

Umgestaltung Werftbecken Warnemünde, Erkundung geomagnetischer Anomalien

Auftraggeber: Hafen- und Seemannsamt
Abt. Hafenbau und -bewirtschaftung
Warnowufer 60a
18057 Rostock

Auftragnehmer: STASCHEIT Kampfmittelräumung GmbH
An der Breiten Gehre 8
39638 Gardelegen



Interne Kostenstelle: 21043

Auftrag vom: 13.11.2023
Ausführungszeitraum: 23.-24.01.2024

Ansprechpartner: Anja-S. Bertschat
abertschat@stascheit-gmbh.de

Revisionshistorie

Rev.	Datum	Bearbeiter/in	Freigabe erteilt durch	Änderung
00	29.02.2024	AB		Ersterstellung

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Durchführung und Auswertung.....	4
3	Besonderheiten	5
4	Interpretation und Ergebnisse	6
4.1	Uneingeschränkte Auswertung	6
4.2	Eingeschränkte Auswertung.....	6
4.3	Keine Auswertung möglich.....	6
4.4	Identifizierte Objekte	7
4.4.1	Magnetik	7
4.4.2	Seitensichtsonar.....	8
4.4.3	Zusammenfassung	9
5	Handlungsempfehlung	9
A	Beschreibung der Messgeräte und Methodik.....	10
A.1	Aufbau Messsystem (Seacat und MagWing).....	10
A.2	Geomagnetische Flächensorierung	11
B	Datenbearbeitung und Auswertung.....	12

Anlagen

- Anlage 01 Ergebnisse EDV
- Anlage 02 Auswertung EDV
- Anlage 03 Objektliste (Einzelobjekte; nur digital)
- Anlage 04 Digitale Anhänge (Shapes, Rohdaten, GeoTiffs, Fotodokumentation)

1 Einleitung

Die vorliegende Untersuchung erfolgte im Vorfeld der Umgestaltung des ehemaligen Werftgeländes in Warnemünde durch die Hanse- und Universitätsstadt Rostock (Flur 001, Flurstück 874/189). In diesem Zusammenhang wurde die STASCHEIT Kampfmittelräumung GmbH im November 2023 vom Hafen- und Seemannsamt Rostock beauftragt eine Erkundung geomagnetischer Anomalien im Wassertbereich des ehemaligen Werftbeckens durchzuführen.

Das Gebiet befindet sich an der Mündung der Warnow im Norden der Hansestadt Rostock zwischen der Werftallee im Norden und dem südöstlich angrenzenden Gelände des Marinearsenal Warnowwerft (Abbildung 1). Das ehemalige Werftbecken mit einer Größe von etwa 4,4 ha zeichnet sich durch Wassertiefen von 3,6 bis 11,5 m aus. Das Becken wird bis auf die Ausfahrt im Nordwesten von Spundwänden aus Stahl und Stahlbeton umfasst.

Im Bereich des Areals besteht im Landbereich ein Kampfmittelverdacht. Für die Wasserfläche des Werftbeckens besteht jedoch aufgrund von vorherigen Bau- und Nassbaggerarbeiten kein weiterer Handlungsbedarf hinsichtlich der Durchführung einer Kampfmittelräumung (s. Räumstrategie für Rostock, Warnemünde, Werftallee, Umgestaltung Werftbecken, KMK-Nr.: 371, Landesamt für zentrale Aufgaben und Technik der Polizei, Brand- und Katastrophenschutz Mecklenburg-Vorpommern, 26.04.2022).

Die vorliegende Untersuchung bezieht sich daher auf die Sondierung der vorgegebenen Hafenfläche auf magnetische Anomalien, welche Störkörper während der Baumaßnahme darstellen könnten. Hierzu wurde eine magnetische Erkundung (passives Verfahren) durchgeführt und im Anschluss auf ferromagnetische Objekte (magnetische Anomalien) ausgewertet. Als Ergänzung werden die Ergebnisse des verwendeten Seitensichtsonars (side scan sonar) herangezogen.



Abbildung 1: Lage der EDV-Fläche (rote Umrandung)

2 Durchführung und Auswertung

Die geomagnetische Sondierung (EDV-Aufzeichnung) wurde vom 23.-24.01.2024 mit Hilfe des unbemannten Unterwasserfahrzeugs (unmanned underwater vehicle, UUV) SeaCat (ATLAS MARIDAN, s. Abbildung 2) und dem geschleppten Sensorträger Mag-Wing (Atlas Elektronik Group) durchgeführt. Die Datenaufzeichnung und Bereitstellung der Messtechnik erfolgte durch ATLAS MARIDAN ApS.

