



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Hochschule Neubrandenburg

Studiengang Geodäsie und Messtechnik

**Entwicklung eines Verfahrensablaufes zur
automatischen Detektion von Unterwasserobjekten
in hydroakustischen Datensätzen**

Bachelorarbeit

vorgelegt von: *Toni Hauptmann*

zum Erlangen des akademischen Grades

„Bachelor of Engineering“ (B.Eng.)

Erstprüfer: Prof. Dr. Ing. Sven Brämer

Zweitprüfer: Dr. Ing. Patrick Westfeld

Eingereicht am: 08.02.2022

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2021-0145-6

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herr Patrick Westfeld, der meine Bachelorarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung möchte ich mich herzlich bedanken.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinem Professor Herr Sven Brämer bedanken, dessen zahlreiche Ideen maßgeblich dazu beigetragen haben, diese Bachelorarbeit in dieser Form anzufertigen.

Außerdem möchte ich Steffen Bitterling für das Korrekturlesen meiner Bachelorarbeit danken.

Abschließend gebührt mein größter Dank meiner Familie, die mich während meines Studiums auch in schwierigen Zeiten stets unterstützt haben und immer ein offenes Ohr für mich hatten.

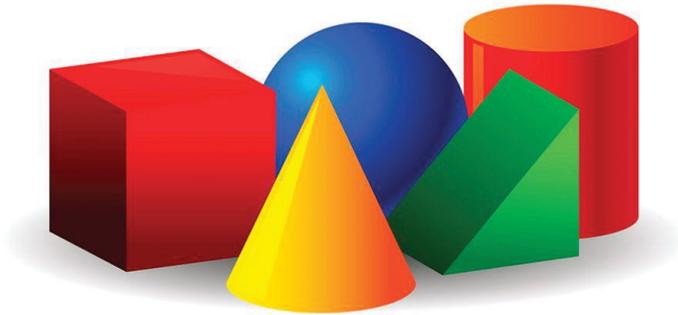
Kurzfassung

Die Erfassung und Analyse von Sensordaten gewinnt in vielen Berufszweigen an Bedeutung, in denen ein hohes Maß an Automatisierung und Zuverlässigkeit in der Objekterkennung erforderlich ist. Während man noch vor nicht allzu langer Zeit analog Informationen aus Bild- und Videoaufnahmen ermitteln musste, greift man mittlerweile häufig auf das sogenannte maschinelle Sehen zurück. Es ist die Fähigkeit eines Computers, Bildinformationen zu erfassen und diese in brauchbare Informationen für den Menschen umzuwandeln. Beispiele hierfür lassen sich in den unterschiedlichsten Branchen finden. Sei es die Kollisions- und Gefahrenvermeidung im Straßenverkehr oder die Erkennung und Verfolgung von Objekten im Nah- und Fernbereich. Man spricht dabei von Objekterkennung.

Objekterkennung ist die Kombination aus zwei sich ergänzenden Aufgaben: Objekterfassung und Objektklassifikation. Es bedeutet auf der einen Seite, dass ein Objekt auf einem digitalen Bild durch einfache charakteristische Merkmale entdeckt und lokalisiert wird. Diese Erfassung basiert auf der Auswertung von Kontrastverhältnissen oder direkten Bildvergleichsverfahren. Auf der anderen Seite wird bei der Objektklassifikation ein gefundenes Objekt einem möglichen Objekttyp zugeordnet, in dem die gefundenen Merkmale strukturiert, eingeordnet und abschließend durch Abgleich identifiziert werden.

Die Technik zur Identifizierung von Objekten in Bildern oder Videos ist ein spezieller Anwendungsfall von Computer Vision – einer PC-basierten Bildverarbeitung. Im Allgemeinen kann man also sagen, dass versucht wird, aufgenommene Bilder oder Videos zu verarbeiten und analysieren, um deren Inhalt zu verstehen und geometrische Informationen zu extrahieren.

Für den Menschen selbst scheint es kein großer Aufwand zu sein, Objekte zu erkennen und zu identifizieren. Intuitiv ist es uns möglich auf einem Bild Objekte zu lokalisieren und zu bestimmen. Diese Fähigkeit verdanken wir zum einen der persönlichen Entwicklung als auch der menschlichen Evolution.



