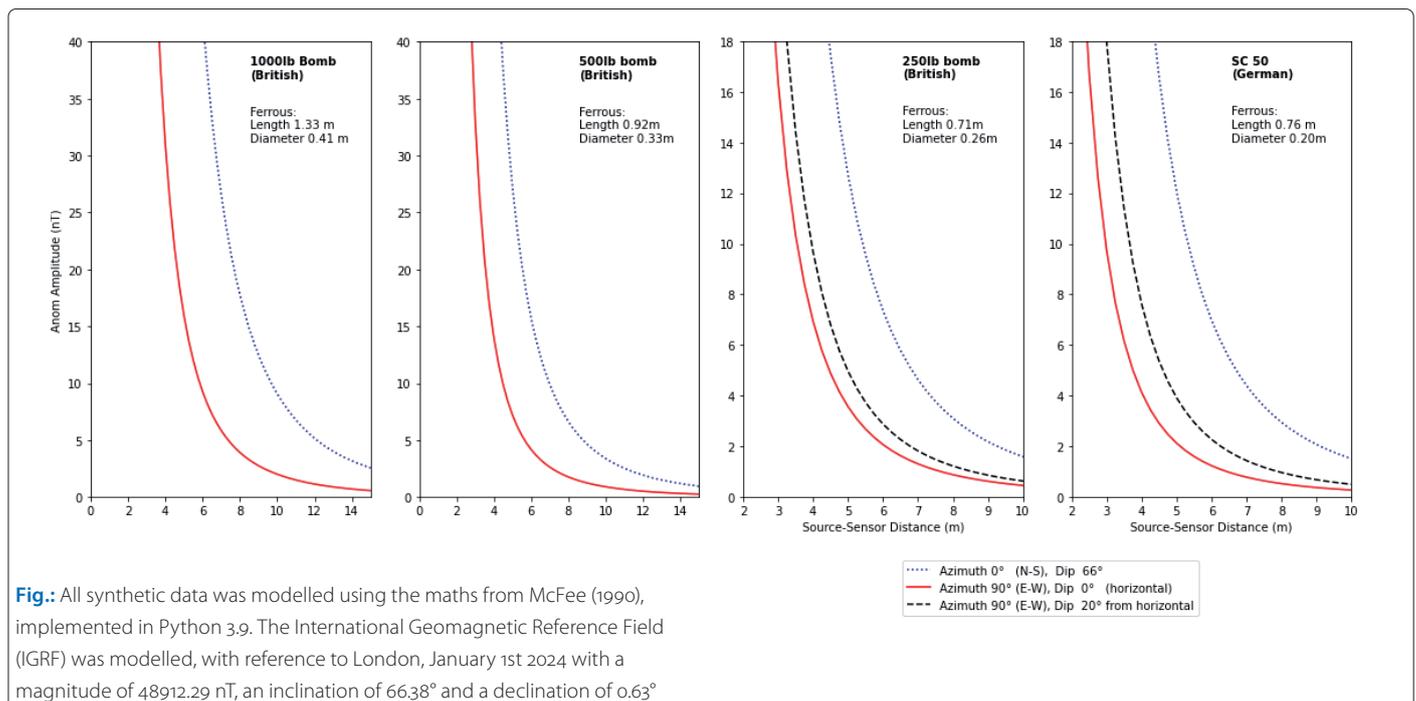
The figure shows examples of detection curves for four munitions, modelled using synthetic data. The magnetic anomaly amplitudes are shown against source-sensor distance from an induced spheroid oriented perpendicular (dip 0°, azimuth 90°) and parallel (dip 66°, azimuth 0°) to the IGRF, producing the lowest (red) and highest (blue) responses respectively. An additional detection curve is shown on the 250-lb and SC50 bombs as an example of a response that could occur with a slight variation in object orientation (dip 20°, azimuth 90°).

Detection ranges using the lowest response of a munition can be helpful in determining the maximum source-sensor distance and therefore sensor altitude and sampling requirements for advanced interpretation. If achieving the desired altitudes proves challenging in

practice due to seabed characteristics, it may be necessary to use a higher detection threshold.

The detection ranges assume a wholly induced response of a solid prolate spheroid and do not account for remanence or demagnetisation. Relative magnetic permeability was set to 1000 (unitless). The data was modelled onto a grid with 0.2 m cell size and the amplitude sampled as the maximum and minimum of the modelled area. All object dimensions were extracted from Zetica Ordnance Data Sheets, and the ferrous dimensions were used and do not include tail fins.

Please note that these values should be used for guidance only, and each survey should model their own munition response with local parameters.



may have contributed some error, though likely less than approximately 20 % of the amplitude variation (see »Altitude correction« section). It is possible to control for the extrinsic factors with acquisition and processing practices and reduce the variability to those intrinsic to the munition type.

The variation in the responses from the real munitions and surrogate item responses demonstrate that the practice of using a single instance of an item to determine the response at various altitudes is unreliable and should not be undertaken.

### Determining target thresholds: surrogates and synthetic data

The previous section highlights the variation in response from real UXO, synthetics and fabricated items which raises the question – what should we base UXO project thresholds on if we shouldn't use surrogates? Synthetic data could be the answer, with the ability to provide the expected response for any item at any detection range for any part of the world. Here we compare the response range from different synthetic munitions to previously found UXO and fabricated items.

Fig. 1 shows the range in response amplitude and magnetic moments that can be explained by orientation (horizontal to the seabed) of the item. However, we see the measured responses still extend outside of the expected synthetic range. Potential causes for this additional variation in the real UXO are likely attributed to the intrinsic and extrinsic causes noted in the previous section (such as variation in sampling gaps in the data,

altitude variation or altitude correction errors, as well as possible degradation of the items, missing parts of the item and vertical orientation variation). Additionally, the synthetic data was modelled off the dimensions of one item, and then rotated to provide the possible range. The accuracy of the dimension values as well as the variations in retrieved measurements of other munitions may explain some of the response variation.

There are multiple methods to create synthetic data. Caution must therefore be used to ensure that at minimum, the model is based on the ferrous dimensions, accounts for self-demagnetisation effects of the item orientation, and uses the project location and date to determine the inducing Earth's magnetic field.

To ensure the lowest response of an item, the orientation of the long axis should be perpendicular to the Earth's magnetic field at the project location. In northern Europe this would be approximately horizontal and with the long axis-oriented east-west.

In a project scenario where synthetics are used, the mathematical model should be shared in the report, with literature references.

This report provides the synthetic cross-sectional responses of the 1000-lb and 500-lb bombs for comparison against measured responses in Fact Box 1. Additionally, in Fact Box 3 the amplitude detection is modelled for the 1000-lb, 500-lb, 250-lb British bombs and a German SC50 bomb.

Though synthetic data is highly recommended, if real items are to be used, then it is important that the dimensions (length, diameter and general shape) match the ferrous dimensions of the minimum threat item. Additionally, it should be ensured that the objects are oriented perpendicular to the Earth's magnetic field to provide the lowest response.

### Altitude correction

Deep's vertical gradient Iron Lady configuration was used to run a surrogate item test at various altitudes over a fabricated 50-kg item. The fixed frame array had eight sensors (four top and four bottom), with a 0.5 m vertical separation between sensors. This was an optimal set-up to test the altitude correction, as it allowed for tests of both upward and downward continuation, and then comparison against the measured values. The Oasis Montaj altitude correction (green square in Fig. 2) was compared to inverse cube root scaling and the sensor-source scaling method described in Brighthouse et al. (2024), using different structural indices. Fig. 2 shows the upward continuation results:

There are errors and uncertainties present in both applying and not applying an altitude correction. This research highlights some guidance for both scenarios:

- If no altitude correction is performed, there may still be an error in the data from inconsis-

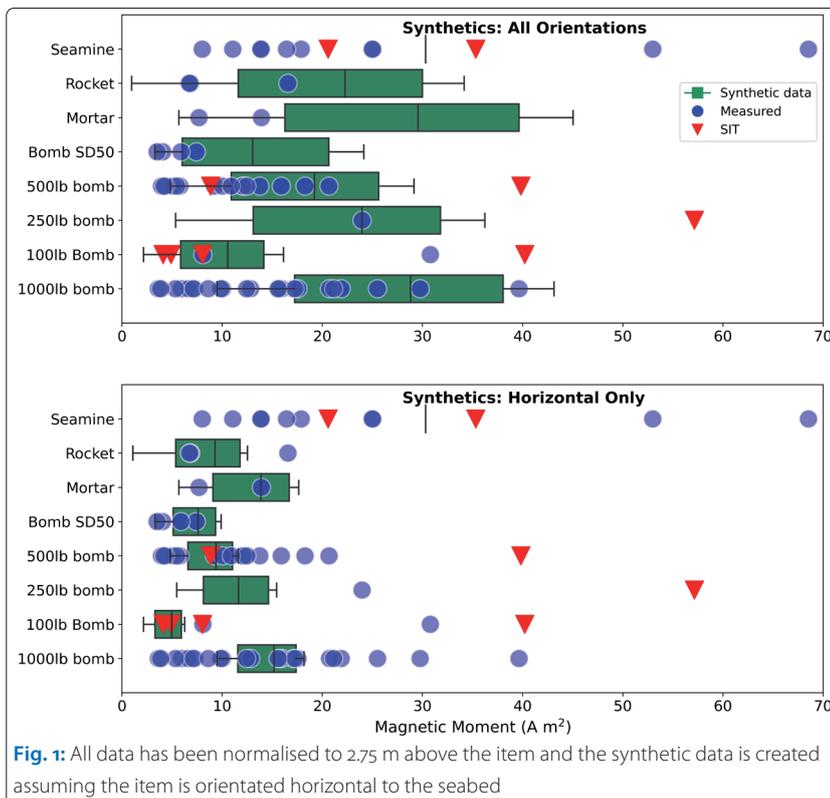
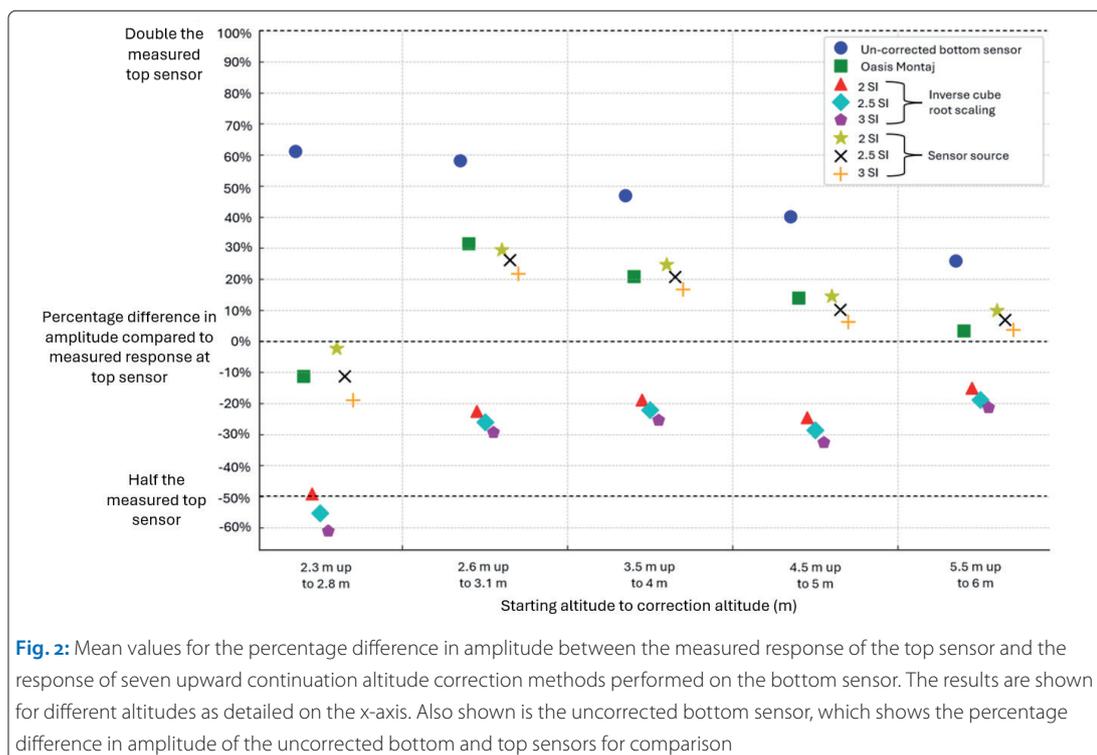


Fig. 1: All data has been normalised to 2.75 m above the item and the synthetic data is created assuming the item is orientated horizontal to the seabed



**Fig. 2:** Mean values for the percentage difference in amplitude between the measured response of the top sensor and the response of seven upward continuation altitude correction methods performed on the bottom sensor. The results are shown for different altitudes as detailed on the x-axis. Also shown is the uncorrected bottom sensor, which shows the percentage difference in amplitude of the uncorrected bottom and top sensors for comparison

ent altitudes and extra care must be taken during background removal, target picking and modelling. Fig. 2 highlights that the error when not correcting is greater than all the tested altitude correction approaches.

- The altitude correction performed better when the correction distance was less than 25 % of the total altitude.
- In other tests which were part of the research, there were no significant differences between altitude correction applied on the total field (pre-processing) or residual (post-processing).
- If an altitude correction is used, the software or method (including version) should be noted in the report with the number of continuation levels and the low pass factor used.
- The altitude of each target should be reported in all further outputs, regardless of whether an altitude correction is performed.

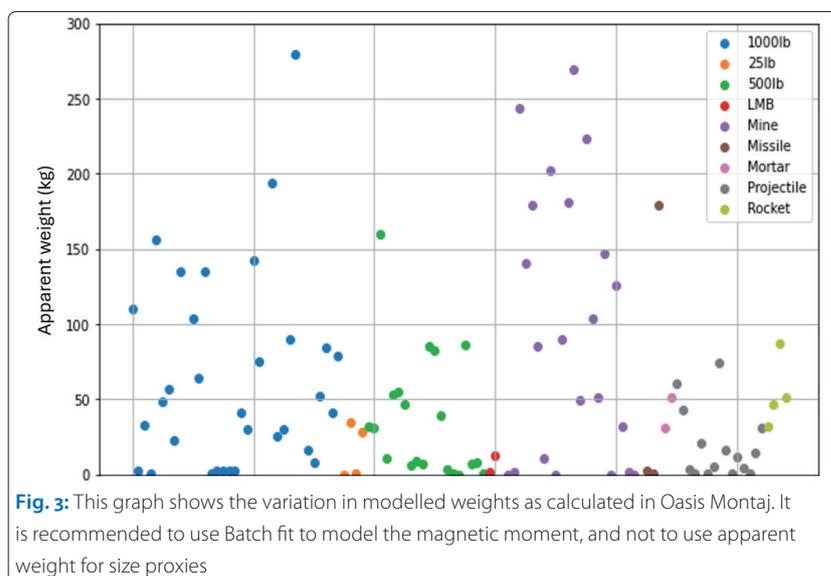
### Modelling: magnetic moment and apparent weight

The apparent weight, as an output from Euler Deconvolution, and the magnetic moment as an output from Batch fit, both from Oasis Montaj, are explored as size proxies for the recovered munitions (note: size may mean mass, volume or object dimensions depending on context). The apparent weight values were compared against the measured weights, though the magnetic moment did not have a direct value to compare against.

- Apparent weight values are based on outdated science which supposes that the magnetic response is related to the mass of a ferrous ob-

ject. Instead, it was found, by multiple authors that it is in fact the volume and the aspect ratio (length/diameter) which are the controlling factors for the magnetic response and which can vary significantly with object orientation (McFee 1990; Altshuler 1996; Billings 2002).

- Many munitions modelled here (Fig. 3) have apparent weights which ranged from almost zero to several hundred kilograms and which were highly dependent on the structural index and the window size for Euler Deconvolution.
- There was only a 14 % mean variation in the magnetic moments calculated from un-altitude corrected data and data altitude corrected using Oasis Montaj, a notably lower variation



**Fig. 3:** This graph shows the variation in modelled weights as calculated in Oasis Montaj. It is recommended to use Batch fit to model the magnetic moment, and not to use apparent weight for size proxies

Munition type	Items measured	Magnetic moment Am <sup>2</sup>	
		Lowest	Mean
Mine	24	8.0	41.0
1000 lb	35	3.6	15.8
500 lb	20	4.0	11.0
Projectile	15	2.0	10.3

**Table 1:** Mean and lowest magnetic moments for previously found items measured on un-altitude corrected data using Oasis Montaj Batch fit inversion in the UXO marine module, version 2022.2

than seen in the response amplitude. However, the range of magnetic moments was often larger within a munition type than across munition types and therefore it cannot be used to discriminate between munitions. The lowest magnetic moments from Table 1 are higher than the magnetic moments for many debris currently on target lists (Brighthouse et al. 2024).

- The confidence coefficient (Fit\_coh) within Batch fit was useful to determine the data quality, with values above approximately 0.8 generally providing more repeatable results. Note that this value does not determine the validity of the interpretation only that the input data allowed for a mathematical fit.
- Batch fit produced more accurate results than Euler Deconvolution for depth modelling and positioning estimates.

### Sensor spacing and coverage

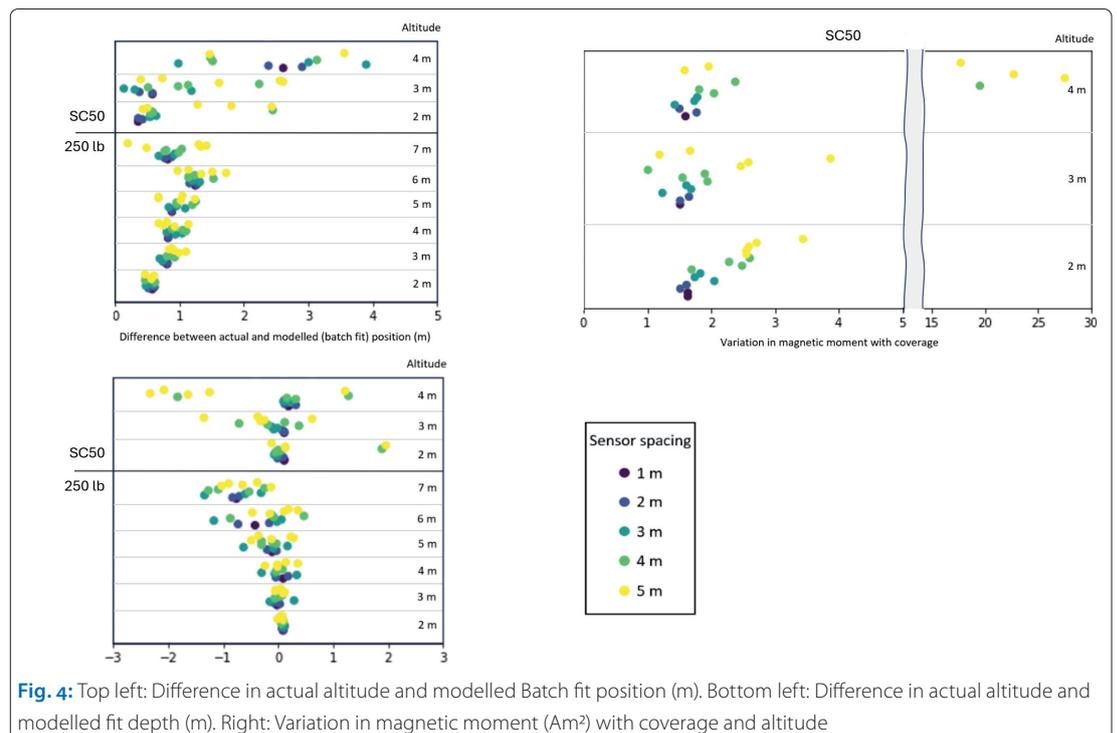
A high-resolution drone data set over an inert SC50 bomb and a fabricated 250-lb bomb was used to explore the impact of different sensor spacing on

modelling results. The initial data set was acquired with 1-m sensor spacing and at 1-m altitude intervals. Sensor tracks were progressively removed from the data set to artificially create larger sensor spacings. At the larger sensor spacings, different combinations of lines were chosen to demonstrate the variability of responses depending on where the lines sampled the anomaly. Munitions had depths of 0.0 m and were oriented with their long axis east-west.

The graphs in Fig. 4 show reduced precision in the modelled results due to aliasing caused by scarce sampling in large sensor spacing, especially at lower amplitudes, such as for the SC50. The magnetic moment of the SC50 was almost 15x larger in the wider sensor spacings at 4-m altitude than with a 2-m sensor spacing.

To properly characterise an anomaly, at least two points on the signal must be sampled per shortest wavelength (referred to as the Nyquist frequency), though even at this sampling frequency, aliasing can occur (Billings and Richards 2000). The wavelengths of magnetic anomalies have an approximately linear relationship to source-sensor-separation (in this test, altitude). Though the Nyquist frequency is about 1/2 of the source-sensor separation, to ensure that the magnetic anomalies can be reliably interpreted, a sampling rate of 1/5 to 1/3 of the source-sensor separation is required (Carbon-Trust 2020; Wehner and Frey 2022). This should refer to sensor spacing, along and across track gaps.

Ensuring that data sampling is optimised for advanced interpretation starts at the survey design phase. Synthetic data can be used to determine the maximum detection distance for a minimum



**Fig. 4:** Top left: Difference in actual altitude and modelled Batch fit position (m). Bottom left: Difference in actual altitude and modelled fit depth (m). Right: Variation in magnetic moment (Am<sup>2</sup>) with coverage and altitude

threat item (as detailed in the next section). The sensor spacing and gap tolerance can be determined as noted above, however the balance between ideal data and achievable data must also be considered, with very low maximum sensor spacing not always considered reasonably achievable.