Im Kopf des UUV befinden sich Sensoren zur Vermessung des Meeresbodens wie das Seitensichtsonar (side scan Sonar, SSS) Edgetech 2205 und das Fächerecholot (multibeam sonar, MBES) Norbit WBMS. Mit Hilfe des SSS werden über Schallimpulse Abbildungen des Meeresbodens und den darauf befindlichen Objekten, ähnlich einer Photographie, erzeugt. Mit dem MBES wird dagegen über mehrere gleichzeitige Schallimpulse ein dreidimensionales Abbild des Hafengrundes geschaffen. Die Verortung erfolgt über das interne Navigationssystem der Seacat.



Abbildung 2: UUV Seacat (links) und Mag-Wing mit 3-Achs-Magnetiksensoren (mittig)

Im geschleppten Mag-Wing befinden sich vier 3-Achs-Fluxgate-Sensoren (FGM3D UW, Sensys). Aus den Messungen in drei Raumrichtungen lässt sich das magnetische Totalfeld bestimmen. Drei der Sensoren befinden sich auf einer horizontalen Ebene im Abstand von etwa 0,7 m, der vierte Sensor ist mittig in einem vertikalen Abstand von 0,4 m angeordnet (s. Kapitel A1).

Aufgrund der Unzugänglichkeit des Werftbeckens wurde die Messtechnik mit Hilfe eines Krans in das Wasser abgelassen und nach Beendigung der Arbeiten wieder geborgen (Abbildung 3). Für die magnetische Messung wird das Mag-Wing als Trägerplattform vom UUV mit Hilfe eines ca. 6,5 m langen Kabels auf einer mittleren Höhe von 4 m über Grund durch das Wasser geschleppt (Abbildung 3). Das Abfahren der Messlinien erfolgte automatisiert anhand geplanter Linienverläufe.

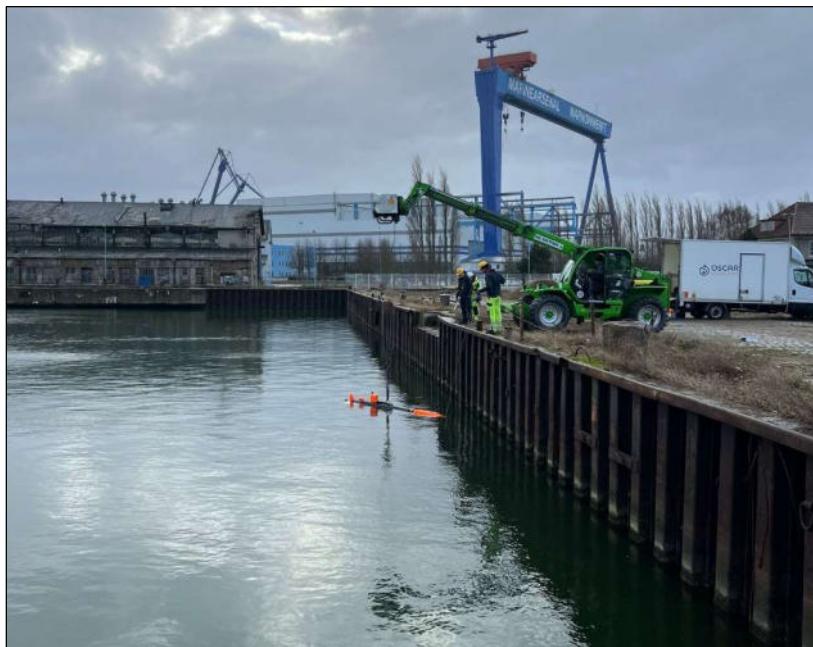


Abbildung 3: Durchführung der EDV-Aufzeichnung

Im Anschluss an die Datenaufzeichnung erfolgte die Auswertung der Daten mit dem Ziel der Feststellung magnetischer (Magnetik) und optisch sichtbarer (SSS) Anomalien und damit der Kartierung aller technisch identifizierbaren Objekte (s. Karten in Anlage 1 und 2). Die Beschreibung der Datenbearbeitung und Auswertung der Magnetik kann den Kapiteln A und B entnommen werden.

Die Qualitätssicherung bei der Datenaufzeichnung sowie -auswertung erfolgte ordnungsgemäß. Während der regelmäßigen Prüfungen der Systeme und bei der Datenbearbeitung wurden keine Funktionsstörungen festgestellt.

3 Besonderheiten

Aufgrund eines Hindernisses (Pfahl; s. Abbildung 4) sowie des begrenzten Wenderaums im Südwesten und nahe der Hafenausfahrt im Nordosten (s. Abbildung 4) konnte bei der magnetischen Aufzeichnung keine vollständige Abdeckung der Untersuchungsfläche erreicht werden. Hierbei war zu beachten, dass der Verkehr entlang der Warnow nicht gestört wird. Im Gegenzug dazu konnte mit Hilfe des fächerförmigen Aktionsradius des Seitensichtsonars eine weitaus größere Flächenabdeckung erzielt werden.

Zudem wurde ein Abstand zu den Spund- und Stahlbetonwänden eingehalten, da diese aufgrund ihrer ferromagnetischen Eigenschaften zu einer Überlagerung der gesuchten ferromagnetischen Anomalien und damit zu einer reduzierten Auswertbarkeit der Daten führen würden.