*Abbildung 1: Geometrische dreidimensionale Formen
(Proceedings of the National Academy of Sciences, 2021)*

Betrachten wir dafür die Abbildung mehrerer dreidimensionaler Formen (vgl. Abbildung 1: Geometrische dreidimensionale Formen). Es scheint zunächst trivial, da ein Mensch alle hier dargestellten Formen mit Leichtigkeit benennen und die Lage zueinander definieren kann. Grund dafür ist die starke visuelle Veranlagung des Menschen, optische Informationen wie Helligkeit und Schattierungen, Farben und Kanten zu erkennen und weiterzuleiten. Dahinter verbirgt sich jedoch ein hochkomplexer Prozess, bei dem die Informationen, die durch unsere Augen aufgenommen wurden, an unser Gehirn gesendet werden und den eigentlichen Objekterkennungsprozess erst in Gang setzen. Eine Kamera hingegen liefert zunächst eine große Menge an Daten, bezüglich deren Verarbeitung der Computer keine jahrelange Erfahrung hat. Daher stellt sich die Frage: Wie bringt man einem Computer einen so komplexen Prozess bei? Fakt ist, dass eine Maschine dem menschlichen Gehirn in vielerlei Hinsicht unterlegen, in einigen (z.B. Geschwindigkeit und Ausdauer) aber auch überlegen ist.

In dieser Arbeit wird der Prozess der Objekterfassung untersucht und ein Verfahren zur Detektion von Objekten für spezielle Aufnahmen realisiert. Bei den Aufnahmen handelt es sich nicht wie üblicherweise um herkömmliche Fotografien, sondern um hydroakustische Datensätze. Sie bestehen aus wiederkehrenden Schallsignalen, die zuvor von einem Echolot ausgesendet und an Oberflächen unter Wasser reflektiert worden sind. Die dabei gewonnenen Informationen fügen sich zu einer detaillierten georeferenzierten Darstellung der Meeresgrundoberfläche mit allen darauf befindlichen Objekten unter Wasser zusammen. Diese Unterwasserobjekte - die sogenannten Unterwasserhindernisse (UWHs), sollen durch einen einfachen Algorithmus detektiert und markiert werden, da bis zum heutigen Tage das Aufsuchen und die Kennzeichnung der Unterwasserobjekte durch den Anwender manuell in mühevoller Sichtung der Aufnahmen erfolgt. Diesen Arbeitsschritt gilt es zu automatisieren, da die Auswertung von Fächerecholotaufnahmen viel Zeit in Anspruch nimmt.

Abstract

The automation of various work processes is steadily increasing in many professions. While not so long-ago information from images had to be determined in analog form, today machine vision is often used. It is the ability of a computer to capture image information and convert it into useful information for humans. It is called object detection / recognition.

Object recognition is the combination of two complementary tasks: Object detection and object classification. On the one hand, it means that an object is detected and localized on a digital image by means of simple characteristic features. This detection is based on the evaluation of contrast ratios or direct image comparison methods. On the other hand, during object recognition, a detected object is assigned to a possible object type in which the features are structured, classified, and finally identified by comparison.

The technology for identifying objects in images or videos is a special application of Computer Vision. In general, you can say that an attempt is made to process and analyze recorded images or videos to understand their content and to extract geometric information.

It does not seem to be a great effort for humans themselves to recognize and identify objects. It is intuitively possible for us to localize and determine objects on an image. We owe this ability on the one hand to human evolution, but also to personal development since our own birth.

Let us consider the illustration of several three-dimensional shapes (see Figure 1: Geometrische dreidimensionale Formen). At first it seems trivial, that a person can name all the shapes shown here with ease and define their position in relation to another. The reason for this is the strong visual disposition of humans to recognize and pass on optical information such as brightness and shades, colors and edges. Behind this is a highly complex process in which the information is sent to our brain and sets the actual object recognition process in motion. On the other hand, a camera delivers an amount of data, but the computer has no years of experience in how to process it further. So, the question arises: How do you teach a computer such a complex process? Fact is that a machine is still inferior in some regards to the human brain, but superior in other ways (e.g. speed and endurance).

In this thesis a method for the detection of objects for special recordings is implemented. These recordings are not usual photos, but hydroacoustic data sets. Sound signals are sent from the water surface to the ground, the echoes received, and a detailed georeferenced representation of the seabed surface with all objects located on it is generated. These so-called underwater obstacles are to be detected and marked by a simple algorithm, because since up to the present day the search for and the marking of such obstacles is done manually by the user in

a laborious sifting through the recordings. It is important to automate this work step, because the evaluation of multi-beam echo sounder recordings takes a lot of time.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Kurzfassung	ii
Abstract	iv
Inhaltsverzeichnis	vi
Abkürzungsverzeichnis.....	viii
Abbildungsverzeichnis.....	ix
Tabellenverzeichnis.....	x
KAPITEL 1	1
1 Einführung.....	1
1.1 Motivation.....	4
1.2 Zielsetzung und Methodik.....	4
KAPITEL 2	6
2 Grundlagen Seevermessung	6
2.1 Positionierung und Orientierung des Schiffes	6
2.1.1 Positionierung des Schiffes mittels GNSS	7
2.1.2 Orientierung des Schiffes mittels MINS	9
2.2 Hydroakustische Messverfahren	10
2.2.1 Echolote	10
2.2.2 Wasserschallgeschwindigkeit.....	16
2.3 Kombination der Sensorsysteme.....	19
2.4 Vermessungsdaten	20
2.4.1 Visualisierung der MBES Daten	20
2.4.2 Behandlung von Unterwasserobjekten	21
KAPITEL 3	24
3 Stand der Forschung.....	24