In practice, the tight across track gaps for advanced interpretation can be difficult to achieve, so if it is necessary to have larger gaps between adjacent lines, it was observed that the target interpretations are likely to be aliased resulting in larger amount of false-positives during investigation campaigns.

### Proposed workflow for advanced interpretation

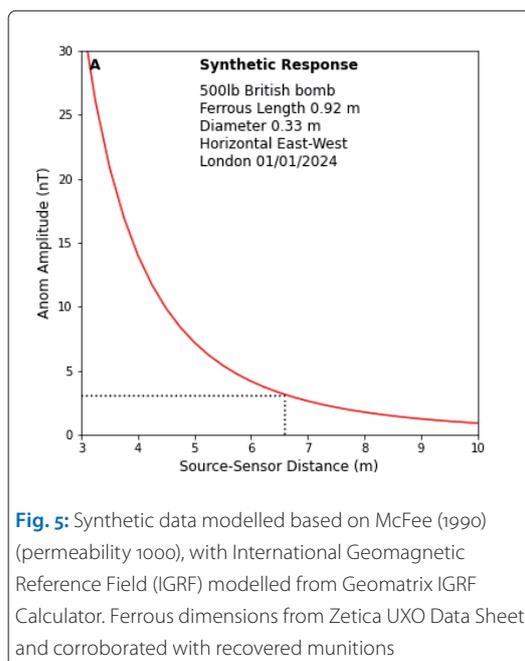
Given the findings, a proposed workflow for optimised results of advanced interpretation is described for the pre-survey, acquisition, processing and interpretation stages. These combined steps are intended to improve the survey set-up to detect the minimum threat items whilst reducing false-positives from acquisition and processing artefacts. The quality of the data will also then be sufficient for more advanced discrimination techniques as they become available.

Note that the values used in the following workflow is an example scenario only, and any values should be recalculated for each survey.

The minimum threat item is established at the start of the project in a desktop study. Synthetic data can then be used to model this item's total field response at various source-sensor distances using its ferrous length and diameter, and orienting the synthetic item perpendicular to the Earth's magnetic field, where the response should be at its lowest (approximately horizontal and east-west in the North Sea). The maximum source-sensor distance suitable for advanced interpretation in the project can then be defined. This distance should consider the predicted noise floor of the sensor system, the intended amplitude picking threshold (3-nT amplitude used here for example), the required burial depth and the survey altitude safely achievable by the proposed equipment and the intended maximum accepted across-track sensor spacing.

As an example, Fig. 5 shows that a 500-lb bomb near London, UK, is likely to have an anomaly amplitude response of 3 nT at 6.6 m source-sensor distance when in its worst-case orientation. With low noise in the sensors and the acquisition environment, the amplitude threshold could be lowered, which could increase the maximum detection distance. For this example, we will keep the picking threshold at 3 nT and assume a required burial depth of 2.0 m.

For the data to be optimally sampled, we would ideally have a 1.3-m to 2.2-m sensor spacing for



**Fig. 5:** Synthetic data modelled based on McFee (1990) (permeability 1000), with International Geomagnetic Reference Field (IGRF) modelled from Geomatrix IGRF Calculator. Ferrous dimensions from Zetica UXO Data Sheet and corroborated with recovered munitions

this example ( $\frac{1}{5}$  to  $\frac{1}{3}$  of the source-sensor separation). In practice a maximum 2.2-m across-track gap is difficult to achieve, so in this example we will use 3.0-m maximum sensor spacing, which still performed reasonably in the coverage section. The maximum altitude in this example would be 4.4 m as detailed in the equation:

$$\text{maximum flying height} = \sqrt{\left(\text{source sensor separation}^2 - \left(\frac{\text{maximum sensor spacing}}{2}\right)^2\right)} - \text{burial depth}$$

To minimise the number of smaller debris items creating large anomalies, to reduce aliasing and to reduce the altitude correction distance, a minimum altitude is recommended. This minimum altitude should be a compromise between the sampling requirements and operational limitations. An upward continued altitude correction to the maximum altitude can then be performed, reducing the impact of amplitude variation.

After careful processing, targets above 3 nT (used as an example threshold only, and should be project dependent) could be picked with an automatic tool, then checked and adjusted by the processor as necessary to ensure a single target per anomaly. The positions could then be refined through inversion in Oasis Montaj Batch fit, where the depth, magnetic moment and fit\_coh can also be extracted. Targets with fit\_coh values less than approximately 0.8 can be investigated for data quality issues. Magnetic moments may be used with caution to discriminate between particularly small and large objects and comparing the responses to a library of previously found target responses (for example, Brighthouse et al. 2024) could be used to further improve the statistical confidence of the target list. //

### Acknowledgements

The authors would like to thank the reviewers Jens Andreas Rasmussen, Dr. Anja Drews, Erik Fijlstra and Klaas Visser for their comments and suggestions that greatly improved the quality of the manuscript.

## Glossary

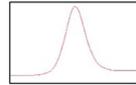
**across-track gap** lack of acceptable data perpendicular to the direction of acquisition

**along-track gap** lack of acceptable data parallel to the direction of acquisition

**altitude correction** [nT] mathematical transformation of the magnetic data as if it had been acquired at a different altitude. It is created using upward and downward continuations in the Fourier domain and can be calculated along a survey line (1D) or over a gridded area (2D)

**altitude of sensor** [m] Vertical distance of the sensor above the seabed

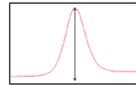
**analytic signal (AS)** [nT/m] maximum gradient of the magnetic anomaly, and is defined as:



$$\sqrt{\left(\frac{d\|\vec{T}\|}{dx}\right)^2 + \left(\frac{d\|\vec{T}\|}{dy}\right)^2 + \left(\frac{d\|\vec{T}\|}{dz}\right)^2}$$

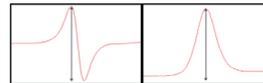
where  $\vec{T}$  is Total Magnetic Field anomaly and x, y, z are the Cartesian directions. It results in a positive peak, approximately centred over the causative body

**analytic signal amplitude** [nT/m] analytic signal



maximum

**anomaly amplitude** (peak to peak, P2P) [nT] the amplitude of an anomaly is defined based on the shape:



Dipole: Anomaly maximum – Anomaly minimum

Positive monopole: Anomaly maximum

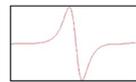
Negative monopole: Anomaly minimum

**background removal** [nT] a process which removes the longer wavelengths from the signal. These longer wavelengths include the International Geomagnetic Reference Field (IGRF), the diurnal variation and the geology

**complex anomaly** [nT] an anomaly which is neither a monopole nor a dipole. For example, causes for complex anomalies can include (but are not limited to) higher order magnetic moments, multiple ferrous objects clustered together, or shallow geology which was not removed during the background removal

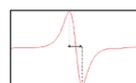


**dipole** [nT] a magnetic anomaly which has both a positive and a negative pole (peak and trough).



The point of maximum gradient is often centred over the causative body

**dipole length** (peak-to-peak distance) [m] length of a



horizontal line connecting the anomaly maximum and minimum

**equipment verification test (EVT)** pre-survey equipment and detection check to test functionality of all systems within the array which will be used for the planned survey. The test is used to verify the quality of the raw data, confirm positional accuracies and document the capabilities and limitations of each instrument. The test is performed over a known object on a test site close

to or within the survey area with all sensors running simultaneously. Lines are usually run in four directions (Cooper et al. 2015)

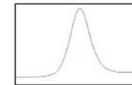
**inert munition** real munition with explosives removed

**International Geomagnetic Reference Field (IGRF)** [nT] a mathematical model representing the Earth's magnetic field calculated by the International Association of Geomagnetism and Aeronomy. True measurements and predictions are updated every five years (Thébaud et al. 2015)

**line spacing** [m] lateral spacing between vessel tracks

**magnetic moment** [Am<sup>2</sup>] a vector quantity describing the strength and orientation of the total magnetisation (including induced and remanent components) of a ferrous object

**monopole** [nT] single peak in the magnetic data. Can be positive or negative. Usually centred approximately over the causative body



**nanoTesla** [nT] magnetic units

**residual** [nT] data which remains after the background has been removed from the total magnetic intensity data. This should centre around zero, with dipoles having negative and positive values for their poles

**sensor spacing** [m] the lateral distance between the individual sensors

**source-sensor separation** [m] total distance between the sensor and the object of interest. Usually referenced to the centre of the object

**surrogate item** non-munition object created to mimic the physical properties of the unexploded ordnance of interest

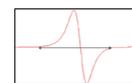
**Surrogate Item Trial (SIT)** pre-survey equipment and detection check used to prove the capability of the magnetometers to detect potential UXO items within a survey area. The trial has been thought to assist in the determination of the geophysical characteristics of the expected UXO target to aid positive identification and to determine the survey parameters and cut-off values for the survey. The test usually involves multiple short acquisition lines over an object with known ferrous dimensions in various line orientations, lateral offsets and altitudes (Cooper et al. 2015)

**synthetic modelling** The process of mathematically calculating a geophysical signal

**target** a magnetic anomaly in the residual data which has the appropriate amplitude above the defined threshold or wavelength

**UXO** unexploded ordnance

**wavelength** [m] total horizontal width of the anomaly



## References

- Altshuler, Thomas (1996): Shape and orientation effects on magnetic signature prediction for unexploded ordnance. Proceedings from UXO forum '96, pp. 282–291
- Billings, Stephen D.; Leonard R. Pasion; Douglas W. Oldenburg (2002): Inversion of magnetics for UXO discrimination and identification. Proceedings of the UXO Forum, [www.researchgate.net/publication/242370931](http://www.researchgate.net/publication/242370931)
- Billings, Stephen D.; Dave Richards (2000): Quality control of gridded aeromagnetic data. *Exploration Geophysics*, DOI: 10.1071/EG00611
- Brighouse, Jack; Martin Wood; Eoin McGregor et al. (2024): Inverse modelling and classification of magnetic responses to improve marine unexploded ordnance rationalisation. *Geophysical Journal International*, DOI: 10.1093/gji/ggad490
- Butler, Dwain; Ernesto R. Cespedes; Cary B. Cox; Paul J. Wolfe (1998): Multisensor Methods for Buried Unexploded Ordnance Detection, Discrimination, and Identification. US Army Corps of Engineers
- Butler, Dwain; Paul J. Wolfe; Richard O. Hansen (2001): Analytical Modeling of Magnetic and Gravity Signatures of Unexploded Ordnance. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, DOI: 10.4133/JEEG6.1.33
- Butler, Dwain; Janet E. Simms; John S. Furey; Hollis H. Bennett (2012): Review of Magnetic Modeling for UXO and Applications to Small Items and Close Distances. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, DOI: 10.2113/JEEG17.2.53
- CarbonTrust (2020): Guidance for geophysical surveying for UXO and boulders supporting cable installation. Offshore Wind Accelerator April 2020
- Cooper, Nick; Simon Cooke (2015): Assessment and management of unexploded ordnance (UXO) risk in the marine environment. Ciria
- McFee, John E.; Yagadish Das (1990): A multipole expansion model for compact ferrous object detection. 1990 Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics
- Simms, Janet E.; Robert J. Larson; William L. Murphy; Dwain K. Butler (2004): Guidelines for planning unexploded ordnance (UXO) detection surveys. Engineer Research and Development Center (U.S.)
- Thébault, Erwan; Christopher C. Finlay; Ciarán D. Beggan et al. (2015): International Geomagnetic Reference Field: the 12th generation. *Earth, Planets and Space*, DOI: 10.1186/s40623-015-0228-9
- Wehner, Daniel; Torsten Frey (2022): Offshore Unexploded Ordnance Detection and Data Quality Control – A Guideline. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, DOI: 10.1109/JSTARS.2022.3200144

# Marine dumped munition

## Example from Lübeck Bay where test clearance will start in 2024

An article by JENS GREINERT, MAREIKE KAMPMEIER, VALENTIN BUCK and TORSTEN FREY

Substantial amounts of munition have been dumped in coastal areas of the German Baltic Sea. Hydroacoustic methods common for UXO surveys and advanced methodologies including AUV-based optical investigations have been used to support studies that investigate the impact of toxic explosive substances on the marine environment. Multibeam and side-scan sonar, and ROV- and AUV-based optical data sets give a good impression of the occurrence and type of munition in Lübeck Bay. Here, the two munition dump sites Pelzerhaken and Haffkrug were mapped and several thousand munition-like features were identified. Piles of boxes with small calibre munition, isolated torpedoes, scattered cluster-bomb bomblets, as well as clusters of depth charges and aerial bombs could be identified. The combined approach of standard methods and robotic systems such as AUVs allowed detailed insight and scaling of the problem. Several completed and ongoing research projects and the publicity initiated by these projects pushed the German government to start an »Immediate Programme« to test different clearance technologies for munition dump sites and to develop final disposal options that allow industrial upscaling.

Lübeck Bay | marine munition | photogrammetric and hydroacoustic mapping | AUV  
Lübecker Bucht | Munition im Meer | photogrammetrische und hydroakustische Kartierung | AUV

In den Küstengebieten der deutschen Ostsee wurden beträchtliche Mengen an Munition versenkt. Hydroakustische Methoden, die für UXO-Untersuchungen üblich sind, aber auch fortschrittliche Methoden, einschließlich AUV-basierter optischer Untersuchungen, wurden eingesetzt, um Untersuchungen zu Auswirkungen der toxischen Explosivstoffe auf die Meeresumwelt zu unterstützen. Fächerlot, Side-Scan-Sonar, ROV- und AUV-basierte optische Datensätze geben einen guten Eindruck über das Vorkommen und die Art der Munition in der Lübecker Bucht. Hier wurden die beiden Munitionsversenkungsgebiete Pelzerhaken und Haffkrug kartiert und mehrere tausend munitionsähnliche Objekte identifiziert. Kistenstapel mit kleinkalibriger Munition, vereinzelte Torpedos, verstreute Bomblets von Streubomben, aber auch Flächen mit Wasser- oder Fliegerbomben wurden identifiziert. Der kombinierte Ansatz von Standardmethoden und robotischen Systemen wie AUVs ermöglichte einen detaillierten Einblick und Abschätzung des Problems. Vergangene und laufende Forschungsprojekte und die durch diese Projekte ausgelöste Öffentlichkeitsarbeit veranlassten die deutsche Regierung, ein »Sofortprogramm« zu starten, um verschiedene Räumtechnologien erstmals in Munitionsversenkungsgebieten zu testen und Vernichtungsmöglichkeiten zu entwickeln, die eine industrielle Hochskalierung erlauben.

### Authors

Prof. Jens Greinert is Head of the DeepSea Monitoring Group at the Geomar Helmholtz Centre For Ocean Research in Kiel. Mareike Kampmeier, Valentin Buck and Torsten Frey are members of the DeepSea Monitoring Group.

[jgreinert@geomar.de](mailto:jgreinert@geomar.de)

### Introduction

#### Munition in the sea

Below the surface of the German North Sea and Baltic Sea still rest tons of unexploded ordnance (UXO) that were deployed during war activities and a much higher amount of discarded munition material. Dumped munition was originally produced for combat but was not used by the end of the war. As drastic solution to demilitarise Nazi-Germany the Allies decided quickly after the war that unused munition should also be dumped in dedicated dump sites at sea. Such dumping

was long regarded as a good method for the disposal of commercial, industrial and military waste. Following the motto »out of sight, out of mind«, dumping at sea was one of the main methods of disposing of old, unwanted or hazardous munition. This was particularly true in Europe after WW I and WW II, when demilitarisation required a quick, inexpensive and safe disposal of stored munition including chemical warfare agents (CWA). Although rather detailed records of the dumping activities were kept, much of this information is still not analysed in depth and is buried in kilometres of files in military archives in e.g. Germany (Federal

Archives in Freiburg) or the UK (National Archives in Kew). Most munition dumping activities at sea took place shortly after the end of WW II, but continued worldwide until the Oslo and London Conventions on the Prevention of Marine Pollution came into force in 1972 and stopped dumping of CWA and only 1996 dumping was generally forbidden. In Germany, dumping ended by 1949.

Already in June 1945, the Allies had selected a number of sites for munition dumping, usually near major coastal munition depots and good infrastructure with harbours and train connection as in Wilhelmshaven, Bremerhaven, Kiel and Lübeck. Areas were indicated by a number of coordinates forming triangles (e.g. Flensburg Triangle offshore Falshöft), rectangles or other shapes (Fig. 1). In the pre-satellite navigation era it was difficult to determine the exact position at sea, with the result that actual dumping locations did not always match the intended dumping area. The motivation to speed up the dumping, e.g. through captains who were paid per load, led to munition also being thrown overboard on the way to and from the official dump sites. This created trails of »en-route« dumped munition on the seafloor. The dumping itself was carried out by military and civilian personnel, the latter also being professional fishermen. The munition was often thrown overboard individually by hand while the ship was kept stationary or was drifting slowly. In other cases, it was loaded into hopper barges that released the entire load by opening doors in the ship's hull, leaving dense piles of munition on the seafloor.

### Munition in the German Baltic Sea

The total amount of munition lying on and in the German seafloor remains an open question. Based on archive investigations, the report by Böttcher et al. (2011) gives a total amount of 1.6 million tonnes in German water, 300,000 tonnes of which were potentially dumped in the German Baltic Sea. These numbers are based on a report by Kulturtechnik GmbH (1990) which give a number ranging from 750,000 tonnes to 1.5 million tonnes; unfortunately, this report is no longer accessible. Rapsch and Fischer (2000) cite the same report and mention that the numbers originate from British sources. To further complicate the generation of a reliable number for munition in German waters, recovery of sea-dumped munition for metal salvage was an active business into the 1950s. Particularly in the North Sea close to Wilhelmshaven, the company Kaus & Steinhausen KG recovered munition until large parts of the disposal site in Wilhelmshaven exploded and safety regulations were tightened considerably (Rapsch and Fischer 2000). Salvaging of dumped munition also took place in the Baltic Sea (Nehring 2009), but to a lesser degree in comparison with the North Sea (e.g. 5,000 tons were

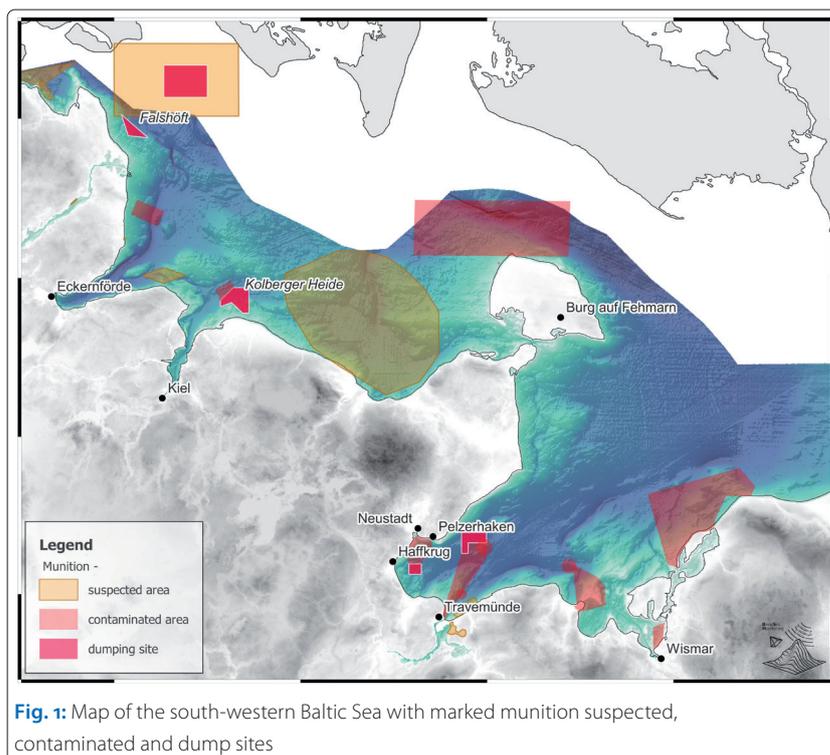


Fig. 1: Map of the south-western Baltic Sea with marked munition suspected, contaminated and dump sites

cleared from dump site Kolberger Heide by 1953; HELCOM 2024). Today, the balance between what was originally dumped and what was recovered afterwards is not well documented and respective data are not easily accessible. This leaves a large uncertainty on the number of 1.3 million tonnes for the German North Sea and 300,000 tonnes for the German Baltic Sea. Nevertheless, considerable amounts remain on the seafloor, as is shown below.