Entsprechend dieser Einflussfaktoren wurden die Messlinien unter Erforderlichkeit einer sinnvollen Mindestlänge vor Ort angepasst. Aufgrund der aktiven Nutzung des nördlichen Anlegers im Werftbecken wurde die Abfolge der Messspuren an die Taktung angepasst, sodass die Aufzeichnung in ausreichend Entfernung zum Schiff stattfinden konnte.

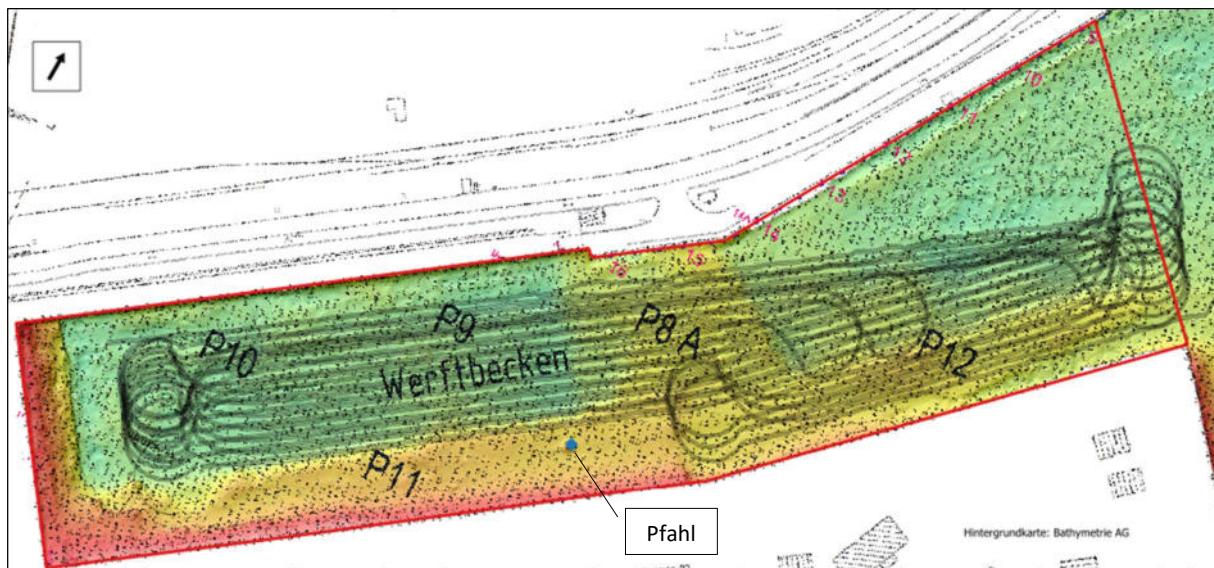


Abbildung 4: Übersicht Magnetik-Aufzeichnung (schwarze Linien: Spuren der Magnetik-Sensoren)

4 Interpretation und Ergebnisse

Insgesamt konnte, auf Grundlage der Ergebnisse der Magnetik und des Seitensichtsonars, auf der gesamten Untersuchungsfläche eine kombinierte Auswertung erfolgen (s. Karte in Anlage 1) und die Auswertung mit dem Ziel der Ausweisung von möglichen Störobjekten durchgeführt werden.

4.1 Uneingeschränkte Auswertung

Für die Daten des Seitensichtsonars ist eine uneingeschränkte Auswertung der gesamten aufgezeichneten Fläche möglich.

4.2 Eingeschränkte Auswertung

Die Auswertung der Magnetik ist auf der gesamten aufgezeichneten Fläche von ca. 2,2 ha generell nur eingeschränkt möglich. Aufgrund der hohen Anzahl an nahe beieinander liegenden magnetischen Anomalien und der damit verbundenen Überlagerung der magnetischen Messwerte erfolgt die Auswertung der Magnetik auf einer Farbskala von ± 32 nT (normalerweise ± 8 nT), um kleinere Werte zu unterdrücken. Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der technischen Einschränkungen nicht alle vorhandenen magnetischen Anomalien identifiziert werden konnten.

4.3 Keine Auswertung möglich

In Teilbereichen der Magnetik konnte auf einer Fläche von ca. 877 m² keine Auswertung der aufgezeichneten Daten erfolgen. Es handelt sich hierbei vor allem um Randbereiche der Datenaufzeichnung, in denen die magnetischen Anomalien nicht vollständig erfasst werden konnten. Diese Bereiche werden durch die Auswertung des Seitensichtsonars ergänzt.

4.4 Identifizierte Objekte

Die Auswertung hinsichtlich der Ausweisung von Störobjekten kann den Karten in den Anlagen 1 und 2 sowie der Objektliste in Anlage 3 entnommen werden.