KAPITEL 4	27
4 Konzept.....	27
4.1 Rahmenbedingungen.....	27
4.2 Grundidee.....	27
4.3 Problematik bei hydroakustischen Datensätzen.....	29
KAPITEL 5	30
5 Implementierung.....	30
5.1 Übersicht.....	30
5.2 Software.....	30
5.2.1 Einlesen und initialisieren der Videosequenz.....	30
5.2.2 Graustufenbild.....	31
5.2.3 Differenzbildung.....	33
5.2.4 Thresholding - Binärbild.....	34
5.2.5 Eingrenzung des Suchbereiches und Rauschreduzierung.....	36
5.2.6 Merkmaldetektion.....	38
KAPITEL 6	41
6 Auswertung.....	41
6.1 Bewertung der Methode und der Ergebnisse.....	41
6.1.1 Übersicht.....	42
6.2 Fehleranalyse.....	45
KAPITEL 7	46
7 Fazit und Ausblick.....	46
Literaturverzeichnis.....	48
Eidesstattliche Erklärung.....	50
Anhang.....	51

Abkürzungsverzeichnis

AHRS	Attitude and Heading Reference System
API	Application Programming Interface
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
CTD	Conductivity, Temperature, Depth
DGPS	Differential Global Positioning System
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GUI	Graphical User Interface
IHO	International Hydrographic Organization
INS	Marine Inertial Navigation System
LAT	Lowest Astronomical Tide
MBES	Multi Beam Echosounder
NAVSTAR GPS	Navigational Satellite Timing and Ranging Global Positioning System
NHN	Normalhöhennull
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OpenCV	Open Source Computer Vision Library
PC	Personal Computer
PDGPS	Precise Differential GPS
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SBES	Single Beam Echosounder
SKN	Seekartennull
SSS	Seitensichtsonar
TVU	Total vertical uncertainty
USV	Unmanned Surface Vehicle
UWHs	Unterwasserhindernisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geometrische dreidimensionale Formen.....	iii
Abbildung 2: Fotografie einer Saaling eines versunkenen Segelschiffs	2
Abbildung 3: Darstellung der Bewegungsarten auf See (Rot = Translatorisch, Grün = Rotatorisch).....	9
Abbildung 4: Weg des Schallsignals.....	10
Abbildung 5: Vergleich Vertikalecholot- und Fächerecholotmessung.....	12
Abbildung 6: Visuelle Darstellung der MBES Daten.....	13
Abbildung 7: Sendebereich eines Seitensichtsonars	13
Abbildung 8: Seitensichtsonar-Aufnahme eines Pontons (links); Seitensichtsonar-Aufnahme mit blinden Fleck im Nadirbereich (rechts).....	14
Abbildung 9: Darstellung eines RESON SeaBat mit Sonardaten (oben) und MBES-Daten (unten).....	16
Abbildung 10: Drei unterschiedliche Wasserschallgeschwindigkeitsprofile	18
Abbildung 11: Gleitansicht von MBES Daten (Wasserfalldarstellung), (BSH, 2021)	20
Abbildung 12: Neue Unterwasserhindernisse im Messgebiet 1081901, (BSH, 2021)	22
Abbildung 13: Ausschnitt einer Sonaraufnahme (links) Ausschnitt einer Sonaraufnahme mit gesetzter Bounding Box (rechts)	25
Abbildung 14: Grauwerte einer Bildzeile in zwei aufeinander folgenden Bildern einer Sequenz	28
Abbildung 15: Differenz der Grauwerte von Abbildung 14	28
Abbildung 16: Originalaufnahme (links) und Differenz von zwei Bildfolgen der Originalaufnahme (rechts) bei festen Aufnahmestandpunkt, (Eigene Aufnahmen)	29
Abbildung 17: Originalaufnahme (links) und Differenz von zwei Bildfolgen der Originalaufnahme (rechts) bei beweglichen Aufnahmestandpunkt, (BSH, 2020)	29
Abbildung 18: Erzeugung eines Graustufenbildes durch Mittelwertbildung mit gleicher Gewichtung	32
Abbildung 19: Darstellung der Subtraktion von Grauwerten innerhalb von zwei aufeinanderfolgenden Frames.....	33