Next to studying archives and historic reports, detecting, identifying and quantifying the amount and type of munition in the field follow typical UXO survey approaches including multibeam echo sounder, side-scan sonar, sub-bottom surveys, magnetic measurements and visual inspections. Additional methodologies, such as synthetic aperture sonar (SAS), AUV-based magnetic or photogrammetric reconstructions of image and video data become more common and are continuously integrated into existing workflows and approaches. To account for most of the munition, it seems reasonable to start the inventory in dedicated munition dump sites. In the German Baltic Sea, four of those sites are expected to hold most of the munition, or at least have the highest density. These are the dump sites Falshöft, Kolberger Heide, Haffkrug and Pelzerhaken. This paper will focus on Haffkrug and Pelzerhaken, which are two dump sites in the south-western Lübeck Bay with water depths ranging from 12 m to 25 m (Fig. 1). They are to our current knowledge the most contaminated areas. First, dumping of 50,000 tonnes of munition took place in Pelzerhaken, until add-

### Acknowledgements

We would like to thank captain and crew of RV *Poseidon* and RV *Alkor* for their support and enthusiasm in our research. Further thanks go to the different funding organisations, the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF; UDEMM and CONMAR projects grants 03F0747A and 03F0912A) and the European Maritime Fisheries Fund (BASTA project Grant Agreement 863702). Without these projects our research on munition in the German Baltic Sea would not have been possible.

ing further material was considered too hazardous. Subsequently, the second area Haffkrug was used. Based on historical records 15,000 tonnes are supposed to be still on and in the ground. In addition to the dumping it should be noted that Lübeck was bombed during WW II, so that unexploded bombs may be present in Lübeck Bay as well. Further, a torpedo research facility existed in Travemünde (HELCOM 2024) and a pilot school was operated in Großenbrode (Böttcher et al. 2011) meaning that practice and live torpedoes could exist in the greater area. Reports according to which CWAs were dumped in Lübeck Bay (Nehring 2009) could never be substantiated. Similar to other areas, munition in Lübeck Bay was salvaged to obtain the valuable materials of the casing. Reportedly, large amounts of munition were cleared in the years from 1953 to 1955 by the private company Eisen und Metall AG. An accident ended further private salvaging activities. They were however continued for another year by the state EOD squad (Böttcher et al. 2011).

As part of a number of research projects, mapping of the dump sites was essential to relate water column chemical analyses with local contamination hotspots on the seafloor. Several studies have shown the accumulation of munition compounds in marine fauna and describe its toxicity (e.g. Appel et al. 2018; Beck et al. 2022). Luckily, concentrations in the environment and in seafood are still low and do not require immediate action. However, ongoing corrosion causes munition objects to leak toxic contaminants, and seafood, such as mussels, placed and collected directly next to chunks of open explosive material (< 2 m) are not fit for consumption anymore. In the following, we report on findings from research cruises with RV *Poseidon* and RV *Alkor* between 2018 and 2024.

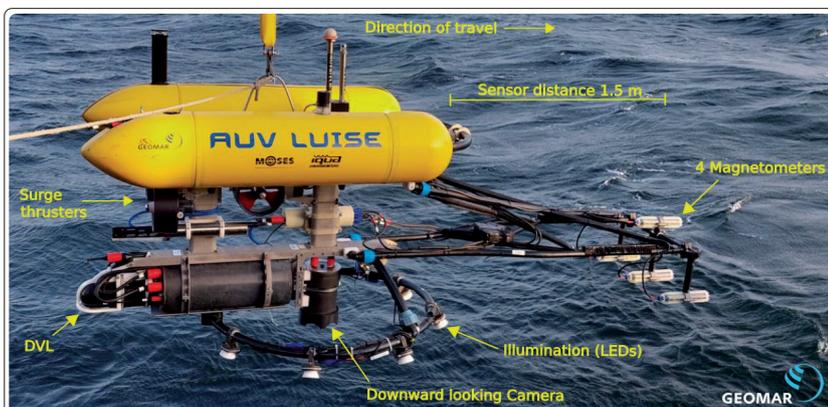
### Methods for mapping and identification

Several methods exist to map the seafloor for detecting and classifying targets into biogenic, geogenic or anthropogenic objects, and finally

identifying them as munition objects of a certain type. Typically, common hydrographic methods (multibeam echo sounder – MBES, side-scan sonar – SSS) and more specific methods for UXO surveying (magnetic gradiometer, ROV and diver inspection) or dedicated military mine counter-measures have been applied. Methods including AUV-based magnetic and photogrammetric reconstructions were applied in Lübeck Bay to verify and elucidate the state of munition inside and outside (!) of the munition dump sites. For effective high-resolution mapping of larger areas, a workflow combining ship-based spatial MBES mapping with detailed AUV-based optical, magnetic and SSS mapping was used. These methods, although very different in resolution and acquisition time, offer a comprehensive approach when used jointly for classification and identification purposes.

### Hydroacoustic mapping

During surveys in Lübeck Bay, a 400-800 kHz T50 and T51 MBES from Reson (0.5° by 0.5° beam opening angle) was mounted in the vessel's moonpool in combination with RTK-supported GNSS navigation (accuracy about  $\pm 0.03$  m). This high navigational accuracy prevents double detection of objects, as may happen with towed systems and simultaneously allows monitoring object migration. Survey lines were run with 50 % to 100 % overlap. The cell size of the final data products was set to 0.25 m. Over the years and during numerous cruises we completely mapped both munition dump sites in Lübeck Bay covering almost 70 km<sup>2</sup> in total. Data processing followed the common workflow steps of sensor calibration, sound velocity correction, manual editing and final gridding. The Qimera 2.6.2 (QPS) was used for this purpose. Additional higher resolution acoustic mapping was achieved with two types of SSS. We used a towed EdgeTech 4200 side-scan sonar (tow altitude about 10 m above the seabed), the SSS of a Remus 100 AUV from the German Navy and a Marine Sonic Arc Scout MKII side-scan sonar (900 kHz and 1800 kHz) as part of Geomars Girona AUV (Fig. 2). Using AUVs prevents varying altitude and reduces geo-positioning problems that are common when deploying towed systems. Gradual drifts of the AUV position over time can be compensated during postprocessing. The resulting sonar images provide information about sedimentological changes but also reveal small objects that were not detected in MBES data, e.g. single munition boxes of 40 cm × 40 cm partially sunk into the sediment. SSS data were processed with SonarWiz 7.09.02 applying simple slant range (Auto TVG) and pitch corrections as well as destripe filtering. Manual geo-referencing of generated SSS mosaics was done on basis of previously recorded MBES data.



**Fig. 2:** One of the used Girona 500 AUVs with a downward looking camera and magnetic sensor in front of the AUV (magnetic data are not shown here)



**Fig. 3:** Screenshot of the ValidTy software showing munition piles and single objects in Pelzerhaken. The integrated study of several map views in parallel and the very fast computation of derivatives and interactive changes (e.g. radii of the TPI or openness calculation) as well as the auto-aim option for annotation of single targets support easier and faster annotation

### Software-supported annotation

Kampmeier et al. (2020) suggests that high-frequency MBESs are a cost- and time-efficient solution for munition monitoring, although their detection capabilities are restricted by data resolution. To detect potential munition targets, bathymetric derivatives (bathymetric positioning index, roughness, openness, real surface area, curvature, etc.) and backscatter analysis can help the manual annotation process by highlighting certain features for close inspection in follow-up investigations. Careful tuning of the derivative representation (colour palette adjustment, semi-transparency with hillshade greyscale image in the back ...) support the subsequent annotation.

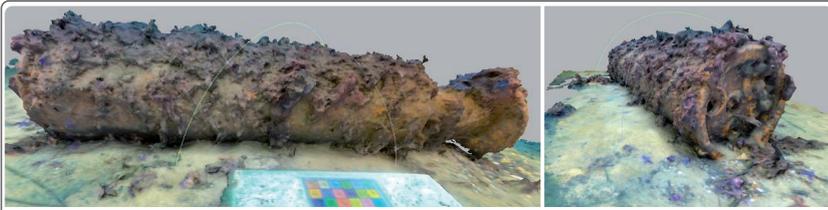
At Geomar, we are currently developing the ValidTy software to support the process of annotating munition objects and other features in MBES data. The software enables fast derivative processing, user friendly annotation with auto-centre options, export possibilities for annotations and derivative grids, as well as AI training and inference. A typical complaint of data analysts is that recomputing derivatives for each map pixel (i.e. cell in an MBES bathymetry grid) over large surrounding regions can take a long time if done with traditional algorithms and hardware. This is alleviated in ValidTy by harnessing GPU-compute that enables multiple pixels to be computed in parallel, using hardware that is optimised towards image-processing operations. Since this process is much faster, users can interactively modify parameters of geomorphological derivatives, such as the inner and outer radii of the bathymetric positioning index (BPI) and see changes in real time. Another ad-

vantage is that the derivatives are only computed on-demand for the region that is currently viewed in the software, meaning that annotation can start before the complete derivative grid is being calculated. Typically, data analysts annotate points which only give information about the occurrence of certain objects in a region. They do not convey information on the area or shape of those objects. Features were built into the ValidTy software that make it easy to mark bounding boxes or even polygons with relatively few interactions. In addition, AI support is given through an implemented You-Only-Look-Once image detection algorithm. Training happens on local computers and is even possible on lower-powered devices like laptops. Only annotations of a sub-set of the entire area are used for training (Fig. 3), and the generated model can be applied to the rest of the area. Continuously training a model improves it and may allow transferring it to other, very different data sets.

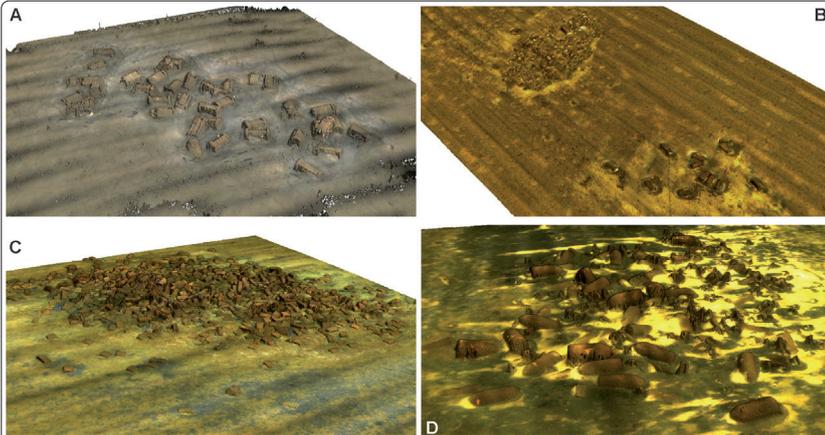
As a final step, ValidTy allows experts to review annotations. The software streamlines this process by zooming to each annotated structure and giving the reviewer the opportunity to record a binary accept/reject decision which can be exported and used to generate reports merging different data sets (MBES bathymetry, MBES backscatter, SSS) for each accepted target/object.

### Visual investigations

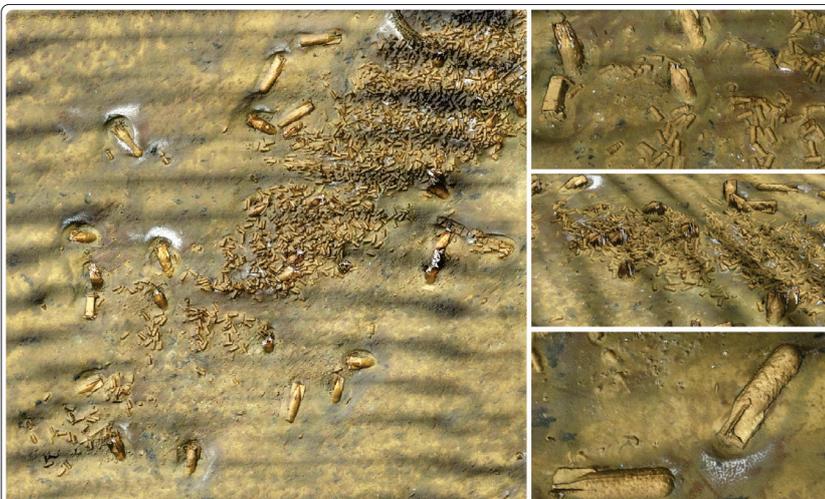
The ultimate identification of munition objects occurs through visual observations with towed camera systems, remotely operated vehicles (ROVs), or imaging systems on an AUV. The quality of the footage depends on good underwater visibility,



**Fig. 4:** 3D photogrammetric reconstruction of a sea mine in Kolberger Heide. Web applications even allow to investigate such objects online



**Fig. 5:** A: Different munition piles in Lübeck Bay composed of large objects in wooden frames with round ends for an easier transport by rolling (most likely depth charges). B: A pile of boxes with small and medium size calibre grenades next to other large objects. C: Another box pile showing the vertical height difference. D: Scattered torpedo heads and bombs



**Fig. 6:** Another munition pile composed of cluster bomblets and deployment containers. The entire area covered by bomblets is 65 m by 10 m in size with additional large objects scattered around it

which ranged during our investigations from 4 m to 1.5 m. Only once (October 2021; cruise AL567) did we have bad visibility close the seafloor caused by a strong pycnocline that kept turbid water close to the bottom and particles in suspension.

Very good results were achieved with AUV-derived images that were merged in a photogrammetric workflow to derive digital terrain models (DTMs) and photo-orthomosaics in millimetre resolution. For this purpose, a Girona

500 AUV (Fig. 2) was equipped with a downward-looking camera system developed at Geomar (CoraMo MkII). The 12.34 MP camera is held in a pressure housing behind a dome port, which in contrast to a flat port does not introduce additional refractions at the glass-water interface (exact calibration provided; see She et al. 2022). In daytime, surface light can be sufficient to illuminate the sea floor for ROV operations in shallow water environments. During AUV surveys a flash system of circular arranged LEDs around the camera was used. The chosen arrangement reduces light scattering from floating particles (wider distance between camera axis and light source) and illuminates the seafloor homogenously without direction-related shadows. Surveys are conducted in a predefined lawnmower pattern with a linespacing of 1 m and an altitude of about 1.2 m. With a velocity of about 0.4 m/s and an image interval of 1 Hz we achieved 100 % overlap across track lines (each spot on the seafloor is seen in two lines). Along track the image overlap is higher (about 450 %). To reduce navigational errors during the imaging processing, cross lines were added at the beginning or end of the survey in an orthogonal direction.

During acquisition all images are georeferenced which can be considered but is not necessary for the photogrammetric reconstruction that we performed with the Agisoft Metashape (1.8.3) software. The relative orientation between camera positions of neighbouring images is calculated by detecting and matching key features. The key feature position can be projected into 3D space and form a sparse point cloud. By additionally projecting other matching image pixels, a dense point cloud is generated which is the basis for a digital elevation model (DEM) with millimetre resolution. The merged image, composed of several thousands of images, is projected on top of the DTM terrain and an artificial photo-orthomosaic can be generated that shows several hundreds of square metres in one image. Similarly, video footage from ROVs can be used to also generate photogrammetric DTMs. Colour-coding the resulting mesh-grid with representative pixels from the images gives a good 3D representation of specific objects that can be manipulated and viewed in 3D representing software tools (Fig. 4), and supports the decision process on how to proceed with removing the respective object.

One of those tools is the Digital Earth Viewer software developed at Geomar, which can be used to view 4D data (i.e. 3D data and temporal information) in a geospatial and temporal context (Fig. 5). The 2D surface of the photo-orthomosaic is deformed according to the height information stored in the DTM. The result is then displayed using WebGL functionality in a common web browser and can be rotated, moved, lit and exaggerated

according to the user's wishes. Temporal information, such as the position of survey vehicles over time can be loaded and shown in concert with static or other temporal data sets. The Digital Earth Viewer reads common formats as CSV or GEO-TIFF to enable a quick display and 3D exploration (Fig. 5 and Fig. 6) and allows easy manipulation of data that are often only explored in 2D.

### Lübeck Bay – munition encounters

During our studies, the entire areas of the Haffkrug and Pelzerhaken dump sites in Lübeck Bay were mapped by MBES and the resulting bathymetric grids were used for further analyses (Pelzerhaken 45.3 km<sup>2</sup>; Haffkrug 23.2 km<sup>2</sup>; Fig. 7). Through successive and (initially) manual annotations, several thousand potential munition locations were identified, and many subsequently verified by photo or video. These findings were used to evaluate the impact of conventional munition on the environment with particular focus on the release of toxic substances. They were also used to establish differences in fauna composition around munition hot-spots/piles of munition and entire dump site areas in comparison to non-contaminated locations and regions.

Although the size of the grid cells does not allow detailed identification of munition objects, the arrangement on the seabed and sedimentary features such as scours allow recognition of anthropogenic objects. In Pelzerhaken, so far, 431 munition piles (defined as areas larger than 20 m<sup>2</sup>) and

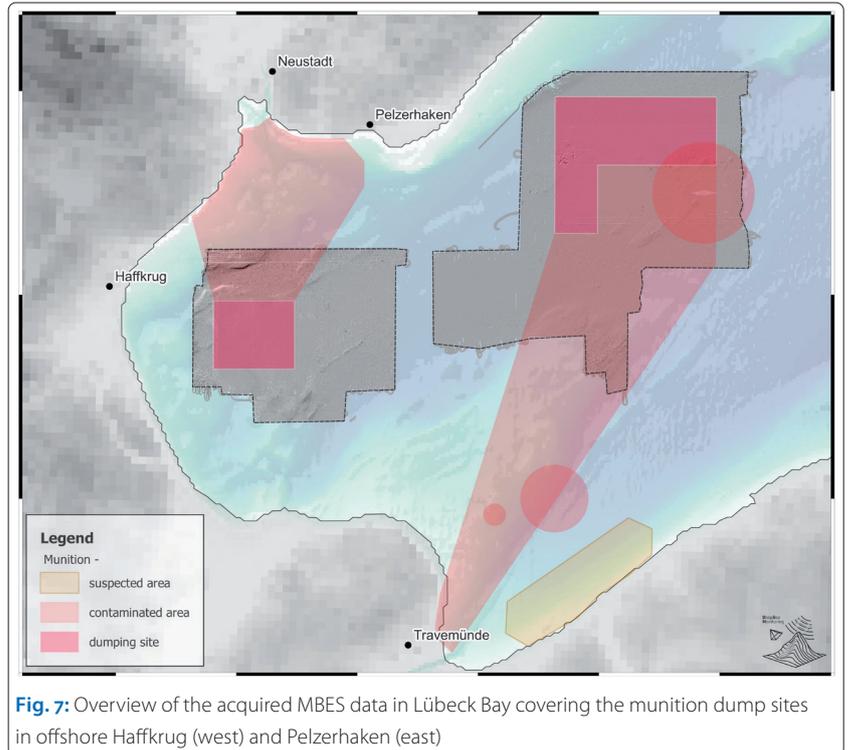


Fig. 7: Overview of the acquired MBES data in Lübeck Bay covering the munition dump sites in offshore Haffkrug (west) and Pelzerhaken (east)

2115 individual targets have been identified using the MBES data set. Of these 2546 targets, 488 are outside of the demarcated dump site (19.2 %). Only 70 targets (piles and individual objects) have been verified so far (2.7 %). For visualisation purposes during target annotation, the hillshade derivative of the bathymetry was predominantly used (Fig. 8).