4.4.1 Magnetik

Mit Hilfe der Modellierung von Störkörpern können Rückschlüsse auf die Eigenschaften der identifizierten ferromagnetischen Objekte wie der Tiefenlage und das magnetische Moment abgeschätzt werden². Die Abbildung 5 zeigt die Tiefen- und Größenverteilung des magnetischen Moments der modellierten Störkörper aus den Messwerten der Magnetik.

Weitere Informationen zu den modellierten Kenngrößen der Objekte können dem Kapitel B entnommen werden. Auffällig ist hierbei eine nordwestlich des sichtbaren Pfahls gelegene großförmige Anomalie (MAG_10), welche durch ihre Kennwerte deutlich aus der Umgebung heraussticht.

Insgesamt wurden mit Hilfe der Magnetik 137 Anomalien als Objekte ausgewiesen (s. Objektliste in Anlage 3). Die modellierten Tiefen der Anomalien variieren zwischen ca. 0,0 und 6,25 m¹ unter Hafengrund, wobei sich nach der Modellierung 55 der modellierten Störkörper auf dem Hafengrund befinden².

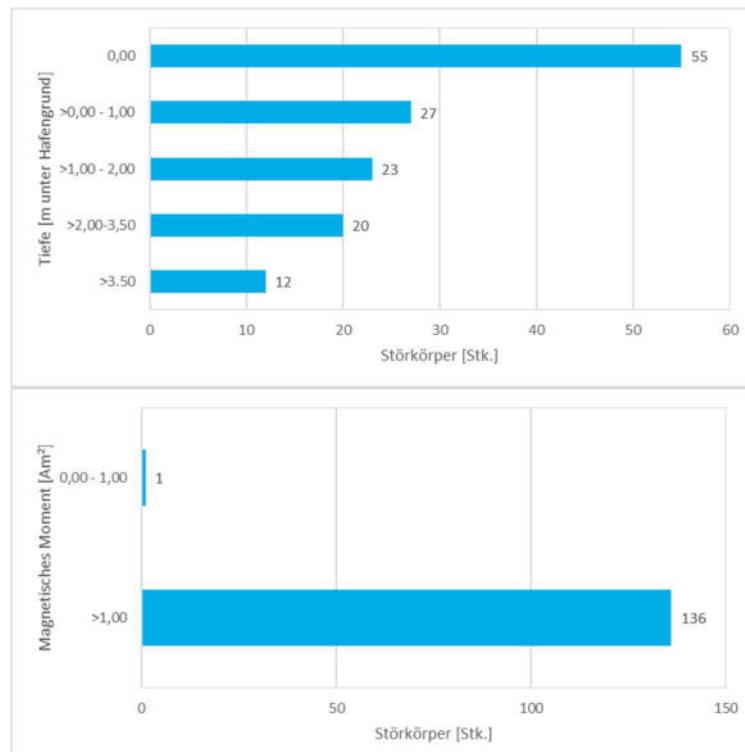


Abbildung 5:Modellierung Magnetik - oben: Tiefenverteilung der modellierten Störkörper, unten: Verteilung der Störkörper bezüglich magn. Moment¹

¹ Aufgrund der Mehrdeutigkeit der Störkörpermodellierung entsprechen die angegebenen Anomaliekennwerte (Größe, Tiefe etc.) u.U. nicht den tatsächlichen Werten.

Für das magnetische Moment wurden Werte zwischen ca. $0,68 \text{ Am}^2$ und $123.300,48 \text{ Am}^2$ modelliert¹. Hierbei wurden eine Anomalie als Störkörper mit einem magnetischen Moment $\leq 1 \text{ Am}^2$ und 136 Störkörper mit einem Wert $> 1 \text{ Am}^2$ angegeben (s. Objektliste in Anlage 3). Dies entspricht wiederum der hier generellen Feststellung von großförmigeren Anomalien, welche aufgrund ihrer hohen Messwerte als einzelne Objekte zu erkennen sind (s. Kapitel 4.2).

4.4.2 Seitensichtsonar

Die Auswertung der Daten des Seitensichtsonars (SSS) erfolgte nach Bereinigung und Zusammensetzen der Datensätze. Die Störkörper werden über Ihre Form, Ausdehnung und Schattenwürfe identifiziert und charakterisiert. Die Details der Einzelobjekte können der Anlage 03 entnommen werden. Es konnten folgende Kategorien unterschieden werden:

- 1 Stück: Leiterartiges Objekt
- 1 Stück: Größeres Schrottteil
- 3 Stück: Pfahlartiges Objekt
- 4 Stück: Objekt verschiedener Formen
- 6 Stück: Autoreifen
- 1.210 Stück: Objekt mit Schlick überdeckt (nicht genau identifizierbar).

Die Verdachtspunkte der Auswertung des SSS ergänzen die Liste der Verdachtspunkten aus der Magnetik. Hierbei wurden alle sichtbaren Störkörper beachtet. Da lediglich Objekte auf der Oberfläche identifiziert werden können, kommen somit 1.225 Einzelobjekte mit einer Tiefenlage von 0,0 m unter Hafengrund hinzu. Hiervon stimmen 6 Objekte mit der Lage der ferromagnetischen Störkörper der Magnetik überein.