Abbildung 20: Graustufenbild (links); Differenzbild aus zwei aufeinanderfolgenden Frames (rechts).....	34
Abbildung 21: Differenzbild (links); Binärbild durch Thresholding (rechts).....	35
Abbildung 22: Vergleich von Binärbildern generiert aus unterschiedlichen Schwellwerten; g = 10 (links); g = 52 (Mitte); g = 100 (rechts).....	35
Abbildung 23: Darstellung des Suchbereiches (Grünes Rechteck).....	36
Abbildung 24: Vergleich des Glättens eines Pixels mit unterschiedlicher Anzahl an Nachbarn	37
Abbildung 25: Glätten eines Binärbildes mit Blur_Size 20	38
Abbildung 26: Geglättetes Bild (links); Binärbild (2) durch Thresholding (rechts).....	38
Abbildung 27: Binärbild vom Objekt bestehend aus vielen Segmenten (links) mit Vergrößerung; Radiale Vergrößerung der Konturen zur Minimierung der Anzahl an Konturen (rechts).....	40
Abbildung 28: Originalframe (links); Markierung eines Objektes im Originalframe (rechts) ...	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Übertragungsgeschwindigkeiten von Licht und Schall in unterschiedlichen Medien.....	3
Tabelle 2: Bathymetrie-Mindeststandards für die Sicherheit von hydrografischen Schiffsvermessungen	7
Tabelle 3: Typische Konfigurationen von MBES und SSS	15
Tabelle 4: Unterschiede in der ermittelten Wassertiefe bei unterschiedlich erfassten Wasserschallgeschwindigkeiten	17

KAPITEL 1

1 Einführung

Als Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur ist das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) zuständig für meeresbezogene Aufgaben wie die Herausgabe von amtlichen Seekarten, die Vorhersage von Gezeiten, Wasserständen und Sturmfluten oder die Seevermessung der Nord- und Ostsee (Benner, 2018). Dabei gliedert sich die Seevermessung in die flächenhafte Vermessung und die Untersuchung von UWHs auf. Bei der flächenhaften Vermessung wird hauptsächlich das Ziel verfolgt, die topografische Gestalt der Meeresböden aufzunehmen und Mindestwassertiefen in Relation zu einem Bezugshorizont abzuleiten. Der Bezugshorizont ist aus nautischer Sicht das Seekartennull (SKN) und entspricht nicht wie in der Landesvermessung dem einheitlichen Normalhöhennull (NHN), sondern dem niedrigst möglichen Gezeitenwasserstand (Lowest Astronomical Tide (LAT)). Damit handelt es sich beim SKN um keine generelle Niveauläche und ist von Ort zu Ort unterschiedlich. Während an der deutschen Nordseeküste das Niveau des SKN im Durchschnitt einen halben Tidenhub unter NHN liegt, stimmt das SKN an der Ostseeküste mit dem NHN aufgrund der zu vernachlässigenden Tide überein. Die Ergebnisse der gemessenen Tiefen unter Beachtung des örtlichen LAT findet man sowohl in amtlichen Papierseekarten als auch auf elektronischen Seekarten in Form einer numerischen Darstellung wieder. Ohne diese beschickten Tiefenangaben wäre eine sichere Navigation von Wasserfahrzeugen nahezu unmöglich - besonders bei Passagen spezieller Wasserstraßen wie Flüssen oder Kanälen.

Neben unzureichenden Wassertiefen verbergen sich noch weitere Gefahren unter Wasser, die zu untersuchen sind – die sogenannten Unterwasserhindernisse. Als ein weiterer Bestandteil der Seevermessung handelt es sich bei der UWH Untersuchung hauptsächlich um die Ausmaße von Unterwasserobjekten als auch den Zustand und die Stabilität dieser. Umwelteinflüsse wie Strömungen oder Stürme verursachen häufig Veränderungen der UWHs. Deshalb müssen sie regelmäßig kontrolliert werden. Dabei werden vor allem die Lage und die flachste Tiefe auf dem Meeresboden bestimmt. Größere Objekte, die aufgrund der vorangehenden Parameter eine akute Gefahr für den laufenden Schiffsverkehr darstellen, werden direkt in Seekarten in Form einer grafischen und numerischen Darstellung kenntlich gemacht. Alle anderen Objekte werden in Regionen zusammengefasst (z.B. Steinfelder) oder auf der Seekarte vernachlässigt, um die Übersichtlichkeit zu erhalten. Hingegen werden ausnahmslos alle erhobenen Daten jedes einzelnen Objektes in einer internen Datenbank

gespeichert, um auch nach Jahren die Auswirkungen von Wetter und Strömungen auf Unterwasserobjekten feststellen zu können. Doch wie findet und kontrolliert man die am Meeresgrund liegenden Objekte?