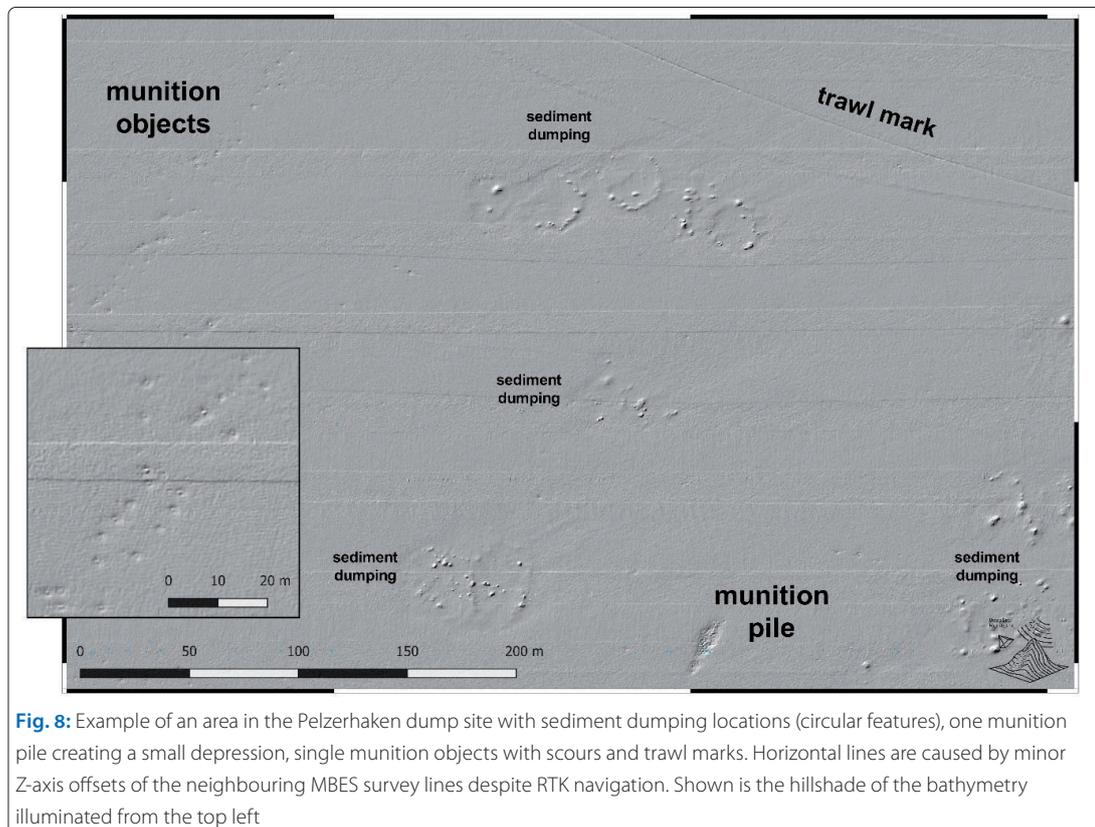
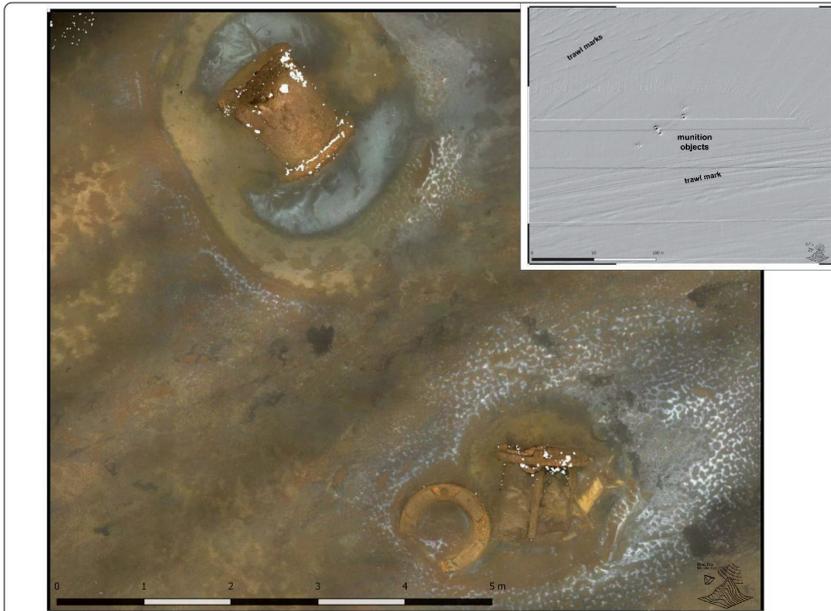


Fig. 8: Example of an area in the Pelzerhaken dump site with sediment dumping locations (circular features), one munition pile creating a small depression, single munition objects with scours and trawl marks. Horizontal lines are caused by minor Z-axis offsets of the neighbouring MBES survey lines despite RTK navigation. Shown is the hillshade of the bathymetry illuminated from the top left



**Fig. 9:** Example from a number of larger barrel-type objects (depth charges?) between trawl marks outside the munition dump site. Fishermen seem to know exactly where these obstacles exist and avoid them. An alternative explanation could be that the trawl marks are old and are the remnants of munition trawling in the past that missed the observed five objects

In Haffkrug, 245 of 608 targets have been validated (ca. 40 %), and almost all are munition objects. A substantial number of targets is not located in the officially labelled munition dump site, but outside. As in Pelzerhaken, single objects (often boxes) and piles of homogeneous and diverse munition exist in Haffkrug as well. Torpedoes are also typical for Haffkrug, but are not as common in Pelzerhaken. Both mapped areas have natural and anthropogenic features on the seafloor, ranging from glacial ridges and bolder areas to trawl and anchor marks, in addition to munitions as single objects, arranged in lines or in piles.

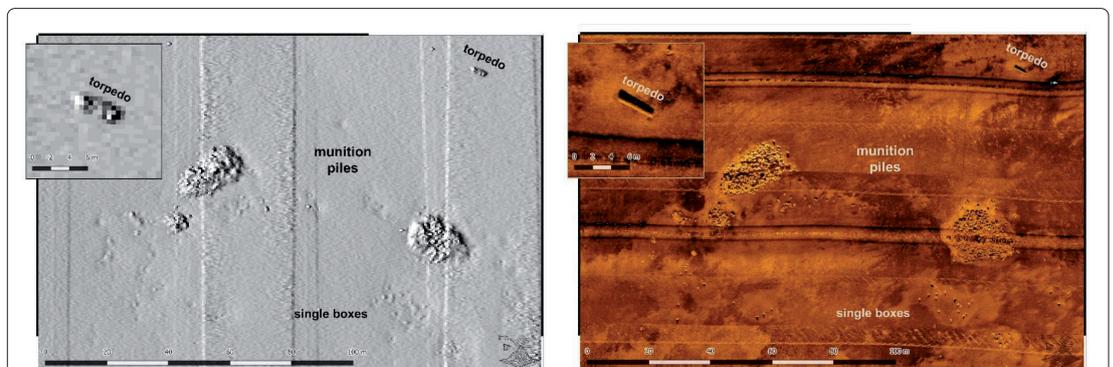
Single morphologically expressed objects can be detected much more easily in the soft sediments of central Lübeck Bay and the pattern of several objects on the seafloor often helps identify non-natural features. En-route dumping out-

side the dedicated dump site is more common in Pelzerhaken, with the clear indication that ships left port in Travemünde and started dumping long before reaching the actual dump site. In Haffkrug, it seems that one of the borders of the dump site was missed repeatedly by a few tens to hundred metres. Munition piles were found in both areas, but show a different appearance. In Pelzerhaken, piles are typically surrounded by scour structure and are partially buried (Fig. 9). AUV-based SSS data highlight single boxes, which can be inferred in the hillshade of the bathymetry as well (Fig. 10).

Monitoring marine munition dump sites with optical methods also allows witnessing the dissolution of explosive materials into the water. One of the sites with open explosives consists of a number of barrel-type objects that might be explosive charges of V1-warheads (Fig. 11). One of these objects is strongly corroded and its explosive material is directly exposed to the surrounding water. Between October 2023 and June 2024, the same object was visually inspected four times and a clear degradation of the explosive material could be documented (Fig. 11).

### Past, ongoing and starting projects

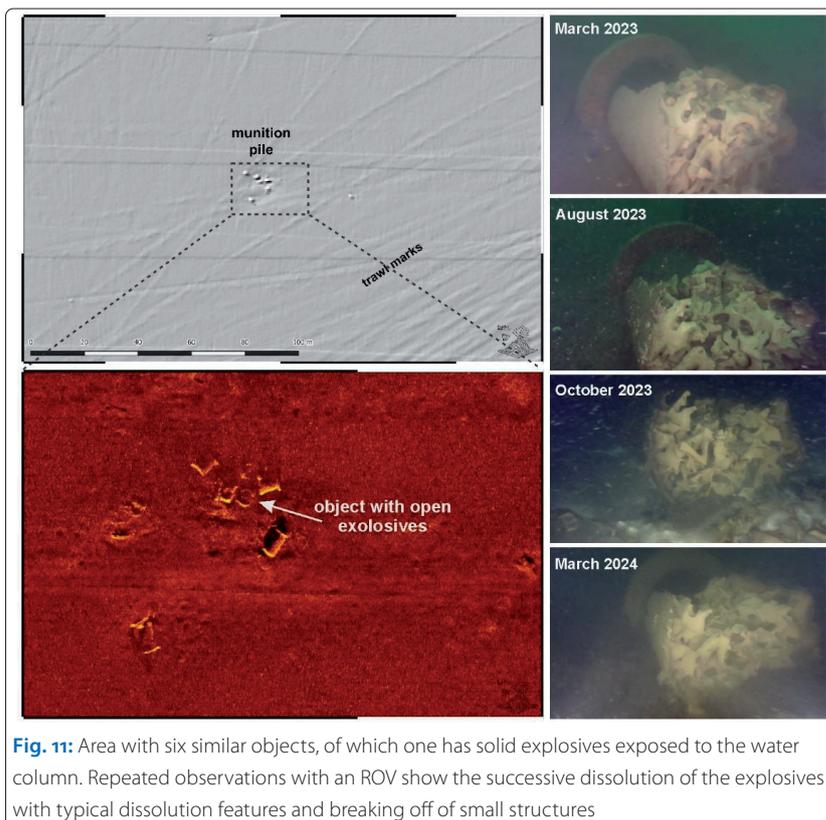
Although the topic of marine munition has been known since dumping started, little has been done to monitor or further investigate potential environmental contamination. Authorities assumed that munition is safe and will not cause adverse environmental impacts. It was also true until the late 1970s, and subsequently assumed, that necessary technologies for monitoring and clearance do not exist. Around 2010, the first research projects were initiated (MERCW, CHEMSEA, MODUM) that focused on chemical weapons in the sea. After 2015, a number of additional research projects started (UDEMM, BASTA, ExPlOTect, ProBaNNt, CONMAR) with the aim of evaluating the environmental impact of conventional marine munition, and to develop and advance technology for monitoring underwater munitions. These projects focused on



**Fig. 10:** Bathymetric hillshade of MBES and AUV-based SSS data of two munition piles, scattered small boxes and one torpedo in Haffkrug. The resolution of the bathymetric grid here is only 50 cm. Bathymetric data help to accurately georeference the SSS images

the release of toxic substances from explosive material (e.g. TNT, DNB or RDX), but also pursued technical developments with regards to robotic applications and decision-making (DAIMON I and II). Results from these and other studies focusing on wrecks (North Sea Wrecks, REMARCO) have triggered action on state and federal levels in Germany. Authorities now see the need to increase activities to develop and test technical approaches to recover and dispose of large amounts of munition from the sea in an environmentally friendly and efficient way (safe and fast at low cost).

In late 2022, the German BMUV (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection) initiated the »Immediate Program for Munition Remediation« (Sofortprogramm Munitionsbergung) with a total budget of 100 Million EUR. It is directed towards testing recovery technologies and developing industrial scale disposal capacities for conventional munition at sea. The programme follows an approach with four separate modules that consists of A) munition detection and identification, B) removal and/or wet (underwater) storage of munition, C) munition preparation for disposal and D) final disposal and thermal treatment (BMUV/seascope GmbH). Results from scientific projects that are the basis of the current publication were used to identify sites (munition piles) that are well suited for testing removal technologies and strategies during the first pilot phase of the Sofortprogramm (Sichermann et al. 2024). In summer and autumn of 2024, a total of six munition piles from the two dump sites in Lübeck Bay will be cleared



**Fig. 11:** Area with six similar objects, of which one has solid explosives exposed to the water column. Repeated observations with an ROV show the successive dissolution of the explosives with typical dissolution features and breaking off of small structures

with different removal technologies. The completion of a platform-style disposal facility is planned for end of 2026. Hopefully in 2027, enough data and experience will have been gathered to allow a thorough evaluation of the feasibility and financial implications of clearing more munition from German marine waters on an industrial scale. //

## References

- Appel, Daniel; Jennifer S. Strehse; Hans-Jörg Martin; Edmund Maser (2018): Bioaccumulation of 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) and its metabolites leaking from corroded munition in transplanted blue mussels (*M. edulis*). *Marine Pollution Bulletin*, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.08.028
- Beck, Aaron J.; Martha Gledhill; Mareike Kampmeier; Caiyan Feng; Christian Schlosser; Jens Greinert; Eric P. Achterberg (2022): Explosives compounds from sea-dumped relic munitions accumulate in marine biota. *Science of The Total Environment*, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151266
- Böttcher, Claus et al. (2011): Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer – Bestandsaufnahme und Empfehlungen (Jahr 2011). [www.schleswig-holstein.de/uxo/DE/Themen/Fachinhalte/textekarten\\_Berichte.html](http://www.schleswig-holstein.de/uxo/DE/Themen/Fachinhalte/textekarten_Berichte.html)
- HELCOM (2024): Thematic Assessment on Hazardous Submerged Objects in the Baltic Sea (Submerged Assessment – Warfare Materials in the Baltic Sea). <https://tinyurl.com/4zb2drdd>
- Kampmeier, Mareike; Eefke M. van der Lee; Uwe Wichert; Jens Greinert (2020): Exploration of the munition dumpsite Kolberger Heide in Kiel Bay, Germany: Example for a standardised hydroacoustic and optic monitoring approach. *Continental Shelf Research*, DOI: 10.1016/j.csr.2020.104108
- Nehring, Stefan (2009): Munitionsversenkungen durch die Bundesrepublik Deutschland - Legende oder Wirklichkeit? *Natur- und Umweltschutz*, Band 8, Heft 1, S. 25–31
- Rapsch, Hans; Uwe Fischer (2000): *Munition im Fischernetz – Altlasten in der Deutschen Bucht*. Isensee Verlag, Oldenburg
- She, Mengkun; David Nakath; Yifan Song; Kevin Köser (2022): Refractive Geometry for Underwater Domes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, DOI: 10.1016/j.isprsiprs.2021.11.006
- Sichermann, Wolfgang; Torsten Frey; W. Hesse; Jens Greinert (2024): Kriterien und Auswahl der Erprobungsgebiete: Machbarkeitsstudie und Koordinationsvorhaben zum Sofortprogramm Munitionsaltlasten in Nord- und Ostsee (No. 1635-2603-02)

# Das Sofortprogramm Munitionsaltlasten in Nord- und Ostsee

Ein Beitrag von WOLFGANG SICHERMANN

Das Sofortprogramm der Bundesregierung legt die Voraussetzungen für eine systematische Beräumung und Entsorgung von Munitionsaltlasten im Meer. Selbst wenn mit einer ersten industriellen Anlage zur Entsorgung von Kampfmitteln auf See verhältnismäßig geringe Mengen an Munitionsaltlasten vernichtet werden, kann dies bei entsprechender Priorisierung der Beräumungsmaßnahmen zu einer signifikanten Reduzierung des Eintrags sprengstofftypischer Verbindungen in die Meeresumwelt führen.

Munitionsversenkungsgebiet | Beräumung | Sofortprogramm | Innovationspartnerschaft  
munition dumping area | clearance | Immediate Action Programme | innovation partnership

The Federal Government's Immediate Action Programme lays the foundations for the systematic clearance and disposal of munitions in the sea. Even if relatively small quantities of munitions are destroyed with a first industrial plant for the disposal of explosive ordnance at sea, this can lead to a significant reduction in the input of explosive-typical compounds into the marine environment if the clearance measures are prioritised accordingly.

## Autor

Dr.-Ing. Wolfgang Sichermann ist Geschäftsführer der Seascope GmbH in Hamburg, die im Auftrag des BMUV das Sofortprogramm Munitionsaltlasten in Nord- und Ostsee koordiniert.

sichermann@seascope.de

## Einleitung

In den deutschen Meeresgebieten der Nord- und Ostsee liegen ca. 1,6 Millionen Tonnen konventionelle Munition und ca. 5 000 Tonnen Munition mit chemischen Kampfstoffen, die im Wesentlichen durch gezielte Versenkung nach dem Zweiten Weltkrieg eingebracht wurden (Böttcher et al. 2011). In einer Aktualisierung der Gesamtbewertung kam die Umweltministerkonferenz 2021 zu dem Schluss, »dass im Bereich munitionsbelasteter Meeresgebiete von einem erhöhten Gefährdungspotential für die Meeresumwelt auszugehen ist. Unter Berücksichtigung der erheblichen Munitionsmengen sowie der fortschreitenden Korrosion [der Munitionsbehälter] sind Beeinträchtigungen der Meeresumwelt einschließlich des marinen Nahrungsnetzes nicht mehr auszuschließen (...).« (UMK 2021). Neben der Umweltgefährdung stellen die Munitionsaltlasten auch Risiken bei der wirtschaftlichen und touristischen Nutzung der deutschen Meeresgebiete dar.

Dieser sich weiter verstärkenden Gefährdungslage Sorge tragend, hat der Deutsche Bundestag bereits 2022 Gelder für ein Sofortprogramm Munitionsaltlasten beschlossen (Drucksache 20/3100). Im Rahmen des Sofortprogramms (2023 bis 2026) soll die Machbarkeit einer sicheren, effizienten und umweltgerechten Bergung und Entsorgung von Munitionsaltlasten in der Ostsee nachgewiesen werden. Hierbei kommen erprobte Technologien der Meerestechnik, der Prozess- und Verfahrenstechnik, der Kampfmittelbeseitigung sowie in den letzten Jahren entwickelte Lösungsansätze mit

einem hohen technologischen Reifegrad zum Einsatz. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen Bund und Ländern als Voraussetzung für den systematischen Einstieg in die industrielle Beseitigung von Munitionsaltlasten in deutschen Meeresgebieten. Dies bedeutet, dass die zu erprobenden Lösungen Anforderungen an Skalierbarkeit und auch an Übertragbarkeit auf die erschwerten Umgebungsbedingungen der Nordsee (Gezeiten, Strömungen, Sichteinschränkungen) erfüllen müssen. Der Fokus wird auf die Beräumung sogenannter Munitionsversenkungsgebiete gelegt. Dabei handelt es sich um Meeresgebiete, die unmittelbar nach Ende des Zweiten Weltkriegs zur Verklappung von Kriegswaffen und Munition ausgewiesen wurden. Diese Munitionsversenkungsgebiete, welche sich überwiegend in direkter Küstennähe befinden, zeichnen sich durch eine lokal sehr hohe Kampfmitteldichte – eng aneinander und übereinander gelagerte Kampfmittel – aus. Zielsetzung des Sofortprogramms ist die Nachweisführung eines funktionsfähigen Gesamtprozesses sowie Entwicklung und Bau einer ersten industriellen Anlage zur Entsorgung von Munitionsaltlasten auf See.

Zur Vorbereitung der Umsetzung des Sofortprogramms wurde Seascope im November 2022 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) zunächst mit der Durchführung einer Machbarkeitsstudie beauftragt. In diesem Rahmen sollte die Durchführbarkeit des Sofortprogramms in Bezug auf technologischen Reifegrad, Finanz- sowie Zeitbedarf bewertet werden. Darüber hinaus war es

Aufgabe, ein integriertes Projektteam aufzubauen, welches das Programm inhaltlich ausgestaltet und operativ steuert. Dieses Projektteam besteht aus Experten unterschiedlicher Fachrichtungen sowie Vertretern aus Behörden und Wissenschaft. Damit wird das Ziel verfolgt, alle Stakeholder frühzeitig in das Programm einzubinden, etwaige Fragestellungen zu erkennen und die erforderlichen Abstimmungsprozesse rechtzeitig zu beginnen. Seit Februar 2024 führt Seascope das Projektmanagement des Sofortprogramms im Auftrag des BMUV aus.

### Vorgehensmodell zum Nachweis einer geschlossenen Prozesskette

Zur Entwicklung eines Lösungskonzepts wurden zunächst die erforderlichen Prozessschritte zur Bergung und Entsorgung der Munitionsaltlasten identifiziert. Diese sind in der Konzeptskizze in Abb. 1 veranschaulicht. Die Darstellung ist lösungsneutral gehalten, um potenziellen Anbietern zu ermöglichen, vielfältige und marktverfügbare Lösungsideen einzubringen. Darüber hinaus sollen Kostentreiber (z. B. durch aufwendige Neuentwicklungen) möglichst frühzeitig erkannt und im Projektablauf weitestgehend vermieden werden. Im spezifizierten Räumungsgebiet werden die Kampfmittel klassifiziert und identifiziert. Die Bestimmung (Klassifizierung) des Kampfmittels ist notwendig, damit bei der Bergung das adäquate Vorgehen und passende Werkzeug genutzt wird. Nach der Bergung werden die Kampfmittel für die fachgerechte Entsorgung (in der Regel durch Verbrennung) aufbereitet: Sie werden auf chemische Kampfstoffe untersucht, gegebenenfalls zerteilt und in Kampfstoff, Sprengstoff und Behälter getrennt (delaboriert). Die gesamte Prozesskette muss laufend in Abstimmung mit den zuständigen Aufsichtsbehörden überwacht werden.