Neben den einzelnen Störkörpern konnten mit Hilfe des Seitensichtsonars 7 lineare Objekte nach optischen Kriterien nachverfolgt werden (s. Anlagen 1 und 2). Sie weisen eine Länge von 6,8 bis 59 m auf. Das Beispiel in Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt der SSS-Daten und deren Auswertung. Auf einer Fläche von ca. 1,4 ha konnten flächige Verschrottungen beobachtet werden. Zusätzlich konnten auf einer Fläche von ca. 0,5 ha im Nordosten der Untersuchungsfläche Marken von früheren Baggerarbeiten identifiziert werden.

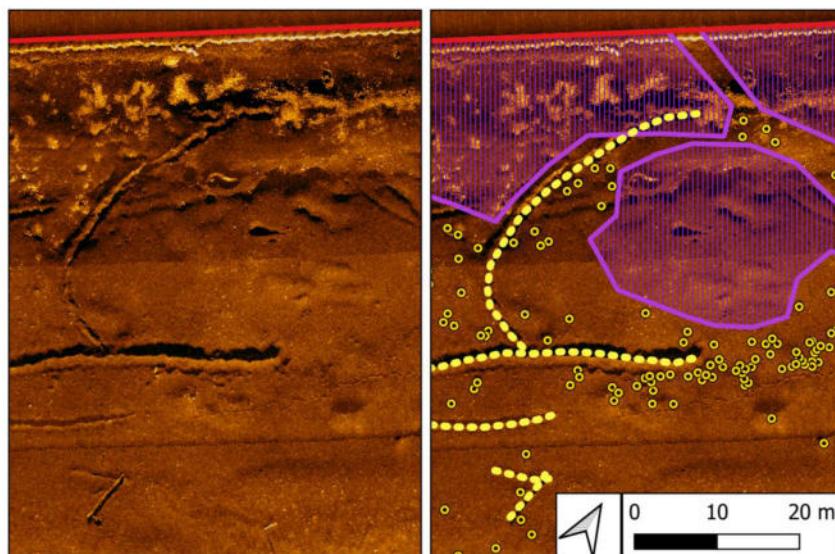


Abbildung 6: Beispiel Auswertung Seitensichtsonars (links: Beispieldaten Seitensichtsonar; rechts: Kennzeichnung von Einzelobjekten, linearen Objekten und flächiger Verschrottung)

4.4.3 Zusammenfassung

Entsprechend der Auswertung der Ergebnisse der Magnetik (s. Kapitel 4.4.1) und des Seitensichtsonars (s. Kapitel 4.4.2) befinden sich mit 1.274 Störkörpern 94% der Störkörper auf dem Hafengrund (SSS: 1.219 Stück, Magnetik: 55 Stück; bereits abzüglich der 6 identischen Objekte). Weitere 6% der Störpunkte (82 Stück) befinden sich laut Modellierung in größeren Tiefenlagen (Magnetik)². In der Summe ergeben sich damit 1.356 Störkörper (SSS: 1.219 Stück, Magnetik: 137 Stück; s. Anlage 2). Unter Vergleich der Lage der Störkörper aus der Auswertung der Magnetik und des Seitensichtsonars (SSS) kann eine Übereinstimmung bei 6 der Verdachtspunkte vermutet werden (s. Objektliste in Anlage 3).

Auch wenn auf der Untersuchungsfläche im Werftbecken Warnemünde kein Kampfmittelverdacht besteht, kann ein Auftreten von Kampfmitteln nicht ausgeschlossen werden.

5 Handlungsempfehlung

Für die Räumung der Unterwasserfläche empfehlen wir zunächst die punktuelle Räumung der Störkörper auf der Oberfläche des Hafengrunds sowie der linearen Strukturen. Diese wurden mit Hilfe der Ergebnisse der SSS-Daten und den modellierten oberflächennahen Störkörpern der Magnetik ausgewiesen. Hierbei sollten etwa 1.274 Stück der identifizierten Objekte entlang des Hafengrunds punktuell geräumt werden können.

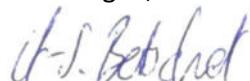
Für die Entfernung der flächenhaften Verschrottungen und 82 Verdachtspunkte unterhalb des Hafengrunds wird vermutlich ein Eingriff in den Hafengrund erforderlich. Zu beachten ist, dass die modellierten Tiefenangaben eine erste Aufwandseinschätzung der Bergung ermöglichen, jedoch nicht immer der Realität entsprechen.

Sollte trotz negativer Einschätzung ein Verdacht auf Kampfmittel auftreten, sind die Arbeiten unverzüglich zu unterbrechen und den entsprechenden Behörden mitzuteilen.