Optische Methoden sind die gängigsten Verfahren beim Aufsuchen von Objekten, bieten aber aufgrund der besonderen Eigenschaften des Wassers keine zufriedenstellenden Lösungen an. Mit zunehmender Tiefe filtert das Wasser immer mehr Farben heraus und die Sichtweite ist oft stark eingeschränkt. Dieser Vorgang wird in der Fachsprache als Extinktion bezeichnet. Die Grenztiefe liegt hier bei etwa 5 Meter, bis wo sich der Lichtverlust und die reduzierten Farbverhältnisse noch problemlos rekonstruieren lassen würden - ob beim menschlichen Auge oder der Kamera (Marquez, 2016). Doch oft befinden sich die UWHs unterhalb dieser Grenzschicht und bedürfen daher anderen Messverfahren.



*Abbildung 2: Fotografie einer Saaling eines versunkenen Segelschiffs
(BSH, 2016)*

In der Abbildung des UWH (vgl. Abbildung 2: Fotografie einer Saaling eines versunkenen Segelschiffs) sind diese Auswirkungen der Tiefe deutlich erkennbar. Zum einen ist das Farbspektrum auf Grün bis Blau reduziert, da die darüber liegenden Wellenlängen weniger Energie enthalten und bereits absorbiert worden sind. Zum anderen führen die im Wasser vorhandenen Schwebteilchen zu verschwommenen Aufzeichnungen und verhindern klare Konturen.

Die Lösung zur Erkennung und Kontrolle am Meeresgrund liegender Objekte findet man in der Hydroakustik - der Schallübertragung im Wasser. Physikalisch betrachtet ist der Schall eine mechanische Druckwelle, die sich in einem Medium wie Wasser longitudinal fortbewegt. Das bedeutet, dass sich die Schwingungen dieser Longitudinalwellen parallel zur

Ausbreitungsrichtung fortpflanzen. Während der Ausbreitung geht keine Energie verloren, abgesehen von Reibungsverlusten zwischen den sich bewegenden Teilchen. Hingegen verlieren elektromagnetische Wellen wie Licht in einem Medium wie Wasser Energie. Dieser Verlust spiegelt sich in der Geschwindigkeit in unterschiedlichen Medien wider:

Medium	Geschwindigkeit [m/s]	
	Elektromagnetisch (Licht)	Elektroakustisch (Schall)
Vakuum	$299,7 \cdot 10^6$	0
Luft	$299,0 \cdot 10^6$	343,2
Wasser	$230,8 \cdot 10^6$	1500

Tabelle 1: Vergleich der Übertragungsgeschwindigkeiten von Licht und Schall in unterschiedlichen Medien

Im Vergleich der Ausbreitungsgeschwindigkeiten ist das Licht dem Schall auch im Wasser deutlich überlegen. Die Tendenz hingegen, dass elektroakustische Wellen bei zunehmender Dichte schneller und elektromagnetische Wellen langsamer werden, zeigt jedoch, dass Licht in Wechselwirkung mit anderen Teilchen gebremst wird. Damit ist die Reichweite einer elektromagnetischen Welle stark begrenzt, während Schallwellen abhängig ihrer Frequenz nahezu ungebremst die Weltmeere durchlaufen könnten. Zum Vergleich betrachtet man die Tiefenreichweite beider Wellen. Nach etwa 60 Metern herrscht Dunkelheit, da in diesen Bereichen auch selbst das kurzwellige blaue Licht endgültig absorbiert worden ist. Schall hingegen wird dazu genutzt, selbst die tiefsten Orte der Welt – den Marianengraben zu untersuchen und belegt damit die Überlegenheit des Schalls gegenüber Licht im Medium Wasser. Daher finden Schallübertragungen in vielen technischen Anwendungen Einzug, die unter anderem Kommunikation, Navigation und Ortung umfassen.

Ein spezielles Feld der Ortung umfasst das sogenannte Echolotsystem, welches sich an Bord von vielen Vermessungsschiffen wie beim BSH für die Seevermessung befinden. Beim Funktionsprinzip handelt es sich vereinfacht ausgedrückt um ausgesendete hochfrequente Schallimpulse, deren Reflektion am Meeresgrund oder an Objekten Echos erzeugen. Analysiert und verarbeitet man die Informationen der Richtungen und Laufzeiten aller reflektierten Schallsignale, kann eine 3D Punktwolke der Meeresgrundoberfläche trotz dunkler und trüber Verhältnisse erzeugt und für den Anwender visualisiert werden.

1.1 Motivation

Die Visualisierung der empfangenen Echodaten am Bord erfolgt üblicherweise in einer Wasserfalldarstellung und wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit näher beschrieben. Sie ist Grundbestandteil der Lokalisierung und Identifikation von Unterwasserobjekten, denn bis heute erfolgt dieser Prozess manuell durch einen Beobachter. Diese Arbeit von Menschen durchführen zu lassen, ist wegen des Zeitaufwandes teuer und wegen der geforderten Aufmerksamkeit auch fehleranfällig. Und trotzdem zählt diese Technik aktuell noch zur häufigsten Form der Objekterkennung in der Seevermessung.