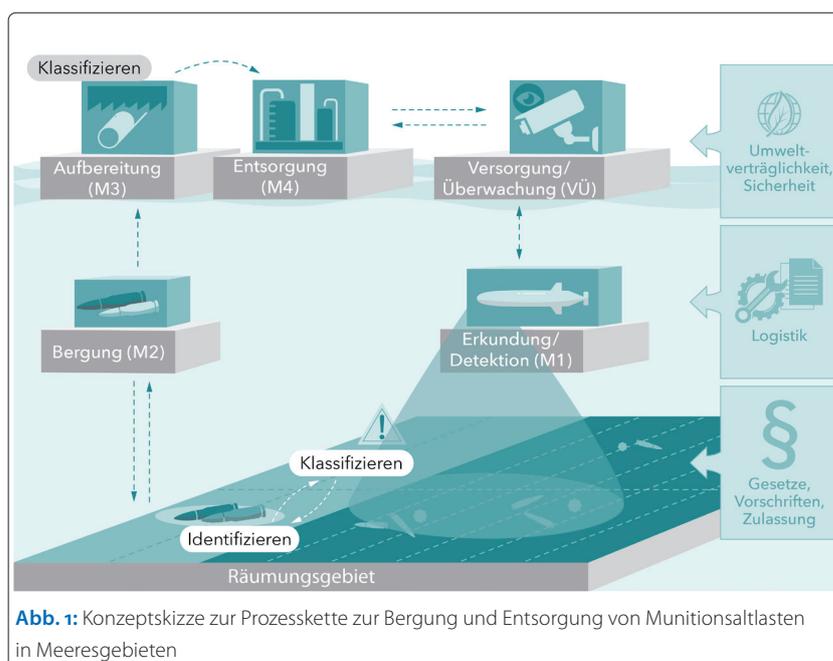


Abb. 1: Konzeptskizze zur Prozesskette zur Bergung und Entsorgung von Munitionsaltlasten in Meeresgebieten

Die Konzeptskizze zeigt bereits Systemzusammenhänge auf, die im weiteren Verlauf verfeinert und in der Systemspezifikation mit konkreten Anforderungen an das Gesamtsystem hinterlegt wurden. Die übergeordneten Anforderungen an die Umsetzung des Sofortprogramms sind die Einhaltung der Zeit- und Kostenvorgaben, die Erfordernis, die einzelnen Teilschritte in einen geschlossenen Gesamtprozess zu integrieren, sowie zu jeder Zeit die Sicherheit im Betrieb für Mensch und Umwelt, aber auch gegen äußere Gefährdungen zu gewährleisten. Die in der Systemstruktur (Abb. 2) dargestellten Hauptsysteme weisen bislang noch unterschiedliche technologische Reifegrade (engl. technology readiness level) auf. Reifegrad bedeutet in diesem Fall, inwieweit technische Entwick-

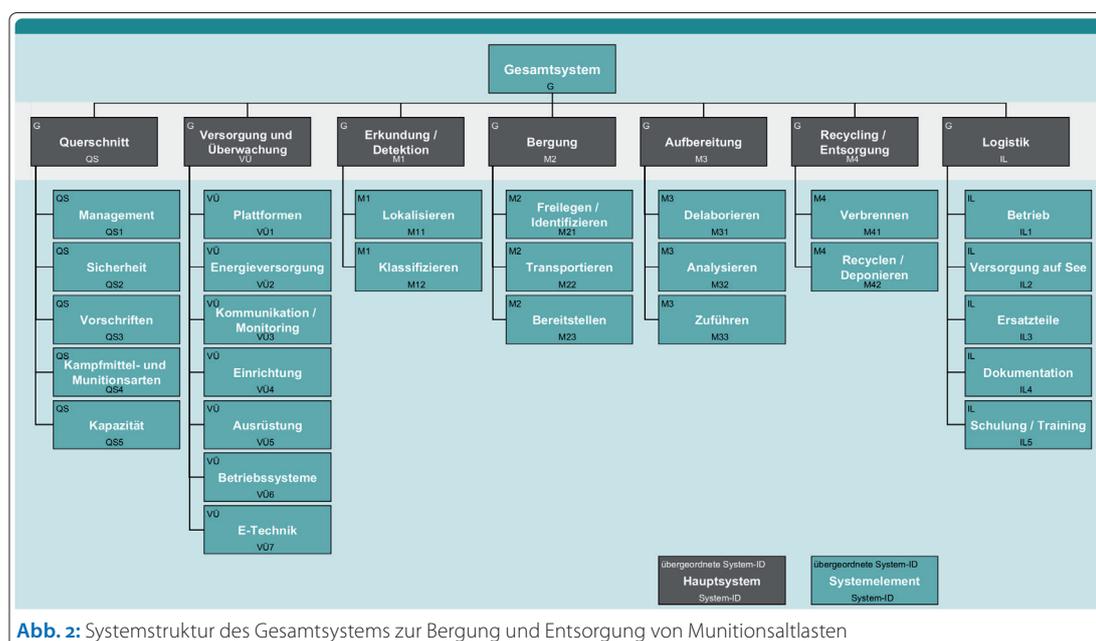


Abb. 2: Systemstruktur des Gesamtsystems zur Bergung und Entsorgung von Munitionsaltlasten

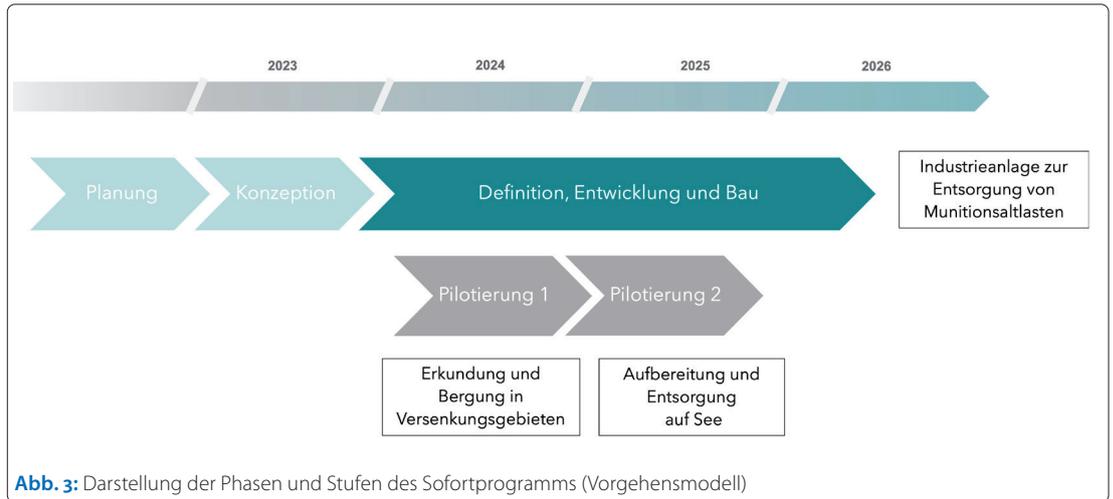


Abb. 3: Darstellung der Phasen und Stufen des Sofortprogramms (Vorgehensmodell)

lungen vorangeschritten oder sogar erprobt sind – oder auch, ob bereits marktverfügbare Teillösungen existieren.

In den Hauptsystemen Erkundung/Detektion und Bergung existieren Lösungen, die heute erfolgreich zur Kampfmittelräumung auf See eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich überwiegend um sogenannte Einzelpunktberäumungen, bei denen die Kampfmittel einzeln lokalisiert, identifiziert und anschließend – wenn möglich – geborgen werden. Wie effizient sich diese Techniken bei der Identifikation und Bergung von Munition in Munitionsversenkungsgebieten einsetzen lassen, wurde bisher nicht erprobt. Darüber hinaus geht es auch darum, Transport und Bereitstellung großer Munitionsmengen für die anschließenden Entsorgungsschritte logistisch zu handhaben.

In den Hauptsystemen Aufbereitung und Entsorgung geht es im Wesentlichen darum, an Land bereits erfolgreich eingesetzte Prozesse auf eine sichere Durchführung auf See zu übertragen. Eine Entsorgung an Land von allen im Meer ver-

klappten Munitionsaltlasten ist aus verschiedenen Gründen nicht zu bewerkstelligen. Einerseits fehlen ausreichende Entsorgungskapazitäten an Land, andererseits können z.B. stark beschädigte Großkampfmittel wie Minen oder Torpedos nicht mehr ohne erhebliches Risiko transportiert werden, sodass eine umweltverträgliche Entsorgung in nächster Nähe der Fundstelle anzustreben ist.

Aufgrund dieser unterschiedlichen Herausforderungen bei Erkundung/Bergung und Aufbereitung/Entsorgung sowie den zeitlichen wie finanziellen Restriktionen des Sofortprogramms wurde zur Entwicklung der industriellen Anlage ein zweistufiges Vorgehen eingeschlagen (Abb. 3). Der Entwicklungsprozess (Stufe 1) wird dabei durch die Erkenntnisse parallel durchgeführter Erprobungen verfügbarer Technologien unter realen Einsatzbedingungen gestützt. Die Pilotierungen (Stufe 2) dienen primär dazu, Entwicklungsrisiken frühzeitig zu erkennen und zu minimieren und erste Leistungsparameter und Kenngrößen des Gesamtprozesses unter Realbedingungen zu ermitteln.

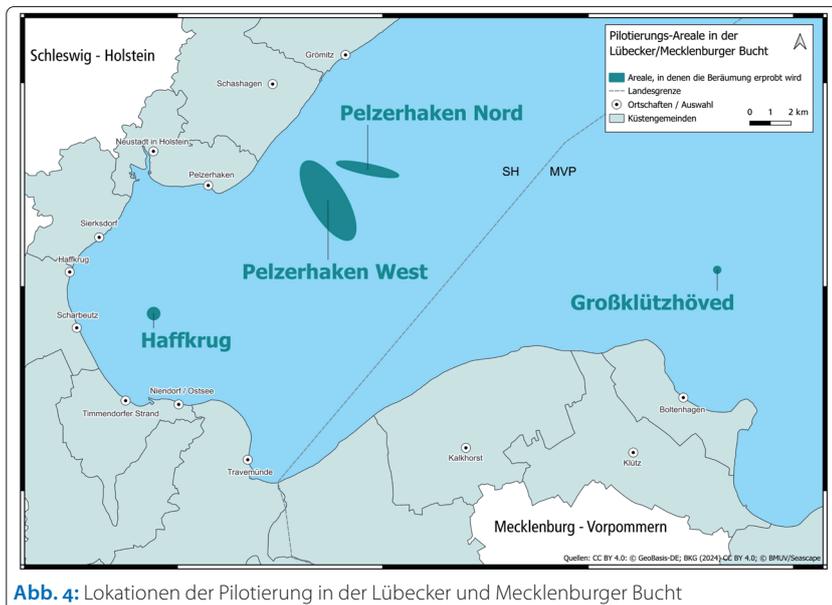


Abb. 4: Lokationen der Pilotierung in der Lübecker und Mecklenburger Bucht

### Pilotierung Erkundung und Bergung

Für die Prozessschritte Erkundung/Detektion und Bergung sind Lösungen marktverfügbar. Hinzu kommt, dass die Marktsituation auch einen Wettbewerb unter den Anbietern zulässt. Zur Durchführung der Pilotierung wurden unterschiedliche Lokationen in Versenkungsgebieten identifiziert, die ein möglichst breites Spektrum an versenkten Kampfmittelarten und Versenkungsmustern repräsentieren. Hierbei wurden die Lübecker und Mecklenburger Bucht ausgewählt, da hier in räumlicher Nähe die unterschiedlichsten Kampfmittel und Versenkungsmuster anzutreffen sind. Die Beräumung der ausgewählten Lokationen wurde in vier Losen zur Ausschreibung gebracht (Abb. 4). Die Zusammenstellung der Lokationen und der Lose wurde so gewählt, dass sich diese einerseits hinsichtlich des Schwierigkeitsgrades unterschei-

den und andererseits eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Lösungsansätze ermöglichen. Das Los Haffkrug zeichnet sich durch eine regelmäßige, geschüttete, flache Lagerung sich ähnelnder Munitionskisten aus, wohingegen in den Losen Pelzerhaken Nord und West verschiedenste Munitionsarten in unterschiedlichsten Lagerungszuständen anzutreffen sind. Das Los Großklützhöved beschreibt wiederum eine völlig andere Situation: Munition in einem Schiffswrack bzw. in der Umgebung eines Schiffswracks. Die Bearbeitung der Lose Haffkrug, Pelzerhaken Nord und West konnte im Juni 2024 beauftragt werden. Die Arbeiten werden im Zeitraum Juli bis Oktober 2024 durchgeführt werden. Ziel ist es, systematisch Erkenntnisse für den Zustand und die Handhabbarkeit der versenkten Kampfmittel zu gewinnen und die bestgeeigneten Bergungsansätze und Skalierungsoptionen für verschiedene Kampfmittelarten und Versenkungsmuster zu ermitteln. Das Los Großklützhöved konnte bisher nicht vergeben werden. Die Neuausschreibung wird gegenwärtig durch das BMUV geprüft.

Im Rahmen der Pilotierung sind je Los 30 Bergungstage vorgesehen, an denen Kampfmittel identifiziert, geborgen und für die weiteren Schritte vorbereitet werden. Der Großteil der identifizierten und geborgenen Munition wird auf See für den Transport und die Entsorgung an Land vorbereitet. Kampfmittel, welche jedoch nicht mehr sicher über Land transportiert werden können, werden auf See in geschlossene Behälter verpackt und unter Wasser gelagert, sodass von diesen Kampfmitteln keine weitere Gefahr einer Kontamination der Meeresumwelt durch sprengstofftypische Verbindungen ausgeht. Die Behälter werden auch verwendet, wenn die Entsorgungskontingente an Land überschritten wurden. Die Einrichtung dieser Nasslager dient der Vorbereitung der sich anschließenden Entsorgungsschritte auf See, wie in [Abb. 5](#) dargestellt ist.

### Innovationspartnerschaft zur Entwicklung einer Industrieanlage zur Entsorgung auf See

Die Prozessschritte Aufbereitung und Entsorgung auf See sind demgegenüber wenig erprobt und stellen im Projekt eine erhebliche Unbekannte dar, insbesondere mit Bezug auf den Aspekt Sicherheit im Betrieb für Mensch und Umwelt, die für die Entwicklung einer solch komplexen Industrieanlage von herausragender Bedeutung ist. Resultierend aus einem geringen Reifegrad braucht es ausreichend Sorgfalt und Zeit, die Anforderungen an eine Industrieanlage auf See zu formulieren, ohne unabsehbare Risiken einzugehen. Die Entwicklung solch einer Anlage soll im Rahmen einer sogenannten Innovationspartnerschaft vorangetrieben werden.

Die Innovationspartnerschaft ist ein spezielles Instrument des Vergaberechts, wenn für ein Beschaffungsvorhaben keine marktverfügbaren oder vergleichbaren Lösungen existieren. Parallel zur Pilotierung soll daher mit einer Definitionsphase und dem Aufbau entsprechender Strukturen zur Entwicklung einer Industrieanlage begonnen werden. Das Ergebnis der Definitionsphase ist eine vollständige Spezifikation des im Anschluss zu konstruierenden und zu bauenden Systems. Die Definitionsphase wird dabei federführend von einem Entwicklungspartner durchgeführt, der im Rahmen eines Vergabeverfahrens ermittelt wird. Die eigentliche Beschaffung, Konstruktion und Herstellung der Anlage ist durch einen Projektmeilenstein (engl. quality gate) von der Definitionsphase getrennt. Erst wenn die an diesen Meilenstein gestellten Kriterien erfüllt sind, kann die sogenannte Leistungsphase durch den Entwicklungspartner begonnen werden. Der Ablauf der Innovationspartnerschaft ist in [Abb. 6](#) dargestellt. Kriterien an den Projektmeilenstein sind beispielsweise die Nennung eines verbindlichen Beschaffungspreises, das Vorliegen einer Lebenszykluskostenanalyse sowie die prinzipielle Zulassungs- und

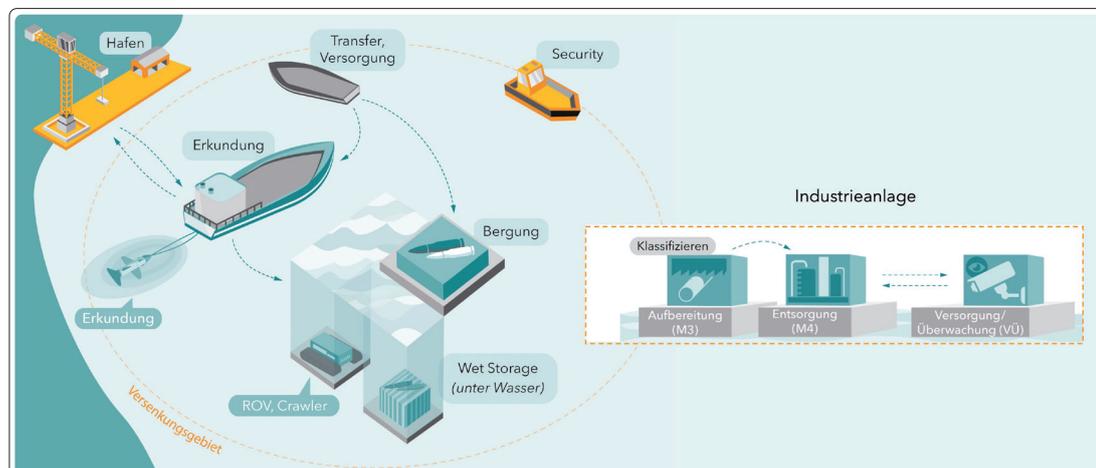
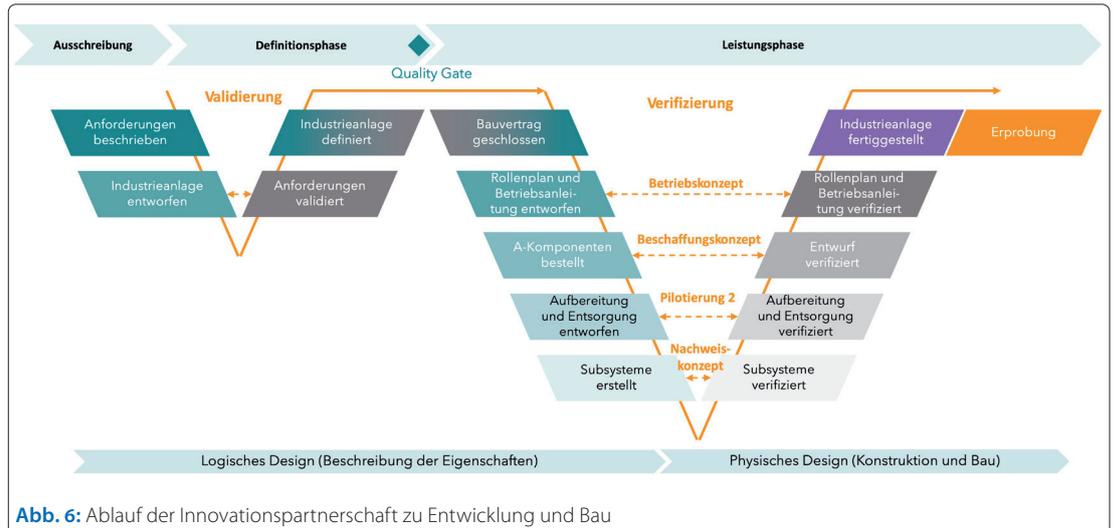


Abb. 5: Szenario Erkundung/Bergung mit anschließender Aufbereitung/Entsorgung



Genehmigungsfähigkeit des gewählten Anlagenkonzepts. Der Start des Vergabeverfahrens für die Entwicklung der Entsorgungsanlage ist in Kürze geplant.

**Ausblick**

Mit dem 2023 begonnenen Sofortprogramm legt die Bundesregierung die Voraussetzungen für den Einstieg in eine systematische Beräumung und Entsorgung von Munitionsaltlasten im Meer. Die voraussichtliche Entsorgungsleistung einer ersten Anlage in der Größenordnung von 1000 Tonnen pro Jahr vermag, im Vergleich zu der Größenordnung der in deutschen Gewässern lagernden Munitionsaltlasten, noch recht bescheiden anmuten. Durch eine klare Priorisierung der ersten Maßnahmen auf stark korrodierte Kampfmittel oder bereits

freiliegende Sprengstoffe kann jedoch der weitere Eintrag von strengstofftypischen Verbindungen in die Meeresumwelt signifikant reduziert werden.

Wie bei jeder technologischen Entwicklung können auch in diesem Fall Effizienzgewinne und Skaleneffekte unterstellt werden, welche die Bewältigung dieser Generationenaufgabe als machbar erscheinen lassen. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die dem Sofortprogramm zugrunde liegende gesellschaftlich-politische Bereitschaft, die Lösung dieses Problems langfristig zu finanzieren, aufrechterhalten wird. Betrachtet man die Tatsache, dass Munitionsaltlasten im Meer ein weltweites Problem sind, bietet sich durch eine konsequente Verfolgung des eingeschlagenen Wegs für Deutschland die Chance, eine Vorreiterrolle im marinen Umweltschutz zu besetzen. //

**Literatur**

Böttcher, Claus et al. (2011): Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer – Bestandsaufnahme und Empfehlungen (Jahr 2011). [www.schleswig-holstein.de/uxo/DE/Themen/Fachinhalte/textekarten\\_Berichte.html](http://www.schleswig-holstein.de/uxo/DE/Themen/Fachinhalte/textekarten_Berichte.html)  
 Drucksache 20/3100 (2022): Anlage zur Bundesdrucksache 20/3100, Einzelplan 16, Kapitel 1601 – Titel 89205 Nationaler Meeresschutz

UMK (2021): Bericht an die UMK über die Aktualisierung der Gesamtbewertung der Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer sowie über notwendige Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zu Munition im Meer. [www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/UmlaufID\\_1615\\_DateiID\\_551.pdf](http://www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/UmlaufID_1615_DateiID_551.pdf)

# Industrielle Räumung verklappter Munition – eine Generationenaufgabe

Ein Beitrag von JULIEN HANSEN, MARTIN RÜTTEN und STEFAN WENAU

In Verklappungsgebieten liegt Munition in großen Mengen auf verhältnismäßig kleinem Raum auf dem Meeresboden. Nun werden Möglichkeiten erprobt, diese Munition systematisch zu bergen und sicher zu entsorgen. Gesucht ist eine Prozesskette für die wirksame und wirtschaftliche Räumung mit einem hohen Automationsgrad – am besten direkt auf See von einer schwimmenden Entsorgungsplattform aus. Das Konzept für eine solche Entsorgungsplattform wird von der thyssenkrupp Marine Systems GmbH entwickelt.

Blindgänger | SeaCat | Baugrunderkundung | Entsorgungsplattform | Hebetool | Sofortprogramm UXO | SeaCat | ground investigation | disposal platform | lifting tool | immediate action programme

In dumping areas, large quantities of munitions lie on the seabed in a relatively small area. Ways of systematically recovering and safely disposing of these munitions are now being trialled. A process chain for effective and economical clearance with a high degree of automation is being sought - preferably directly at sea from a floating disposal platform. The concept for such a disposal platform is being developed by thyssenkrupp Marine Systems GmbH.