Gewährleistung

Die Fa. STASCHEIT Kampfmittelräumung GmbH versichert, dass alle Arbeiten nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt wurden und die genannte Sondiermethode und Auswertung dem Stand der Technik entsprechen. Auf Basis dessen wurden alle Objekte in den untersuchten Flächen/Bereichen, unter Beachtung von technischen Grenzen der Detektierbarkeit, erfasst (Detektionsreichweite und Leistungsfähigkeit, s. Kapitel A.1).

Gardelegen, den 29.02.2024

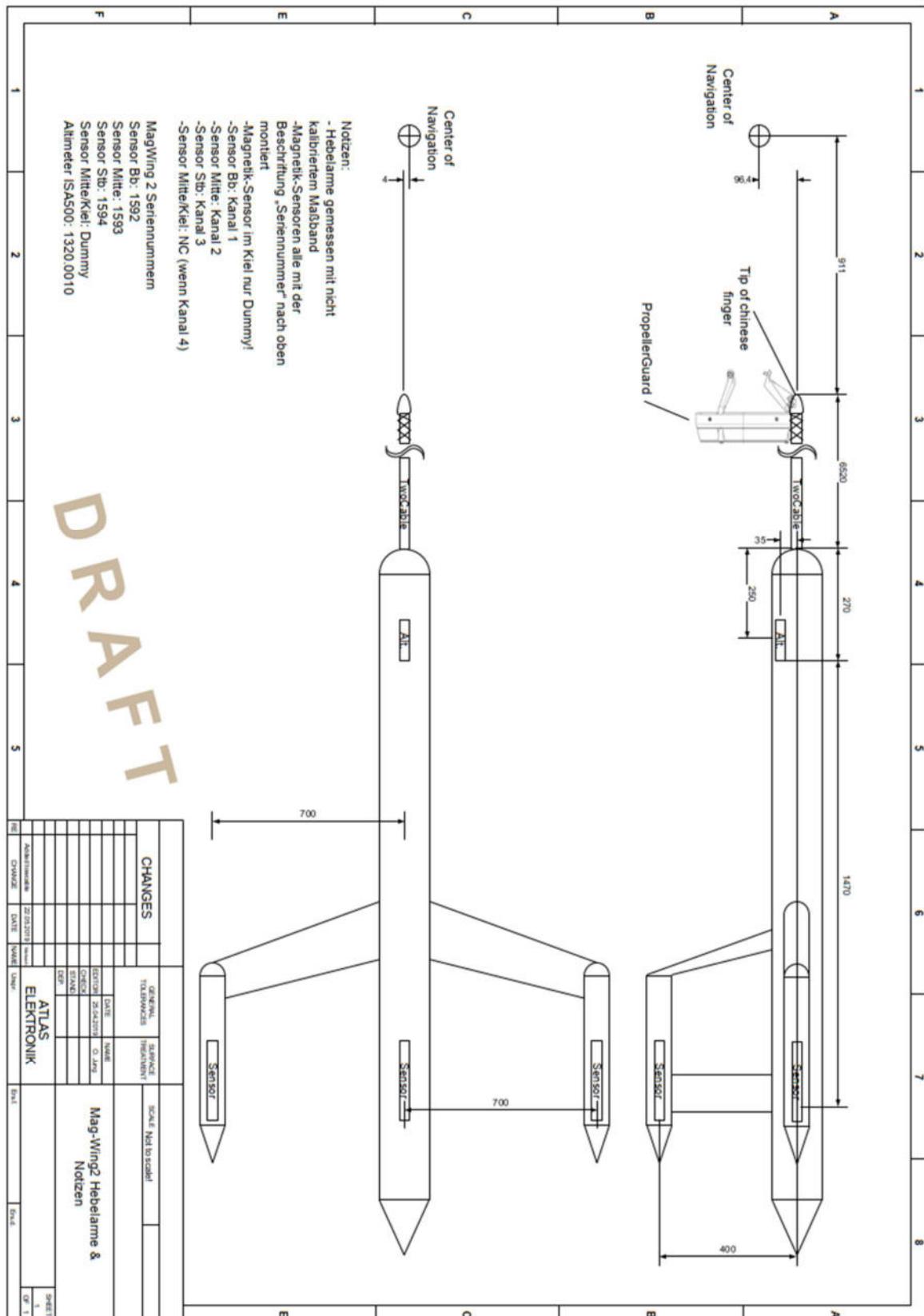


Anja-S. Bertschat
S T A S C H E I T
Kampfmittelräumung GmbH

² Aufgrund der Mehrdeutigkeit der Störkörpermodellierung entsprechen die angegebenen Anomaliekennwerte (Größe, Tiefe etc.) u.U. nicht den tatsächlichen Werten.