Hier kann das maschinelle Sehen in Form der automatischen Objekterkennung Abhilfe schaffen. Durch mathematische Algorithmen werden Kontrastveränderungen in den visualisierten Darstellungen der Unterwasseraufnahmen detektiert und markiert. Abhängig von der Qualität der Aufnahmen und der Sensitivität des Suchalgorithmus können somit selbst Kleinstobjekte, die ein menschlicher Beobachter aufgrund diverser Einflüsse aus der Umwelt vielleicht übersehen hätte, erfasst werden. Zudem ergeben sich weitere Vorteile der automatisierten Objekterkennung:

- Es können beliebig viele Objekte detektiert werden.
- Die ständige Überwachung durch den Beobachter ist nicht notwendig.
- Die anschließende Auswertung der Rohmessdaten wird durch gewonnene Informationen aus der Objekterkennung vereinfacht.
- Die Suchparameter können angepasst werden (z.B. Objektgröße, Objektlage zum Schiff) und sich auf spezielle Objekte fokussieren (z.B. Steine, Munitionsreste, Wracks).
- Die Dokumentierung der gefundenen Objekte erfolgt zeitnah und bindet den Beobachter nicht mit ein. Damit kann der Fokus bei der Überwachung der Systemparameter bleiben.

In Anbetracht der aufgeführten Vorteile sind automatisierte Strategien für die Erkennung von UWHs eine interessante Option. Eine dieser Strategien ist Gegenstand dieser Arbeit und bietet eine Möglichkeit zur Lösung des Problems der Notwendigkeit einer manuellen Sichtung der Unterwasseraufnahmen zur Auffindung von UWHs an.

1.2 Zielsetzung und Methodik

Die vorliegende Arbeit zum Thema „Entwicklung eines Verfahrensablaufes zur automatischen Detektion von Unterwasserobjekten in hydroakustischen Datensätzen“ beschäftigt sich mit dem automatischen Detektieren und Markieren von Objekten, die während einer

Seevermessung durch das Echolotsystem aufgenommen werden. Dabei wird zunächst grundlegend auf die Verfahrensweise einer Echolotmessung eingegangen, um zu verstehen, wie die Unterwasserobjekte erfasst, dargestellt und ausgewertet werden. Die Inhalte beziehen sich zum einen auf das Echolotsystem an sich als auch auf die Positionierung und damit die Orientierung von UWHs. Anschließend wird ein Softwarealgorithmus entwickelt, der die Veränderungen in der Darstellung und damit die Veränderungen am Meeresgrund erfasst. Die dadurch gewonnenen Daten werden für den Anwender aufbereitet und ausgegeben. Sie dienen dann als Hilfeleistung bei der Detektion, Markierung und anschließender Interpretation von Unterwasserhindernissen.

Jenseits des Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit steht die Weiterentwicklung der Algorithmen im Vordergrund, um in Zukunft Methoden zu entwickeln, die nicht nur die UWHs erfassen, sondern diese auch klassifizieren können.

KAPITEL 2

2 Grundlagen Seevermessung

Allgemein ist die Vermessung die messtechnische Erfassung von Punkten auf einer Oberfläche, in Räumen oder an Objekten. Dabei ergibt sich laut dem Berufsverband für Vermessung, Geodäsie und Geoinformation folgende Aufgabe:

„Die *Aufgabe der Vermessung* ist die Erforschung, Beschreibung und Visualisierung der geometrischen und physikalischen Struktur der Erdoberfläche, des Erdinneren und des erdnahen Raumes mit dem Ziel, der Menschheit eine raumbezogene Orientierungsmöglichkeit in der realen Welt zu geben, damit diese anschaulich, abgrenzbar, analysierbar, berechenbar, bewertbar, planbar, kontrollierbar, gestaltbar und interpretierbar ist.“ (VDV, 2021)

Betrachtet man den Abschnitt „[...] Beschreibung und Visualisierung der [...] Struktur der Erdoberfläche [...]“ soll hier erwähnt sein, dass sowohl die Land- als auch die Meeresbodenoberfläche zur Erdoberfläche zählt – und nicht wie oft vermutet die Wasseroberfläche.

Das Messverfahren zur Bestimmung der Topografie der Meeresböden heißt Bathymetrie und seine Messtechnik basiert vorwiegend auf Schallausbreitung im Wasser. Bathymetrische Vermessungen ergeben Geländeaufzeichnungen der für den Menschen meist unsichtbaren Unterwasserwelt, in der auch die Lage und Form von Objekten abgebildet werden. An diesem Punkt setzt dieses Kapitel an. Hier werden die Grundlagen zur Vermessung der Meeresböden dargelegt. Die Inhalte beziehen sich auf Positionierung, Schallausbreitung im Wasser und der Visualisierung.