## Aus den Augen, aus dem Sinn?

Kriege und Konflikte haben ihre Spuren auf dem Grund der Meere hinterlassen. Wo versenkte Schiffe aus Antike, Mittelalter und Früher Neuzeit ihren wissenschaftlichen Findern eher Freude bereiten, bieten die Hinterlassenschaften aus dem 20. Jahrhundert Anlass zur Sorge: Viele Schiffe wurden nicht nur mit Mann und Maus, sondern auch mit gefüllten Munitionskammern und Treibstoffbunkern versenkt. An Engstellen, Kampfschauplätzen und in Einflugschneisen finden sich bis heute Blindgänger, Überreste von Minenfeldern und notabgeworfene Munition wie Fliegerbomben und Minen – häufig noch mit scharfen Zündern. Selbst nach Einstellung der Kampfhandlungen war es nicht vorbei mit dem Eintrag von Kampfmitteln ins Meer. Ganz im Gegenteil: Konfrontiert mit den immensen Mengen an unverbrauchter Munition und der Gefahr, dass diese in falsche Hände geraten könnte, entschieden die alliierten Behörden in Deutschland, diese Munition unschädlich zu machen. Das betraf vor allem Munition aus Wehrmachtsbeständen. Da eine Verwertung ebenso ausschied wie die Vernichtung durch kontrollierte Sprengung, entschied man, diese Munition im Meer zu versenken. Dafür wurden Verklappungsgebiete vor der Küste ausgewiesen. Dort wurde in der unmittelbaren Nachkriegszeit Munition – wie Torpedoköpfe, Minen, Artilleriegranaten und Handwaffenmunition – versenkt und manches davon bereits auf dem Weg dorthin.

Allein in den deutschen Hoheitsgewässern in Nord- und Ostsee lagern geschätzt 1,6 Millionen Tonnen konventioneller Munition. Fast 80 Jahre später hat sich in der öffentlichen Wahrnehmung ein Bewusstsein formiert, dass hier eine Zeitbombe unmittelbar vor der Haustür tickt. Nicht nur sind Sprengstoffe auch nach knapp 80 Jahren submariner Lagerung noch reaktiv oder möglicherweise noch empfindlicher geworden, sie sind darüber hinaus hochgradig toxisch und krebserregend. Untersuchungen aus den vergangenen Jahren haben ergeben, dass die Hüllen der Munition sich durch Korrosion zunehmend auflösen, sodass Sprengstoffe inzwischen freiliegen und zum Teil auf dem Meeresgrund verteilt sind. Im Nahbereich um die verklappte Munition wird eine zunehmende Belastung mit giftigen Substanzen gemessen. Für die Ostsee ist dieses Problem aufgrund ihrer geringeren Durchmischung noch schwerwiegender als für die Nordsee.

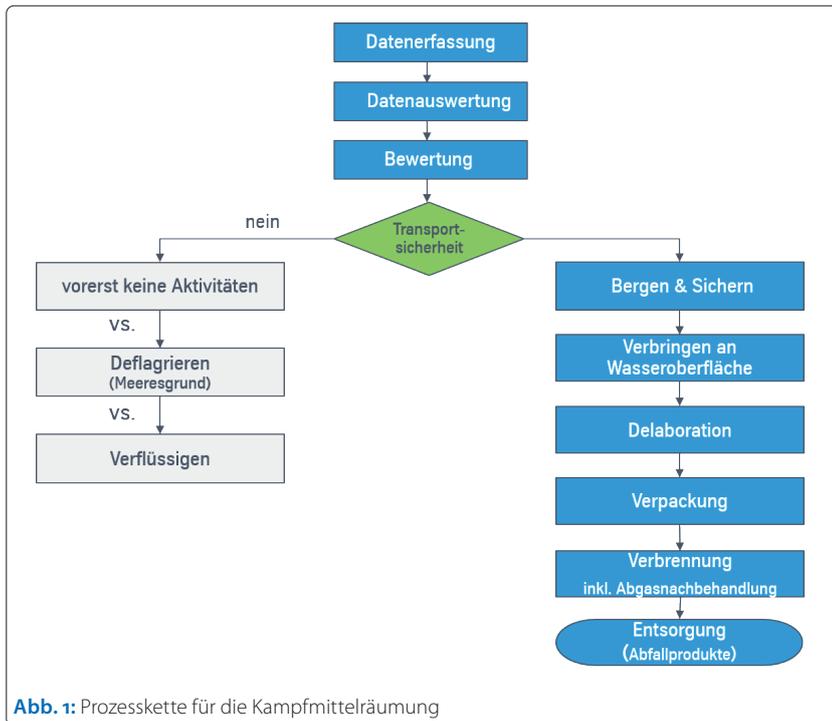
Insgesamt resultieren aus den vorhandenen Blindgängern (Unexploded Ordnance, UXO) und verklappter Munition (Discarded Maritime Munitions, DMM) eine Vielzahl von Beeinträchtigungen für Umwelt, Infrastruktur und Wirtschaft auf See sowie für Tourismus und Anwohner.

Detektion und Beseitigung von Blindgängern anlässlich maritimer Infrastrukturvorhaben, wie z. B. Offshore-Windparks, nehmen heute kleine und mittlere Unternehmen vor, die gezielt die zur Bebauung vorgesehenen Seegebiete vermessen, detektierte Objekte identifizieren und diese bei

## Autoren

Dr. Julien Hansen arbeitet bei der Atlas Elektronik GmbH in Bremen. Dr. Martin Rütten arbeitet bei der thyssenkrupp Marine Systems GmbH in Hamburg. Stefan Wenau arbeitet bei der Atlas Maridan ApS in Dänemark.

[martin.ruetten@thyssenkrupp.com](mailto:martin.ruetten@thyssenkrupp.com)



Bedarf entschärfen, bergen oder vernichten. Bei diesen Blindgängern handelt es sich in der Regel um Einzelfunde, deren Anwesenheit und Position erst ermittelt werden muss.

Im Gegensatz dazu sind die Verklappungsgebiete für konventionelle Munition weitestgehend bekannt und die Munition liegt dort in großen Mengen auf verhältnismäßig kleinem Raum vor. Der Hauptgrund dafür, dass diese Munition bis heute nicht beseitigt ist, ist das Fehlen von Entsorgungskapazitäten, die der schiereren Menge an verklappter Munition auch nur annähernd gewachsen wären. Der Umstand, dass die hier vorliegende Munition in der Regel ohne Zünder verklappt wurde, hat dazu geführt, dass sie in der Vergangenheit als wenig kritisch betrachtet worden ist. Dieses Bewusstsein hat sich aufgrund des Zustandes der Munition nun verändert.

Allerdings existieren bis heute weder Strukturen noch technische Mittel, um die erheblichen Mengen an Munition in einem überschaubaren Zeitrahmen zu bergen und sicher zu entsorgen. Für eine wirksame und wirtschaftliche Räumung müssen die derzeit verfügbaren Verfahren in puncto Sicherheit und Automationsgrad verbessert, einfacher gestaltet und skaliert werden. Darüber hinaus ist es erforderlich, die bisher entwickelten Einzelverfahren und Arbeitsschritte zu einer durchgängigen Prozesskette zu verbinden.

Im Hinblick auf verklappte Munition wurde eine grundsätzliche Prozesskette entwickelt, nach der ein Großteil davon unschädlich gemacht werden kann (Abb. 1).

Nach jetziger Bewertung sind Anlandung, Transport und Entsorgung an Land mit Risiken für

Mensch, Infrastruktur und Umwelt und daraus resultierend mit erheblichem Aufwand verbunden.

Die Munition direkt am Fundort auf See unschädlich zu machen, würde den logistischen Aufwand und die erforderlichen Mittel deutlich vermindern und die Räumung beschleunigen. Allerdings existiert heute keine schwimmende Plattform, die für die großflächige, industrielle und weitgehend automatisierte Bergung und Vernichtung von Munition auf See geeignet wäre.

## Aufgaben für zukünftige Generationen

Um zur Lösung dieser Generationenaufgabe beitragen zu können, hat thyssenkrupp Marine Systems sein ziviles maritimes Engagement zum Jahresbeginn in zwei Bereichen intensiviert:

Zunächst wurde die bereits seit 2004 zur Atlas Elektronik zugehörige Atlas Maridan erheblich verstärkt. Atlas Maridan beschäftigt sich seit über 20 Jahren mit der Entwicklung und Anwendung von autonomen Unterwasserfahrzeugen (Autonomous Underwater Vehicles, AUV). Seit 2018 steht das Unternehmen mit seinen SeaCat-Systemen der Offshore-Industrie und bekannten Vermessungsfirmen bei globalen Einsätzen zur Seite. Zum Jahreswechsel hat Atlas Maridan nun die Offshore-Vermessungsabteilung der Patzold Köbke Engineers GmbH & Co. KG (PKE) übernommen. PKE gilt als eine der renommiertesten Firmen in Deutschland, wenn es um die Detektion von historischen Kampfmitteln in der Offshore-Baugrunderkundung geht.

Darüber hinaus hat Atlas Maridan einen eigenen Bereich der ultra-hochauflösenden Mehrkanal-Seismik für den zivilen Markt erschlossen. Mit Hilfe neuer Mitarbeitender, die zuvor am Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES) geforscht haben, hat Atlas Maridan sich in die Lage versetzt, als Dienstleister moderne akustische Technologie für die komplexe Offshore-Baugrunderkundung zur Verfügung zu stellen.

Mit mehr als 40 Spezialistinnen und Spezialisten verschiedenster Fachbereiche und Nationalitäten verfügt Atlas Maridan nun über ein umfangreiches technisches Know-how im gesamten Bereich der Unterwasservermessung mit Hilfe autonomer Unterwasserfahrzeuge sowie von Sonar- und Positionierungssystemen.

Zusätzlich hat thyssenkrupp Marine Systems mit der NXTGEN Engineering eine eigene Geschäftseinheit gegründet, die die Fähigkeiten und Erfahrung aus dem Marine- und Spezialschiffbau in zivile Produkte und Dienstleistungen überführt. Neben Aktivitäten zur Energiegewinnung auf See, wie dem Bau von Konverterplattformen am tkMS-Werftstandort Wismar, und zur Verbesserung des Schutzes maritimer kritischer Infrastrukturen liegt ein weiterer Schwerpunkt ihrer Tätigkeiten bei der Bergung von Munitionsaltlasten aus dem Meer

sowie deren Entsorgung. Hier führt thyssenkrupp Marine Systems seit über fünf Jahren konkrete Entwicklungsarbeiten durch und hat unter anderem gemeinsam mit Atlas Maridan ein Hebetooll für verklappte Munition entwickelt. Mit diesem Hebetooll kann die Munition sicher vom Meeresgrund gehoben, auf eine Entsorgungsplattform verbracht und dort ohne Umlagerung in den Entsorgungsprozess eingesteuert werden. Darüber hinaus hat thyssenkrupp Marine Systems bereits ein Konzeptdesign für eine schwimmende Entsorgungsplattform entworfen (Abb. 2). Dieses ist inzwischen weitgehend fertiggestellt. Über die schiffbaulichen Tätigkeiten hinaus wurden in diesem Rahmen auch Teilsysteme für das System zur Delaboration und Entsorgung der Munition neu entwickelt. Um diesen Entwurf in eine Detailkonstruktion zu überführen, bedarf es nun noch der konkreten Anforderungen eines Auftraggebers.

### Forschungsprojekt Industrielle Räumung von Altlasten in Verklappungsgebieten

Elemente der Prozesskette werden aktuell im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Verbundvorhabens *Industrielle Räumung von Altlasten in Verklappungsgebieten* (IRAV) untersucht und weiterentwickelt. In diesem Projekt werden einzelne Ansätze erprobt und die gesamte Prozesskette konkretisiert.

An diesem Projekt beteiligen sich mit Atlas Elektronik, dem Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES), Stascheit Kampfmittelräumung und thyssenkrupp Marine Systems insgesamt vier Partner aus Industrie und Wissenschaft.

Atlas Elektronik, Fraunhofer IWES und Stascheit Kampfmittelräumung führen zwei Messausfahrten durch. Im Rahmen dieser Messausfahrten werden zunächst industriell bereits genutzte Sensoren für die Detektion und Klassifizierung der Altlasten getestet. Darüber hinaus implementieren und erproben die beteiligten Unternehmen gemeinsam neue, speziell für den Anwendungsfall Munition im Meer entwickelte Sensoren. Die erfassten Daten werden ausgewertet und erfasste Objekte klassifiziert – auch mittels künstlicher Intelligenz.

### Erste Messkampagne abgeschlossen

Im April dieses Jahres wurde die erste dieser beiden Ausfahrten durchgeführt. Diese erste Vermessungskampagne im IRAV-Projekt diente der Erfassung von großflächigen und punktuellen geophysikalischen Messdaten in einem bekannten Verklappungsgebiet. Die Messungen sollen als Grundlage für weiterführende Arbeiten im Projekt sowie als Referenzdaten für die zweite Vermessungskampagne genutzt werden, gegen die neu entwickelte Methoden verifiziert werden können. Die genaue Lokalisierung sowie Klassifizierung von Munitionsaltlasten ist essenziell für die spätere effiziente



Abb. 2: Konzeptdesign für eine schwimmende Entsorgungsplattform

Räumung solcher Flächen. Besonders die Verklappungsflächen zeichnen sich durch eine Vielzahl und Diversität der dort vorzufindenden Objekte aus, was eine Entfernung und Entsorgung vor spezielle Herausforderungen stellt. Für diesen Zweck hat die Atlas Elektronik gemeinsam mit der Atlas Maridan das Vermessungsschiff RV *Situla* mobilisiert.

Zu Beginn der Messkampagne wurde eine bathymetrische Vermessung mit einem hochauflösenden Fächerecholot (Teledyne SeaBat T51-R) durchgeführt. Nach einer Messung der Wasserschallgeschwindigkeit und einer Kalibrierung der Schiffsbewegungsmessungen über einem bekannten Wrack wurde anschließend eine Fläche von ca. 4,4 km × 0,5 km vermessen und eine Bathymetriekartierung mit einer hohen lateralen Auflösung erreicht. Diese effiziente Kartierung von Teilen des Verklappungsgebiets zeigte eine Vielzahl von verschiedenen Strukturen und Objekten auf dem Meeresboden in ca. 21 m Wassertiefe. Verschiedene Einzelobjekte mit einer Größe von bis zu 4 m konnten lokalisiert werden, teilweise mit dazugehörigen Auskolkungen im Sediment. Daneben wurden Kraterstrukturen kartiert, die Durchmesser von bis zu 40 m und Tiefen von mehreren Metern gegenüber dem umgebenden Meeresboden aufweisen. Zudem konnten auch viele Anhäufungen von kleinen Objekten <1 m Größe auskartiert werden. Im Anschluss an diese großflächige Vermessung wurden AUV vom Typ SeaCat eingesetzt (Abb. 3), um ein kleineres Zielgebiet mit mehreren Einzelobjekten sowie einigen Anhäufungen von kleineren Objekten zu vermessen.

Die SeaCat-AUV können eigenständig vordefinierte Messraster in einer bestimmten Tauchtiefe abfahren und so autonom Daten sammeln. Durch die Messungen dicht am Meeresboden können hierbei höhere Genauigkeiten in der Objektkartierung erreicht werden sowie effizient und sicher auch große Flächen kartiert werden. Zum Einsatz kamen zwei SeaCat mit unterschiedlicher Ausstattung. Eine SeaCat war mit einem Synthetic Aperture Sonar (SAS) vom Typ Kraken MINSAS ausge-



Abb. 3: Einsatz des AUV SeaCat im Vermessungsgebiet

rüstet und konnte erfolgreich auf mehrstündigen Missionen hochgenaue Abbildungen des Meeresbodens und der dort vorhandenen Objekte erstellen. Der Vorteil des SAS liegt in der großen Flächenleistung in der Meeresbodenvermessung, die durch fortschrittliche Datenverarbeitung eine hohe Auflösung der aufgenommenen Daten bis in die maximale Reichweite des Sonars liefert. Diese Sensorik auf der SeaCat eignet sich besonders für die Erkundung von großen Gebieten mit hoher Auflösung, z. B. für die Vorerkundung großer Meeresbodenflächen auf Munitionsaltlasten.

Eine zweite SeaCat war mit einem konventionellen Seitensichtsonar (Edgetech 2205) und einem Fächerecholot (Norbit WBMS) sowie mit einem Kamerasystem ausgerüstet. Hinzu kam eine neuartige Integration von Magnetiksensoren (Prototypen Geometrics MFAM) direkt am Fahrzeug, die eine gradiometrische Messung des Magnetfeldes und damit eine Detektion von magnetischen Anomalien ermöglicht. Bei den bisher verfügbaren Systemen war der Einfluss des AUV auf die Sensorik stets sehr groß, was bei direkter Integration am Fahrzeug negative Auswirkung auf die Qualität der Messergebnisse hatte. Besonders für magnetische Messungen müssen die Sensoren bis auf wenige Meter an den Meeresboden herangeführt werden, um auch kleine Anomalien im Erdmagnetfeld erkennen zu können. Besonders für diesen Einsatz sind AUV geeignet. Es konnte so eine Vielzahl von Sensoren auf eine einzelne autonome Plattform integriert werden, wodurch effiziente autonome Kartierungen durchgeführt werden können. Diese verschiedenen Sensoren wurden auf der identifizierten Detailfläche in mehreren Missionen eingesetzt. Hierdurch kann in der Datenauswertung ein umfassendes Bild des Verklappungsgebiets erstellt werden. Gleichzeitig konnte die erfolgreiche Implementierung des SAS und der neuen Magnetiksensorik auf den AUV unter Beweis gestellt werden.

Die verschiedenen gesammelten Datensätze zeigen die Komplexität der Verklappungsgebiete vor der Küste (Abb. 4). Große Mengen an Altlasten sind dort unregelmäßig verteilt und überlagern sich teilweise, sodass eine genaue Kenntnis der Lage, Klassifizierung und des Zustands der Objekte für eine weitere Räumung und Entsorgung entscheidend ist. Hierfür stellen die Resultate der ersten Vermessungskampagne im Projekt IRAV einen wichtigen Schritt dar, auf den die weiteren Arbeiten aufbauen können.

### Tests und Weiterentwicklung in der Prozesskette

Die während der Messausfahrten gesammelten Daten dienen auch als Eingangsgröße für die von thyssenkrupp Marine Systems entwickelten Teilsysteme und Prozessschritte.

Eines dieser Teilsysteme ist das Hebetool für Munition, das im Rahmen des Forschungsvorhabens in seiner Einsatzumgebung getestet wird. Dieses Hebetool besteht aus zwei Teilen: Einer Palette, auf der die Munition abgelegt wird und einem manövrierfähigen Käfig, der wie eine Glocke auf diese Palette aufgesetzt und verriegelt wird. Im Käfig befindet sich ein System zur Sicherung der Munition. Der Käfig wiederum wird mittels eines Krans abgesenkt und gehoben und durch eine ferngesteuerte Unterwasserdrohne (Remotely Operated Vehicle, ROV) feinpositioniert und gesteuert. Dieses Hebetool bil-

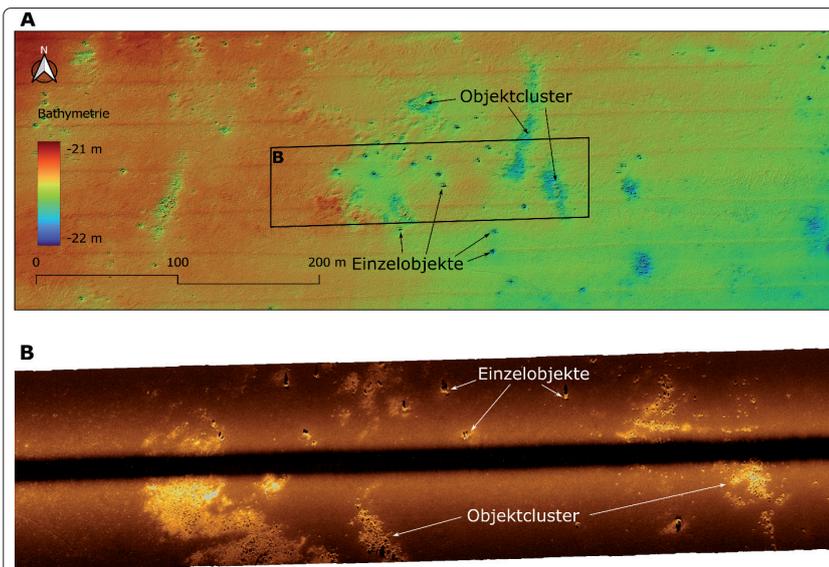


Abb. 4: Geophysikalische Vermessungsdaten aus Verklappungsgebiet BLBo5L.

A: Fächerecholotdatenraster zeigen eine Vielzahl von Einzelobjekten und Objektclustern am Meeresboden mit zugehörigen Kolken.

B: Seitensichtsonardaten erhoben mit dem AUV SeaCat erlauben eine hochgenaue Abbildung der Objekte am Meeresboden. Die Geometrie der einzelnen Objekte kann erkannt und im Anschluss für die Klassifizierung mit einbezogen werden

det die Schnittstelle zwischen der Bergung der Altmunition und deren Entsorgung auf einer schwimmenden Plattform. Die Standardpalette wird zum Objektträger während des nachfolgenden Entsorgungsprozesses. Dadurch ist es nicht notwendig, die Altmunition nochmals umzulagern, was das Risiko im Prozess weiter mindert. Darüber hinaus ermöglicht ihr standardisiertes Maß eine weitgehende Automatisierung des Transportprozesses auf der Plattform mit bewährten Transportsystemen. Dies wiederum begünstigt die spätere Skalierung und Industrialisierung der Munitionsentsorgung.