A Beschreibung der Messgeräte und Methodik

A.1 Aufbau Messsystem (Seacat und MagWing)



A.2 Geomagnetische Flächensondierung

Die magnetische Flächensondierung ist ein leistungsfähiges, effektives Verfahren zur Detektion von oberflächennahen ferromagnetischen Objekten bzw. Kampfmitteln (da diese in aller Regel ausreichend hohe magnetische Eisenanteile aufweisen). Es handelt sich um eine passive Methode der Messung von Magnetfeldern bzw. durch Störkörper verursachte Magnetfeldkrümmungen oder auch -anomalien. Mit Hilfe der 3-achsigen Fluxgate-Sensoren werden die Anteile des Magnetfeldes in den drei Raumrichtungen x, y, z in nT (Nanotesla) gemessen. Aus ihnen wird als Grundlage für die weitere Auswertung das Totalfeld berechnet.

Während der Datenprozessierung werden die Hintergrundwerte eliminiert. Dies führt dazu, dass Magnetfelder mit einer großen räumlichen Ausprägung (wie bspw. das Erdmagnetfeld, großräumige geologische Felder und auch zeitliche Schwankungen) ausgeblendet und kleinräumige Felder, wie sie durch ferromagnetische Störkörper in Größenordnungen von Kampfmitteln verursacht werden, als Anomalien sichtbar werden.

Die magnetische Flächensondierung erfährt Einschränkungen dort, wo Böden bzw. Gesteine mit hoher Magnetisierung oder Oberflächen mit einer hohen Dichte an ferromagnetischen Objekten (Infrastruktur, Zivilschrott) vorliegen. Auch wenn grundsätzlich keine pauschalen Angaben zu „Tiefenreichweiten“ magnetischer Flächensondierungen für bestimmte Objektgrößen möglich sind, so kann davon ausgegangen werden, dass größere Bombenblindgänger (250 lbs und größer) im Normalfall auf ansonsten störungsfreien Flächen zuverlässig bis in Tiefen von ca. 3 m unterhalb der Sensorik detektiert werden können. Dies gilt insbesondere deshalb, da die meisten Kampfmittel nach Erfahrungswerten einen erheblichen Eigenmagnetismus aufweisen, der den induzierten Magnetisierungsanteil häufig übersteigt. Allerdings muss auch darauf hingewiesen werden, dass es auch auf ansonsten gut sondierbaren Flächen in Einzelfällen dazu kommen kann, dass ein einzelnes Objekt nicht detektiert wird. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn sich induzierter und remanenter Magnetisierungsanteil eines Objektes gegenseitig aufheben und damit die nach außen wirkende, resultierende Magnetisierung aufgehoben bzw. sehr klein wird. Es ist aber davon auszugehen, dass dieser Fall die absolute Ausnahme darstellt.

Des Weiteren wird die mögliche Eindringtiefe durch die Bodenbeschaffenheit beeinflusst. Je nachdem können Kampfmittel unterhalb der Geländeoberkante bis in etwa 10 m Tiefe (Bombenblindgänger) angetroffen werden. Durch Bodenumlagerungen bzw. Aufschüttungen können diese auch in größeren Tiefen auftreten, als normalerweise zu erwarten ist.

Bei der Messdurchführung wird die zu untersuchenden Fläche streifenweise vollflächig abgefahrene. Die Navigation zur exakten Fahrt auf einer Messlinie erfolgt visuell über das Messprogramm unter Hinterlegung der zu untersuchenden Fläche. Dadurch wird sichergestellt, dass die Georeferenzierung ordnungsgemäß erfolgt und die Messfläche vollständig erfasst wird (ausgenommen Hindernisse). Die Koordinaten von Hindernissen oder magnetisch Störkörpern werden während der Messung erfasst oder im Anschluss im Gelände eingemessen.

Nach einer gewissen Datenaufnahme erfolgt eine Überprüfung der Daten durch den Messtechniker auf Plausibilität, Fehlerwerte, Verortung sowie ein ausreichendes Signal-Rausch-Verhältnis (s. Kapitel B). Nach der Fertigstellung einer Teilfläche wird diese direkt an den Geophysiker zur weiteren Kontrolle übermittelt, sodass ggf. Flächen mit unzureichender Qualität der Messdaten unmittelbar wiederholt aufgezeichnet werden können. Am Ende der Aufzeichnung der gesamten Fläche wird die

Datenaufzeichnung wiederholt vom Vermessungstechniker und zusätzlich vom Geophysiker auf Qualität, Plausibilität und Vollständigkeit überprüft.

B Datenbearbeitung und Auswertung

In OASIS Montaj 9.7 der Firma Geosoft werden die Messdaten als ASCII-Dateien geladen und durch einen Geophysiker mittels Filterung und Interpolation für die anschließende Auswertung prozessiert. Hiermit werden Umgebungseinflüsse oder Geräterauschen etc. minimiert, ohne die relevanten Signale zu beeinträchtigen. Anschließend wird ein Flächenraster der Messwerte für weitere die Auswertung erstellt.