2.1 Positionierung und Orientierung des Schiffes

Der Grundstein zur Beschreibung einer Oberflächenstruktur ist die eindeutige Zuordnung aller Messpunkte in ihrer Position. Ohne diese Basis sind die einzelnen Punkte lediglich mit Attributen versehen, können aber zueinander nicht in Beziehung gesetzt werden. Dieser essenzielle Aspekt führt zur Erkenntnis, dass geodätische Messmethoden - ob über oder unter Wasser - eine Positionierung und Orientierung erfordert. Darunter ist im speziellen Fall der Seevermessung zu verstehen, dass zum einen die Lage der einzelnen Messpunkte am

Meeresboden relativ zum Schiff, zum anderen aber auch konstruktive Gegebenheiten des Schiffes und dessen Lage selbst eindeutig und genau bestimmt werden müssen.

2.1.1 Positionierung des Schiffes mittels GNSS

Grundlegend erfolgt die Positionierung eines Schiffes mittels Satellitenortung unter Verwendung des globalen Navigationssatellitensystems (GNSS). Hinter der Abkürzung verbirgt sich ein Sammelbegriff für die Verwendung bestehender und künftiger globaler Satellitensysteme wie NAVSTAR GPS der USA, GLONASS der Russischen Föderation, GALILEO der Europäischen Union oder BEIDOU der Volksrepublik China. Die Anforderungen der Nutzer an das System sind dabei sehr unterschiedlich. Während ein Schiff auf offener See mit einer Positionsgenauigkeit von nur ± 100 m ausreichend sicher navigieren kann, liefert das System für Küstenbereiche, Häfen und Binnengewässer im Mittel maximal ± 10 m Standortabweichungen und damit eine vielfach genauere Position (Schüttler, 2014). Trotzdem ist diese Präzision für geodätische Zwecke wie der Seevermessung immer noch unzureichend, besonders in Bezug auf die vertikale Komponente. Denn im Gegensatz zu herkömmlichen Vermessungsaufgaben sind bei hydrografischen Anwendungen vor allem die Höhengenaugigkeiten ausschlaggebend. Hierfür hat die International Hydrographic Organization (IHO) für hydrografische Schiffsvermessungen abhängig vom jeweiligen Messgebiet bzw. deren Tiefen folgende Mindestanforderungen für die Höhengenaugigkeiten (Total vertical Uncertainty (TVU)) festgelegt:

Kategorie (nicht alle aufgelistet)	Wassertiefe < 10 m	Wassertiefe < 30 m
	TVU	TVU
2 – Bereiche, in denen eine allgemeine Beschreibung des Meeresbodens als ausreichend angesehen wird.	1,03 m	1,22 m
1a – Bereiche, in denen die Unterkielfreiheit als nicht kritisch angesehen wird, aber für die Oberflächenschiffahrt bedenkliche Merkmale vorhanden sein können.	0,52 m	0,63 m
Spezial - Bereiche, in denen die Unterkielfreiheit kritisch ist	0,26 m	0,34 m
Exklusiv - Bereiche, in denen strenge Kriterien für die Mindestfreiheit unter dem Kiel und die Manövrierfähigkeit gelten	0,17 m	0,27 m

Tabelle 2: Bathymetrie-Mindeststandards für die Sicherheit von hydrografischen Schiffsvermessungen

(IHO, 2020)

Mit dem herkömmlichen Ortungsverfahren sind diese Mindestanforderungen nicht zu erfüllen. Um die Genauigkeit der Satellitenortung zu verbessern, wird die Unterstützung bodengebundener Funkstationen in Anspruch genommen. Das zugrunde liegende Verfahren wird als differenzielles Messverfahren (DGPS) bezeichnet und funktioniert wie folgt:

Eine Referenzstation, deren Position mit hinreichender Genauigkeit bekannt ist, ermittelt den Ortungsfehler, also die Differenz zwischen der eigenen bekannten und der gemessenen Position und sendet diese Korrekturen weiter an die in der Nähe befindlichen Nutzer. Dadurch können die verschiedenen Fehlereinflüsse wie Satellitenbahn- und Uhrabweichungen sowie atmosphärischen Effekte, welche die Beobachtungen beeinflussen, eliminiert oder zumindest minimiert werden. Das Resultat ist eine Steigerung der Standortgenauigkeit auf bis zu wenige Zentimeter.