Im Rahmen der Tests soll das Hebetool den Nachweis erbringen, dass es in der Lage ist, an eine auf dem Meeresboden befindliche Trägerpalette anzudocken und diese sicher heben und an Bord der Entsorgungsplattform befördern kann. In diesem Zusammenhang wird neben der Mechanik auch die Programmierung der ROV-Steuerung abgeschlossen und überprüft. Bei der Steuerung sind die Besonderheiten des ROV für den Einsatz als Hebetool zu berücksichtigen. So müssen beispielsweise die eigens entwickelten Verschlüsse verriegelt und überwacht werden und sich das ROV am Kran hängend um die Hochachse drehen können. Damit Unebenheiten des Meeresbodens ausgeglichen werden können, muss das ROV in der Lage sein, den angehängten Käfig zum Andocken an die Palette in einem bestimmten Winkel gegenüber der Vertikalen anzustellen. Zuletzt muss das Andockmanöver durch entsprechende Sensorik unterstützt werden, die besonders während des Endanlaufes beim Andocken unterstützen muss. Unterschiedliche Sichtverhältnisse und die Anforderungen an die Bildauflösung führen zu einer Kombination unterschiedlicher Sensoren, die koordiniert werden müssen.

Die ersten Tests in der Einsatzumgebung wurden im Frühjahr in Nyborg in Dänemark durchgeführt. Hierbei wurde das Hebetool zunächst im Hafenbecken durch einen Kran eingesetzt und der An- und Abdockvorgang an der UXO-Palette unter unterschiedlichen Aspekten (z. B. Anstellwinkel, Sicht, verdrehter Zustand) durchgeführt (Abb. 5). Diese Tests fanden bei idealen Seegang- und Wetterbedingungen statt. Der Grund vor Ort besteht aus weichem Schlick. Dies brachte zwei mögliche Herausforderungen an das System mit sich, denen während der Tests sprichwörtlich auf den Grund gegangen wurde: zum einen schränkt aufgewirbelter Schlick die Unterwassersicht stark ein, zum anderen könnte die Munitionspalette im Schlick einsinken oder sich beim Hebeversuch festsaugen. Beide Herausforderungen konnte das Hebetool meistern. Die eingesetzten Sensoren (Kameras und Sonar) haben die in sie gesetzten Erwartungen übertroffen – die Sicht auf Grund und Palette beim Absetzen war hervorragend. Ein ausreichend gutes Lagebild stellte sich nach Auf-

setzen der Palette im Schlick schon nach relativ kurzer Zeit wieder ein. Die Manövrierfähigkeit des gesamten Systems im Wasser hat sich auch mit angedockter Munitionspalette als außerordentlich gut erwiesen und das Heben der Palette aus dem Schlick stellte für das Hebetool kein Problem dar.

Nach der Bewährung im Hafenbecken wird beabsichtigt, das Hebetool bei der nächsten Vermessungsfahrt ein weiteres Mal zu testen, diesmal auf See. Bei diesen Tests ist neben »Leerversuchen« auch der Einsatz von Darstellungsmitteln vorgesehen, die in Dimension und Gewicht solchen Munitionstypen entsprechen, die in den Verklappungsgebieten nachgewiesen sind.

Im Rahmen ihrer Arbeitspakete am Forschungsvorhaben IRAV untersucht thyssenkrupp Marine Systems auch kritische Detailspekte im Entwurf der Entsorgungsplattform. Hierbei konzentriert sich die Firma auf Ansätze zur weiteren Verbesserung der technischen Verfahrenssicherheit:

Da die gängigen Munitionsverbrennungsanlagen in der Regel nicht für große Munitionstypen wie Torpedoköpfe oder Minen ausgelegt sind, ist vor der eigentlichen Entsorgung zunächst ein Zerteilen der Munition erforderlich. Für die Delaborierung auf See tritt neben dem Schutz von Mensch und Umwelt der Schutz der Plattform selbst vor den Auswirkungen einer ungeplanten Umsetzung der Munition während des Zerschneidens hinzu. thyssenkrupp Marine Systems hat verschiedene technische Ansätze analysiert, um die Delaborationskammer, in der die Munition zerteilt wird, so zu lagern, dass die bei einer unbeabsichtigten Umsetzung



Abb. 5: Einnehmen und Absetzen der Munitionspalette an Deck

der Munition freiwerdende kinetische und thermische Energie durch die Kammer selbst und ihre Lagerung eingedämmt wird. Auf diese Weise wird sichergestellt werden, dass benachbarte Anlagen und Geräte oder die Entsorgungsplattform selbst unbeschädigt und weiter einsatzbereit bleiben.

Das Zerlegen von Fundmunition ist ein erprobtes und bewährtes Verfahren. Nichtsdestoweniger kann eine unbeabsichtigte Umsetzung der Munition nie gänzlich ausgeschlossen werden. In Folge einer solchen Umsetzung würde das Innere der Delaborationskammer sehr stark aufgeheizt. Dies wiederum würde den Detonationsverlauf weiter begünstigen und zu starken Belastungsspitzen in der »eindämmenden« Umgebung führen. In einem weiteren Arbeitspaket im Forschungsprojekt werden in einer Modellsimulation Indikationen näher untersucht, denen zufolge feiner Wassernebel in der Delaborationskammer den Detonationsverlauf verzögern könnte.

In einem vierten Arbeitspaket werden die bekannten und angenommenen Anforderungen der Bedarfsträger (Stakeholder Needs, Stakeholder Requirements) an das Gesamtsystem ermittelt und in technische und organisatorische Systemanforderungen (System Requirements) an das Gesamtsystem »Bergung und Entsorgung« abgeleitet. Diese Systemanforderungen bilden die Grundlage für die Auslegung und Abnahme des Gesamtsystems und seiner Komponenten. Neben technischen Aspekten werden in diesem Zusammenhang die Anforderungen an den Betrieb der Entsorgungsplattform in deutschen Küstengewässern untersucht und die Verantwortlichkeiten sowie abgeleitete zusätzliche Anforderungen geklärt.

### Sofortprogramm Munitionsaltlasten in Nord- und Ostsee

Der Deutsche Bundestag hat ein Budget in Höhe von insgesamt ca. 100 Millionen Euro bewilligt, um den Einstieg in die Räumung der Munitionsaltlasten in der Ostsee zu finden. Dieses Budget finanziert das »Sofortprogramm Munitionsaltlasten in Nord- und Ostsee«, das 2023 unter der Ägide des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) initiiert wurde. Das Ziel dieses Sofortprogramms hat der mit der Vergabe beauftragte Projektträger Jülich in den Ausschreibungsunterlagen so formuliert:

»Im Rahmen des Sofortprogramms soll die Machbarkeit einer sicheren, effizienten und umweltgerechten Bergung und Entsorgung von Munitionsaltlasten in der Ostsee nachgewiesen werden. (...) Die gewonnenen Erkenntnisse dienen Bund und Ländern als Voraussetzung für den systematischen Einstieg in die industrielle Beseitigung von Munitionsaltlasten in deutschen Meeresgebieten« (Leistungsbeschreibung für den Auftrag »Pilotierung Erkundung und Bergung zum

Sofortprogramm Munitionsaltlasten in Nord- und Ostsee«, Dokument B.0.1).

Das Sofortprogramm besteht aus zwei Elementen: Zunächst sollen noch in diesem Jahr durch Pilotbergungen Erkenntnisse über den Zustand der Kampfmittel in vier definierten Verklappungsgebieten gesammelt werden. Drei dieser Gebiete liegen in der Lübecker Bucht (Haffkrug, Pelzerhaken Nord und Pelzerhaken West), das vierte vor Boltenhagen. Ab Mitte 2024 sollen diese Arbeiten beginnen und innerhalb eines Zeitraums von sechs Monaten abgeschlossen sein. Die hier gesammelten Daten und Erfahrungen sollen in die Entwicklung einer Räum- und Entsorgungsplattform einfließen.

Diese Entsorgungsplattform möchte der Bund im Rahmen einer Innovationspartnerschaft gemeinsam mit der Industrie entwickeln. Die Veröffentlichung der entsprechenden Ausschreibung war für Juni 2024 angekündigt. Ziel soll es sein, 2026 mit dieser ersten Entsorgungsplattform den kontinuierlichen Berge- und Entsorgungsbetrieb aufzunehmen. Abhängig von den hier gestellten Anforderungen könnte auf dem von thyssenkrupp Marine Systems entwickelten Konzept aufgebaut werden.

Das Sofortprogramm ist allerdings lediglich ein erster Schritt, um die Beseitigung der Munition im Meer in Schwung zu bringen. Abhängig von der Intensität der Arbeiten wird sich die Räumung des zugänglichen Teils allein der konventionellen verklappten Munition über Jahrzehnte hinziehen. Offen ist neben der Frage, unter wessen Federführung diese Arbeiten stattfinden, auch noch die Finanzierung sowohl des Dauerbetriebs der ersten Entsorgungsplattform als auch der Beschaffung weiterer Entsorgungsplattformen. Darüber hinaus zeichnet sich bereits jetzt ein Bedarf an Fachpersonal mit den notwendigen Befähigungsnachweisen ab, der vom Markt ohne weitere Rekrutierungs- und Qualifikationsmaßnahmen nicht gedeckt werden kann.

Viele der hier gefragten Ressourcen werden auch im Rahmen des Ausbaus der Offshore-Wirtschaft gefordert sein. Insbesondere geht es hier um den Wettbewerb zwischen den knappen Ressourcen bei der Meeresgrunduntersuchung und Räumung von Altmunition. Eine Ausweitung der Räum- und Entsorgungsaktivitäten, zunächst in die Nordsee und später gegebenenfalls in ebenfalls belastete Gewässer anderer Staaten, bedeutet einerseits eine gigantische Aufgabe, andererseits aber auch ein enormes Potenzial für die internationale maritime Zusammenarbeit.

Die Notwendigkeit für das Unschädlichmachen der Munitionsaltlasten im Meer ist inzwischen deutlich in das gesellschaftliche Blickfeld gerückt. Erste Schritte dazu werden unternommen. Nun ist es notwendig, die gesamtgesellschaftliche Aufgabe im Sinn zu behalten, um eine nachhaltige Zukunft für die Anrainer von Nord- und Ostsee zu schaffen. //

# Der »Expertenkreis Munition im Meer«

Ein Beitrag von ALEXANDER BACH

Im Jahr 2011 wurde erstmals eine umfassende Bestandsaufnahme zur Munitionsbelastung in der deutschen Nord- und Ostsee veröffentlicht. Damals ging man von 1,6 Millionen Tonnen Munition aus. Diese Zahl wird noch immer angegeben. Anders hingegen betrachtet der Expertenkreis Munition im Meer heute die damalige Einschätzung, dass keine »großräumige Gefährdung der marinen Umwelt« besteht. Im Artikel wird die Organisation des Expertenkreises sowie seine Aufgaben vorgestellt.

In 2011, a comprehensive inventory of munitions pollution in the German North Sea and Baltic Sea was published for the first time. At that time, it was estimated that 1.6 million tonnes of munitions were present. This figure is still being quoted. Today, however, the Expert Group on Munitions in the Sea takes a different view of the assessment at the time, stating that there is no »large-scale threat to the marine environment«. The article presents the organisation of the expert group and its tasks.

Fast 13 Jahre ist es her, dass am 5. Dezember 2011 durch eine Arbeitsgruppe des Bund/Länder-Messprogramms (BLMP) Nord- und Ostsee der Bericht »Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer – Bestandsaufnahme und Empfehlungen« veröffentlicht wurde (Böttcher et al. 2011). In diesem Bericht wurde erstmals ein umfassender Überblick über die Munitionsbelastung in den deutschen Anteilen der Nord- und Ostsee zusammengefasst und auf ca. 1100 Seiten (inklusive aller Anlagen) detailliert beschrieben. 1,6 Millionen Tonnen konventioneller Munition lagern demnach auf dem Grund der deutschen Meeresgewässer – allein 300 000 Tonnen in der deutschen Ostsee. Grundlage für die dort präsentierten Ergebnisse waren neben umfangreichen Archivrecherchen auch Untersuchungen zu chemischen Belastungen der Meeresumwelt durch sprengstofftypische Verbindungen wie Trinitrotoluol (TNT) oder dessen Umbauprodukten. Im Rahmen des Berichts kam man damals zu der Gesamtbewertung, es sei »nicht erkennbar, dass eine großräumige Gefährdung der marinen Umwelt über den lokalen Bereich der munitionsbelasteten Flächen hinaus vorhanden oder zukünftig zu erwarten ist«.

Im Jahr 2012 wurde der Bund-Länder-Ausschuss Nord- und Ostsee (BLANO) gegründet. Im Jahr 2018 erfolgte neben weiteren Anpassungen eine Umbenennung in Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee (Logo in [Abb. 1](#)). In ihr arbeiten Bund und Küstenländer zur Umsetzung der EU-Meeressstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) zusammen. Unterhalb der Entscheidungsebene wurde als fachliches Beratungsgremium der Koordinierungsrat (KORA) eingerichtet. Darunter siedeln sich verschiedene Querschnitts- und Fach-Arbeitsgruppen sowie Expertenkreise an ([Abb. 2](#)).

Bereits im Jahr 2012 wurde im Bestreben der Fortsetzung der Arbeiten zum Thema Munitions-

belastung der BLANO-Expertenkreis Munition im Meer (EK MiM) gegründet. Neben der Tatsache, dass die Belastung der Meeresumwelt mit sprengstofftypischen Verbindungen keinen Deskriptor oder messpflichtigen Schadstoff gemäß MSRL darstellt, ist die Zusammensetzung dieses Expertenkreises eine Besonderheit innerhalb der BLANO. Neben den Umweltressorts des Bundes (vertreten durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, das Umweltbundesamt sowie das Bundesamt für Naturschutz) und der Küstenländer sowie den ebenfalls als BLANO-Partner beteiligten Bundesressorts für Ernährung und Landwirtschaft (vertreten durch das Thünen-Institut für Fischereiökologie) sowie für Digitales und Verkehr (vertreten durch die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt sowie das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) ist die Vielfalt der weiteren Mitglieder einmalig innerhalb der BLANO. So sind auch das Bundesministerium für Verteidigung (vertreten durch das Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistung der Bundeswehr), das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, die Innenressorts der Küstenländer (zum Teil vertreten durch die Länderräumdienste), das Marinekommando, die Wehrtechnische Dienststelle 71 sowie das Maritime Sicherheitszentrum mit der dort angesiedelten gemeinsamen Meldestelle für Vorfälle mit Munition im Meer als Mitglieder im EK MiM vertreten (Bach et al. 2024). Im Rahmen einer Transparenzoffensive hat die

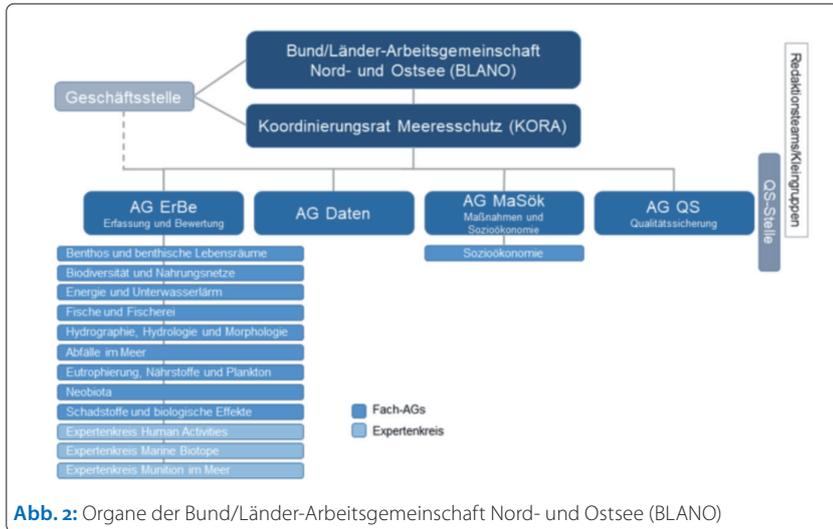
## Autor

Alexander Bach ist  
Vorsitzender vom  
»Expertenkreis Munition  
im Meer«.

[munition@meeresschutz.info](mailto:munition@meeresschutz.info)



Abb. 1: Logo der BLANO



BLANO ihre Arbeitsgruppen im Jahr 2022 auch für Interessenvertreter geöffnet. Seither nehmen auch Vertreter:innen des Naturschutzbundes Deutschland (NABU) sowie des Tourismusverbands Schleswig-Holstein (TVSH) an Sitzungen des Expertenkreises teil, hier im sogenannten öffentlichen Teil der Sitzungen.

Kernaufgaben des Expertenkreises sind die mindestens jährlich erfolgende Aktualisierung und Fortschreibung des Statusberichts sowie die Ausübung eines Controllings bei der Umsetzung der Empfehlungen. Der Expertenkreis kann themenbezogen auch externe Expert:innen als Beratende hinzuziehen. Darüber hinaus kann der Expertenkreis auf Anforderung der beteiligten Ministerien oder der BLANO die Koordination bei der Beantwortung von Fachfragen und in fachgerechter Weise eine situationsbezogene Medienarbeit sowie die Kommunikation mit Interessengruppen sicherstellen.

Angesichts relevanter internationaler Bestrebungen (UN, EU, CBSS, OSPAR, HELCOM) und der auch international anerkannten Expertise in Deutschland kann der Expertenkreis als fachlich versierter Kern des bestehenden Kompetenz-Netzwerks auf Bitten der verantwortlichen Stellen zwecks Begleitung und Mitwirkung zu diesen übergreifenden Prozessen hinzugezogen werden. Der Expertenkreis veröffentlicht seine Jahresberichte sowie wei-

tere Informationen rund um das Thema auf seiner Internetseite [www.munition-im-meer.de](http://www.munition-im-meer.de).

In den Jahren der Zusammenarbeit haben Mitglieder des Expertenkreises viele Forschungsprojekte begleitet, beraten, gefördert oder auch initiiert. Auf Basis der Ergebnisse dieser Forschungsprojekte hat der Expertenkreis seine Gesamtbewertung zur Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer angepasst. Im Rahmen des Umlaufbeschlusses 5/2021 legte die BLANO der Umweltministerkonferenz im Jahr 2021 die folgende Gesamtbewertung des Expertenkreises vor:

»Von Munition in Nord- und Ostsee gehen vielfältige Gefahren für Mensch und Umwelt aus. Das Risiko ergibt sich aus Art und Dichte der Kampfmittelbelastung und der Form der Nutzung der Meeresgebiete, Ufer und Strände. Aus jetzt vorliegenden Forschungsergebnissen ist abzuleiten, dass im Bereich munitionsbelasteter Meeresgebiete von einem erhöhten Gefährdungspotential für die Meeresumwelt auszugehen ist. Unter Berücksichtigung der erheblichen Munitionsmengen sowie der fortschreitenden Korrosion sind Beeinträchtigungen der Meeresumwelt einschließlich des marinen Nahrungsnetzes nicht mehr auszuschließen und müssen weiter untersucht werden. Vor dem Hintergrund der weiter zunehmenden Meeresnutzung besteht eine besondere Gefährdung für Personengruppen, die im marinen Bereich mit Grundberührung tätig sind. In der Konsequenz sollten Forschung und Technologieentwicklung verstärkt werden, um die von den Kampfmitteln tatsächlich ausgehenden Risiken rechtzeitig zu erfassen. Darüber hinaus besteht erkennbarer Bedarf an sachgerechten Optionen zur Vorsorge und zum Umgang bis hin zur Bergung und umweltgerechter Entsorgung« (UMK 2021).

In der weiteren Arbeit des Expertenkreises wird es neben der Beratung der Behörden um die Verifizierung der Belastungszahlen zu versenkter Munition gehen. Zusätzlich wird der Aufbau eines dauerhaften Monitorings auf Basis eines entsprechenden Konzepts dazu beitragen, die tatsächliche Belastung der Meeresumwelt mit sprengstofftypischen Verbindungen sowie zukünftige Effekte einer umweltverträglichen Bergung zu erfassen und zu bewerten. //

## Literatur

Bach, Alexander; Claus Böttcher; Alexander Jaser; Tobias Knobloch; Jens Sternheim; Ingo Weinberg; Uwe Wichert; Joachim Wöhler (2024): Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer – Entwicklungen und Fortschritt (Jahr 2019 und 2020). [www.schleswig-holstein.de/uxo/DE/Themen/Fachinhalte/textekarten\\_Berichte.html](http://www.schleswig-holstein.de/uxo/DE/Themen/Fachinhalte/textekarten_Berichte.html)

Böttcher, Claus et al. (2011): Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer – Bestandsaufnahme und

Empfehlungen (Jahr 2011). [www.schleswig-holstein.de/uxo/DE/Themen/Fachinhalte/textekarten\\_Berichte.html](http://www.schleswig-holstein.de/uxo/DE/Themen/Fachinhalte/textekarten_Berichte.html)

UMK (2021): Bericht an die UMK über die Aktualisierung der Gesamtbewertung der Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer sowie über notwendige Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zu Munition im Meer. [www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/UmlaufID\\_1615\\_DateiID\\_551.pdf](http://www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/UmlaufID_1615_DateiID_551.pdf)

# Auf welche Weise wird das maritime Ökosystem durch Weltkriegsmunition beeinflusst?

Ein Beitrag von ARIAN WULF

Bei diesem Beitrag handelt es sich um eine Facharbeit aus dem Jahr 2022. Der Autor besuchte damals die 10. Klasse des Gymnasiums Reutershagen in Rostock. Für seine Facharbeit erhielt er den Anerkennungspreis des 20. Schülerprojektwettbewerbs »Schüler staunen ...« in Mecklenburg-Vorpommern, der im Juni vergeben wurde. Wir veröffentlichen Auszüge der insgesamt 38-seitigen Facharbeit.