Die Auswertung auf (kampfmittelverdächtige) Anomalien erfolgt anschließend in der Software MAGNETO 3.00.22 der Firma Sensys. Die Messdaten werden in MAGNETO in Form einer Farbkarte visualisiert. Basierend auf der Farbkarte wird festgelegt, welche Bereiche auswertbar sind (Bereiche, in denen die Trennung einzelner Anomalien möglich ist) und in welchen Bereichen eine EDV-gestützte Auswertung eingeschränkt oder gar nicht möglich ist, da hier aufgrund von Einflüssen von der Oberfläche (z.B. Zäune, Metallpfosten, Gebäudereste) und aus dem Untergrund (z.B. Fundamente, Leitungen) großflächig ausgeprägte Magnetfeldanomalien auftreten, welche potentielle (Kampfmittel-) Anomalien überlagern können.

Für die Auswahl der (Kampfmittel-) Verdachtspunkte erfolgt die farbliche Darstellung stufenweise von +/- 32 nT bis auf +/- 8 nT³. Hierbei wird auch das Auflösungsvermögen in Form der Anzahl der Farbstufungen angepasst, sodass jeweils eine Auflösung von etwa 1 nT pro dargestellter Farbkategorie verzeichnet wird (Abstufung von 64 Farben bis auf 16 Farben). Die Festlegung der Verdachtspunkte erfolgt demnach zunächst optisch anhand der Darstellung als magnetische Anomalien aus der Farbkarte sowie Amplitudenwerten von etwa >=10 nT für sehr kleinräumige Anomalien. Zusätzlich werden auch kleinere Amplitudenwerte mit größeren räumlichen Ausprägungen in die Auswahl aufgenommen.

An den Verdachtspunkten werden mit Hilfe von MAGNETO Modellberechnungen⁴ bezüglich der Tiefenlage (unter Hafengrund) sowie der möglichen Größe der Störkörper (magnetisches Moment) durchgeführt. Anschließend werden alle Verdachtspunkte mit ihrer vermuteten Position, Tiefe und Größe in einer Tabelle aufgelistet (Objektliste).

Das Signal-Rausch-Verhältnis der Daten sollte mindestens das Verhältnis 3:1 (Nutzsignal : Signalrauschen) aufweisen⁵. Demzufolge sollte das Rauschen bzw. der Hintergrundwert der Messung nur ein Drittel des zu untersuchenden Amplitudenwertes betragen. Dieser wird neben der Objektkategorie (wie Größe, Material, Gewicht) auch durch die Tiefenlage maßgeblich beeinflusst. Demnach darf beispielsweise für ein Objekt in einer Tiefe von etwa 1,8 m und einer zu messenden Amplitude von etwa 3 nT das Rauschen nur etwa 1 nT betragen⁵. In einer Tiefe von etwa 1 m steigt der Wert auf etwa 20 nT und ermöglicht demnach ein Hintergrundrauschen von etwa 6 nT⁵. Die Qualität der Messung beeinflusst damit direkt die Detektionsreichweite.

³ eine Anpassung der Parameter abhängig des ausgegebenen Suchziels ist möglich und wird ggf. in Kapitel 4 ausgewiesen

⁴ Aufgrund der Mehrdeutigkeit der Störkörpermodellierung entsprechen die angegebenen Anomaliekennwerte (Größe, Tiefe etc.) u.U. nicht den tatsächlichen Werten.

⁵ Winkelmann, Kay; Fischer, Andreas (2009): "Tiefenreichweite" bei der Kampfmittelsuche mit Magnetometern, Sensys GmbH.

Aufgrund der Tiefenunabhängigkeit des magnetischen Moments und der höheren Genauigkeit im Vergleich zum Volumen und Gewicht⁶ wird diese Objektkenngröße für die Kategorisierung von Kampfmittelverdachtspunkten verwendet. Aufgrund der Überschneidung der Wertebereiche von erfahrungsgemäßen Größenordnungen (s. Tabelle B) erlaubt es v.a. eine erste Abgrenzung der Verdachtsobjekte als Abwurfmunition bzw. Bombenblindgänger (Kategorie > 50 kg/ 100 lbs) mit einem magnetischen Moment etwa > 2 Am².

Tabelle B: Magnetische Momente für Bombenblindgänger⁶

Größenordnung [kg]	Erwartetes magnetisches Moment [Am ²]
50	2 bis 8
125	6 bis 20
250	15 bis 80
500	20 bis 130
1.000	30 bis 200

Für die Darstellung der Ergebnisse in Form einer Übersichtskarte mit genauem Lagebezug wird die Software QGIS 3.28 (Geoinformationssystem) verwendet. Hiermit ist es möglich, die Ergebnisse in geographischer Relation, z.B. zu einem digitalen Lageplan oder einer Luftbildaufnahme zu setzen, und ggf. weitere Auswertungen und Interpretationen an Störpunkten oder in spezifizierten Bereichen aufzustellen.

⁶ Winkelmann, Kay; Fischer, Andreas (2009): Bewertung von ferromagnetischen Objekten anhand des magnetischen Momentes, Sensys GmbH.