Ökosystem Meer | Verklappung | Munition Compounds | Bergung | Entsorgungsplattform  
marine eco system | dumping | munition compounds | salvage | disposal platform

This article is a project paper from the year 2022, when the author was in year 10 at Reutershagen Grammar School in Rostock. He received the recognition prize of the 20th student project competition »Schüler staunen ...« in Mecklenburg-Vorpommern, which was awarded in June. We are publishing extracts from the 38-page project paper.

## Einleitung

Die relevanten Themen und Probleme unserer Zeit sind sehr vielfältig. Als junger Mensch und Küstenbewohner der deutschen Ostsee liegt mir der Schutz dieses Gewässers besonders am Herzen. Fischsterben und die Verschmutzung des Meeres sowie lokaler Strände betreffen mich direkt. Ein wahrscheinlich viel größeres Problem liegt jedoch unsichtbar unter der Meeresoberfläche verborgen. (...) Gemeint sind Munitionsaltlasten aus dem Ersten und Zweiten Weltkrieg. (...) Nach dem Krieg ist den Verantwortlichen schnell bewusst geworden, dass die komplette Munition, die nach Kriegsende übrig geblieben ist, irgendwie »entsorgt« werden muss. Aus sicherheitstechnischen und vor allem aus politischen Aspekten musste dies so schnell wie möglich geschehen. (...) Nach dem Motto »Aus den Augen, aus dem Sinn« und ohne sich über mögliche Folgen im Klaren zu sein wurde der Großteil der Munition einfach im Meer versenkt.

In den Jahrzehnten nach Ende des Zweiten Weltkrieges und der großflächigen Verklappung der Munition wurden die Relikte schlicht und einfach vergessen. Man wog sich lange in Sicherheit. Bis auf Einzelfälle, in denen Weltkriegsbomben Fischer töteten oder Spaziergänger Phosphorstücke aus britischen Brandbomben mit Bernsteinen verwechselten. Die Vorfälle wurden als Einzelfälle abgetan. Es gab keine einschneidenden Ereignisse, welche die Politik gezwungen hätten, irgendwelche Maßnahmen zu ergreifen.

In den letzten zwei Dekaden erkannte man jedoch mehr und mehr die Gefahren der längst vergessenen Munitionsaltlasten (...) auf das Ökosystem Meer und auf darin vorkommende Organismen (...).

## Verklappung

Verklappung meint im allgemeinen Sinne das Entsorgen bzw. Einführen von Abfällen in Gewässer. Im Hinblick auf Munitionsaltlasten geht es häufig um das Versenken von Munition und Bomben jeglicher Art in Meerestgewässer. (...) Spätestens seit dem Ende des Ersten Weltkriegs in Europa mussten das erste Mal riesige Mengen von Munition schnell entsorgt werden, so wie es die im Versailler Vertrag festgelegte Entmilitarisierung forderte. Die Verklappung im Meer wurde deshalb das erste Mal großflächig praktiziert.

Mit Beginn des Zweiten Weltkriegs wurden schlagartig wieder Unmengen an Munition produziert. Der Eintrag von Kampfmitteln in deutsche Gewässer im fortlaufenden Kriegsgeschehen war nur eine logische Folge aus einer Vielzahl von Seegefechten. Schon während des Kriegsgeschehens wurden häufig Blindgänger oder nach einem Angriff übrig gebliebene Bomben über der Nord- und Ostsee beseitigt.

Bereits vor Ende des Krieges verklappte die deutsche Wehrmacht große Mengen an Munition und Bomben. Sie war sich der drohenden Niederlage und der Machtübernahme durch die Alliierten bewusst. Um die Beschlagnahmung von Waffen und

## Autor

Arian Wulf macht gerade sein Abitur am Gymnasium in Rostock-Reutershagen.

[arian.wulf@gmx.de](mailto:arian.wulf@gmx.de)

Munition durch die alliierten Streitkräfte zu verhindern, entsorgten sie diese in Gewässern.

Nach dem sicheren Kriegsende und der Kapitulation Deutschlands beschlossen die alliierten Staaten Großbritannien, die USA und die UdSSR auf der Potsdamer Konferenz die »völlige Abrüstung und Entmilitarisierung Deutschlands«. Dafür »müssen [...] alle Waffen, Munition und Kriegsgerät [...] vernichtet werden«. (...) Als einfachste Lösung wurde die Verklappung im Meer angesehen. Im großen Stil wurde also in der Endzeit des Krieges und in den Folgejahren Kriegsmaterial in der Nord- und Ostsee verklappt. Mit allen verfügbaren Schiffen, von Kriegsschiff bis Fischerboot, wurden sowohl konventionelle als auch chemische Munition und Kampfstoffe entsorgt. Teilweise wurden von Bug bis zum Heck mit Munition vollbeladene Schiffe einfach auf dem offenen Meer versenkt.

Diese Verklappungsaktivitäten nach dem Zweiten Weltkrieg sind heute für die überwiegende Menge von Munitionsaltlasten in deutschen Meeresgewässern verantwortlich. (...)

### Gefährdungslage

(...) Die Munition stellt zunächst ein direktes Risiko für uns Menschen dar. Vor allem in Netzen von Fischern hat sich in der Vergangenheit Munition verfangen. Durch Detonation oder das Austreten von giftigen Stoffen können sie schwer verletzt oder sogar getötet werden. In einem Fall im Dezember 2020 kam es zu einem Unfall mit einem britischen Fischerboot in der Nordsee. Ein Netz der Fischer verfang sich am Meeresgrund an einer 250 Kilogramm schweren Fliegerbombe aus deutscher Produktion. Die Bombe explodierte am Meeresgrund und verletzte fünf Fischer und demolierte das Boot stark. Zwischenfälle gibt es auch mit Küstenbewohnern und Touristen an deutschen Stränden. Häufig sammeln sie Phosphorstücke aus britischen Brandbomben am Strand auf. Dieser entzündet sich an der Luft von alleine und sorgt oft für schwere Verbrennungen. Bisher sind seit dem Zweiten Weltkrieg 160 Menschen durch Reste von Munition getötet worden, weitere 260 wurden verletzt, und dies allein an der Ostseeküste.

Auch die maritime Wirtschaft und Infrastruktur beschäftigen die Hinterlassenschaften der Kriege ungemain. Die Fischerei, die Schifffahrt und Fähren werden durch sie gefährdet. Der in den letzten Jahren voranschreitende Ausbau von Pipelines, Kabeltrassen und Offshore-Windparks ist direkt von Munitionsaltlasten betroffen. In komplizierten und kostenintensiven Verfahren muss vor dem Bau der Meeresboden abgesucht und von Munition bereinigt werden. All diese Gefahren sind zwar nicht zu unterschätzen, im Gegensatz zu den ökologischen Gefahren jedoch absehbarer.

Das Hauptproblem im Hinblick auf ökologische Gefahren ist, dass die Munition seit teilweise

über hundert Jahren am Meeresboden den physikochemischen Gegebenheiten ausgesetzt ist. Der natürliche Prozess der Korrosion zersetzt die Metallhüllen der Munition im Laufe der Zeit. Die Metallhüllen umschließen die Sprengstoffe und Wirkmittel in der Munition. (...) Mittlerweile sind aber selbst die dicksten Metallhüllen nicht mehr vollständig und häufig auch gar nicht mehr vorhanden. Der Inhalt der Munition wird nun ungehindert ins Meerwasser abgegeben. (...) Durch die Freisetzung und die Verbreitung der Inhaltsstoffe besteht also die Gefahr der Bioakkumulation. Dies bedeutet, dass die Stoffe in die maritime Nahrungskette gelangen und von Organismen aufgenommen werden. (...)

### Munition Compounds

»Munition Compounds« (MC) ist die wissenschaftliche Bezeichnung für Explosivstoffe und deren Umwandlungsprodukte. Durch natürliche chemische Prozesse im Meerwasser und sowohl den Einfluss von abiotischen als auch biotischen Umweltfaktoren werden die Sprengstoffe in verschiedensten Zwischen- und Endprodukte metabolisiert bzw. transformiert. (...)

### Konkrete Folgen

Die Folgen der Aufnahme ruft subletale Reaktionen hervor, führt in der Regel aber nicht zum zeitnahen Tod von Pflanzen oder Tieren. Nach der Aufnahme von MC bei Fischen durch die Nahrung, die Kiemen oder die Haut sammeln sich diese im Entgiftungsorgan der Leber bzw. der Galle an. Ein Großteil der Stoffe wird im Organismus umgewandelt oder zu großen Teilen auch zeitnah ausgeschieden. Trotzdem sind viele negative Wirkungsweisen der hochtoxischen MCs bekannt. (...)

Konkrete Untersuchungen zu Auswirkungen von TNT und seinen Metaboliten gibt es zum Beispiel bei den Miesmuscheln. Eine oft für Feldversuche in der Ostsee verwendete Munitionsdeponie ist die Kolberger Heide in der Kieler Bucht. Dort lagern 35000 Tonnen Reliktmunition aus den Weltkriegen. In diesem Bereich verpflanzte Miesmuscheln wurden dabei zu Versuchszwecken betrachtet. (...) Es konnte tatsächlich eine Konzentration von MC in Muscheln nachgewiesen werden. Muscheln nehmen also Explosivstoffe aus Munition auf und lagern sie in gewisser Form in ihrem Gewebe an. (...)

Eine weitere in der Ostsee heimische Art, die in der Kolberger Heide untersucht wurde, ist die Kliesche. Diese lebt wie andere Plattfischarten am Meeresboden und ist daher einer hohen Exposition gegenüber der am Meeresboden ruhenden Munition ausgesetzt. Zudem lebt sie standortgebunden und ist somit wahrscheinlich anders als wandernde Schwarmfische wie der Hering einer größeren Exposition ausgesetzt. (...) Bei der Rate

von Lebertumoren wurde eine signifikante Erhöhung bei den Tieren aus dem belasteten Gebiet ermittelt. (...)

## Klimawandel

Der menschengemachte Klimawandel trifft unsere Erde mit noch nicht endgültig absehbaren Folgen. Die ersten Auswirkungen sind jetzt schon in vielen Teilen der Welt zu spüren. Die Erhöhung von Luft- und resultierend auch der Wassertemperatur sowie die Zunahme von Extremwetterereignissen sind Teil dieses Schicksals, was jedoch auch die Munitionsproblematik bereits jetzt und vor allem in Zukunft betreffen wird. Mit steigender Wassertemperatur steigt auch die Korrosionsrate. Die längst schon korrodierten Munitionshüllen verschwinden noch schneller und lassen den giftigen Inhalt in Kontakt mit dem Wasser treten. Zudem geht eine beschleunigte Löslichkeit von Explosivstoffen und chemischen Kampfstoffen damit einher. Erhöhte Stoffwechselraten, ausgelöst durch eine steigende Wassertemperatur, können außerdem zu einer erhöhten Exposition und Aufnahme von MC führen. (...) Der Klimawandel und seine Folgen allein erhöhen den biologischen Stress mariner Lebewesen erheblich. Munition wird bewegt oder versendet durch vermehrte Stürme, was ein dauerhaftes Monitoring erfordert. In Verbindung mit erhöhter Korrosions- und Löslichkeitsrate der Munition und ihrer Inhaltsstoffe verstärkt der Klimawandel zukünftig die Problematik drastisch.

## Lösungsansätze

### Blast in Place

Der Begriff »Blast in Place« bezeichnet vor Ort Sprengungen von Munition im Wasser. Diese sind gängige Praxis vieler Kampfmittelräumungsunternehmen bei der Erschließung mariner Infrastruktur für Kabeltrassen oder Offshore-Windparks. Zahlreiche Untersuchungen zeigten schwerwiegende Auswirkungen dieser fragwürdigen Praxis auf. In der Munition vorhandene Sprengstoffe werden nur teilweise bei der Detonation umgesetzt, sodass giftige Explosivstoffe übrig bleiben und sogar im Umgebungswasser verteilt werden. (...) Des Weiteren sterben viele Fische im Umkreis der Detonation und das hochempfindliche Gehör von Meeresäußern wie den heimischen Schweinswalen kann geschädigt werden. Eine solche Art von »Entschärfung« erhöht also die Schadstoffbelastung, hat negative Auswirkungen auf Meereslebewesen und trägt damit zum Problem und nicht zur Lösung bei.

### Großräumige Bergung

Eine weiträumige Bergung und Entschärfung der Reliktmunition in der deutschen Nord- und Ostsee ist das angestrebte Ziel von Wissenschaft und Politik. Dies würde die Gefahren von Selbstdetonation

und das Lösen von giftigen Sprengstoffverbindungen in Zukunft verhindern. Eine Bergung bringt jedoch auch viele Probleme mit sich. Munition muss zuerst detektiert und kartografiert werden, was zwar schon vielerorts getan wurde, jedoch durch Sedimentation und eine strömungsbedingte Lageveränderung nicht immer aktuell ist. Oft ist Munition durch starke Korrosion auch nicht mehr transportfähig. Die Bergung aus dem Wasser und der Transport zu Entschärfungsgebieten an Land stellt sich als schwierig heraus. Eine Räumung muss auf besonders gefährliche Munition und das quantitative Vorkommen an einzelnen Verklappungsstandorten fokussiert werden.

### Entsorgunginsel auf der Ostsee

Die aktuelle Regierung hat sich in ihrem Koalitionsvertrag die »Bergung und Vernichtung von Munitionsaltlasten« auf die Fahne geschrieben und unterstützt dies durch ein »Sofortprogramm« mit 100 Millionen Euro. Eine von thyssenkrupp Marine Systems vorgestellte Entsorgungsplattform soll auf der Ostsee Munition entschärfen können. Auf der Plattform soll die Munition über robotergesteuerte Technik geborgen, delaboriert und schlussendlich verbrannt werden. Die Plattform geht frühestens 2025 als Pilotprojekt in der Kieler Bucht an den Start und schafft Hoffnung für eine schnelle Lösung der Problematik. Doch nur für die Munitionsmengen in der Ostsee bräuchte man 10 bis 15 Plattformen. (...)

## Fazit und Zukunftsperspektive

Ein vermeintlich vor über 70 Jahren gelöstes Problem birgt heute Gefahren sowohl für Menschen als auch für das gesamte maritime Ökosystem Nord- und Ostsee. Durch die fortschreitende Korrosion werden sowohl Sprengstoffverbindungen als auch chemische Kampfstoffe im Meerwasser gelöst. Dies wird in den nächsten Jahre verstärkt zu beobachten sein. Diverse Feldversuche und Untersuchungen konnten negative und schädigende Auswirkungen von Munitionsbestandteilen auf maritime, vor allem benthische Organismen nachweisen. (...)

Es ist zwar komplett illusorisch zu glauben, dass die verstreute Munition restlos geräumt wird. Trotzdem kann die Entnahme von besonders gefährlicher Munition und großen Verklappungsgebieten die Folgen deutlich mindern. (...) Durch aktuell gemeinsame Bestrebungen der deutschen Wirtschaft und Politik wird erstmals eine großflächige Räumung von Munition im Meer auf unserem Planeten konkret angegangen, und das in unserer heimischen Nord- und Ostsee. Mit Hilfe neuer Technologie und innovativer Lösungsansätze könnte Deutschland auf diesem Gebiet weltweit eine Vorreiterrolle annehmen und zukünftig auch erworbenes Know-how international vermarkten. //

# Werner Nicola ist tot

Ein Nachruf von ANDRES NICOLA

Im Jahr 1971 hat Werner Nicola seine erste Firma gegründet, aus der sich dann die heutige Nicola Engineering GmbH entwickelt hat. Schon bald standen erste Gewässervermessungsaufträge an, was dazu führte, dass Werner Nicola bereits 1984 – im Gründungsjahr – Mitglied der DHyG wurde. Nun ist er mit nur 78 Jahren verstorben.

Werner Nicola founded his first company in 1971, which then developed into today's Nicola Engineering GmbH. It wasn't long before the first water surveying contracts were lined up, which led to Werner Nicola becoming a member of the DHyG in 1984, the year it was founded. He has now passed away at the age of 78.

## Autor

Andres Nicola führt die Nicola Engineering GmbH in Halstenbek in zweiter Generation.

[an@nicola-eng.de](mailto:an@nicola-eng.de)

Werner Nicola wurde am 5. Februar 1946 in We-  
sermünde – dem heutigen Bremerhaven – ge-  
boren. Nach der Schulzeit schlug er den »klassischen  
Weg« ein und machte zunächst eine Ausbildung  
zum Vermessungstechniker, die er im September  
1964 erfolgreich abschloss. Im Anschluss studierte  
er dann Vermessung an der staatlichen Ingenieur-  
akademie für Bauwesen in Berlin und durfte sich  
ab Juli 1967 Ing. (grad.) Vermessung nennen. Erst  
später erlangte er durch Nachdiplomierung den  
Titel Dipl.-Ing. Vermessung.

In besagter Universität wurde ihm das für spä-  
ter so entscheidende Wissen für die Gewässerver-  
messung beigebracht. In seinem damaligen Buch  
zum Studium stand der folgende Satz: »In der  
Seevermessung werden Echolote benutzt.« Mehr  
stand dort nicht!

Bereits vier Jahre nach Abschluss der Uni grün-  
dete er 1971 die GbR Wolfgardt – Nicola mit der  
Idee, Ingenieurleistungen des Bauwesens und der  
Vermessung bei ausgewählten Bauvorhaben an-  
zubieten.

Mit der vermessungstechnischen Betreuung der  
Nassbaggerarbeiten beim Bau der Dockgrube für

das Großdock 8a der Howaldtswerke Deutsche  
Werft AG in Kiel kam es am 1. Juli 1974 zur Grün-  
dung des Vermessungs- und Ingenieurbüro Wer-  
ner Nicola GbR, zunächst mit Sitz in Bremerhaven.

Seit 1975 hat das Büro seinen Sitz an der west-  
lichen Hamburger Peripherie im Land Schleswig-  
Holstein. Diverse Auslandsaktivitäten führten dann  
am 31. Dezember 1982 in Bönningstedt zur Grün-  
dung der unabhängigen Ingenieurgesellschaft  
Nicola Engineering GmbH, mit dem Ziel, sowohl  
Land- als auch Gewässervermessungsaufträge  
durchzuführen.

Nach dem Einstieg des Sohns Andres Nicola in  
die Firma im Jahr 2009 und kurz nach dem Neu-  
bau des Firmengebäudes in Halstenbek im Jahr  
2012, erkannte Werner Nicola, dass er sich lang-  
sam zur Ruhe setzen konnte. Ende 2014 hörte er  
als Geschäftsführer auf und war fortan nur noch  
beratend tätig.

Er hatte stets einen guten Draht zur HAW Ham-  
burg, später zur HafenCity Universität (HCU), da  
von dort ein Großteil des Personals herkam, und er  
beteiligte sich auch mittels Peilschiffsgestellung an  
der NIAH (Northern Institute of Advanced Hydro-  
graphics GmbH), um so bereits damals den Studie-  
renden auch Praxiserfahrung zu ermöglichen.

Am 5. Januar 2011 wurde ihm der Titel »DHyG  
Anerkannter Hydrograph« verliehen, den er bis zu  
seinem Ruhestand führte und benutzte.

Werner Nicola durfte zu seiner Zeit einige bah-  
nbrechende Entwicklungen miterleben, die oft auf  
Grundlage immer leistungsstärkerer Computer  
geschahen und die Gewässervermessung zum  
Teil revolutionierten. Sein Arbeitsleben war dank  
Beteiligungen an vielen Großprojekten, zum Teil  
weltweit, sehr abwechslungsreich und spannend.

Werner Nicola starb überraschend am 11. April  
2024 im Kreise seiner Familie. Der Umgang mit  
ihm in der Geschäftswelt war nicht immer einfach.  
Aber er war bis zuletzt ein liebevoller Vater und ein  
fürsorglicher Opa. Und er hat sein Interesse an der  
Gewässervermessung und an Peilschiffen (auch  
von fremden Firmen) nie verloren. //





# Work Smarter. Work Faster

## Your Force Multiplier for Marine Survey

Flexible data acquisition solutions including uncrewed surface and subsea platforms with mothership operations for convenience and cost reduction

### Accelerate marine survey

Dynamic Uncrewed  
Surface Vehicles



### Streamline underwater inspection

Unique Hovering Autonomous  
Underwater Vehicles



### Boost maritime security

Dependable above and  
below water intelligence



Consulting



# Ocean engineering from space into depth

Realise your projects in cooperation with our hydrographic services

**CTDs & SVPs**



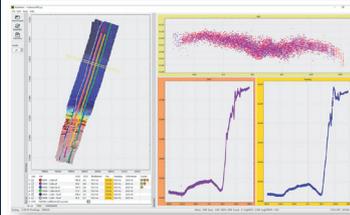
Our hydrography engineers are happy to develop systems tailored exactly to your needs and to provide professional advice and support for setting up your systems and training your staff.

MacArtney Germany benefits from being part of the MacArtney Group and enjoys unlimited access to cutting-edge engineering competences and advanced facilities.

**Acoustic sensors**



**Software**



**Position and motion sensors**



**Integration**