Die Korrekturparameter werden unter anderem vom Satellitenpositionierungsdienst (SAPOS) – dem Referenzdienst der deutschen Landesvermessung – meist noch kostenpflichtig bereitgestellt. Deren Organisation erfolgt über 270 Referenzstationen, die gleichmäßig im gesamten Bundesgebiet verteilt sind. Dabei stehen der Seevermessung (Nord- und Ostsee) nur die küstennahen Stationen und damit nur ein kleiner Teil zur Verfügung. Die Daten werden hauptsächlich in Echtzeit mit dem standardisierten Verfahren NTRIP via Internet übertragen und für das Generieren von Echtzeitkorrekturen genutzt. Hier liegen die Genauigkeiten in der Lage im Bereich von 1 bis 2 cm und in der Höhe von 2 bis 3 cm (AdV, 2021).

In Anbetracht der Entfernungen zwischen Referenzstationen und Schiffsmessgebieten, und den daraus resultierenden Abweichungen der erreichbaren Genauigkeiten müssen diese Werte ständig beobachtet werden, um den Anforderungen der IHO nachzukommen. Abhilfe schaffen sogenannte PDGPS Referenzstationen. Sie ermöglichen eine erweiterte Netzabdeckung von bis zu 70 km und werden vom BSH an ausgewählten Standorten wie Leuchttürmen betrieben, um Genauigkeiten unter 10 cm zu gewährleisten.

2.1.2 Orientierung des Schiffes mittels MINS

Neben der Positionierung ist auch die Bestimmung der Orientierung für die Qualität einer Kartierung von essenzieller Bedeutung. Im Gegensatz zu Messinstrumenten am Land befindet sich ein Schiff und die mit ihm fest verbundenen Sensorplattformen permanent in Bewegung. Durch Wind, Wellen und Strömung werden ständig translatorische, aber auch rotatorische Bewegungen erzeugt und machen eine feste Stationierung (Position & Orientierung) auf der Wasseroberfläche unmöglich. Für exakte Messergebnisse ist es jedoch unabdingbar, den Standort und die Orientierung des Messinstrumentes jederzeit zu kennen – und das so genau wie möglich.

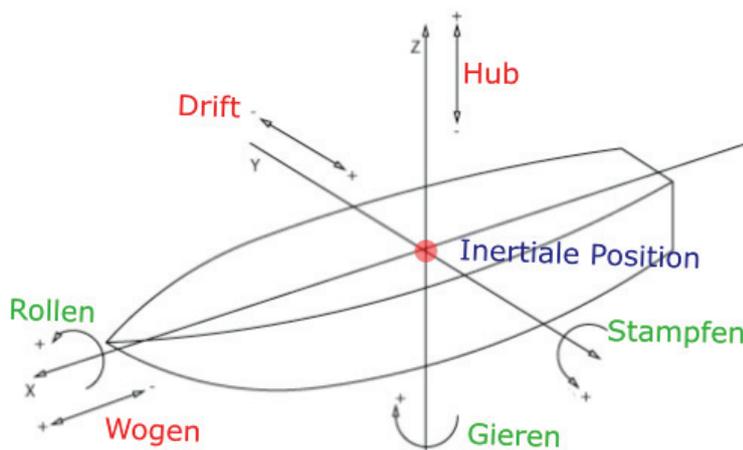


Abbildung 3: Darstellung der Bewegungsarten auf See (Rot = Translatorisch, Grün = Rotatorisch)

(Nistad, 2021)

Gelöst wird dieses Problem mithilfe zweier kombinierter Systeme. Während die translatorischen Bewegungen mittels einer absoluten, genauen und zuverlässigen Position über den GNSS-Sensor erfasst werden, müssen die rotatorischen Bewegungen über ein inertiales Navigationssystem (MINS) identifiziert und implementiert werden. Dabei nutzt man ein sogenanntes Attitude and Heading Reference System (AHRS). Es ermittelt die Änderung der Position und Orientierung durch Messung der Beschleunigung und der Winkelgeschwindigkeiten in Bezug auf die drei in der Abbildung dargestellten Systemachsen (Knickmeyer, 2003).

2.2 Hydroakustische Messverfahren

Nachdem die Position und Lage des Schiffes festgestellt sind, kann mit der Erfassung von Messdaten bezüglich der Unterwasserhindernisse begonnen werden.

Typisch eingesetzte hydrografische Messgeräte auf Vermessungsschiffen sind das Vertikalecholot, das Fächerecholot, das Seitensichtsonar, das Sedimentecholot, die Kamera und der Laserscanner. Sie alle dienen der Umgebungserfassung und Kartierung und führen die eigentlichen 3D-Messungen aus, während andere Messsysteme wie GNSS und MINS zur Georeferenzierung herangezogen werden.

Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit werden lediglich zwei Echolotsysteme vorgestellt, da diese hauptsächlich für eine Unterwasserobjekterkennung verwendet werden.

2.2.1 Echolote

Der Begriff Echolot entspringt dem Wortstamm der elektroakustischen Lotung – der Messung von Wassertiefen unter Verwendung von Schallsignalen. Das Prinzip der Schallmessung basiert auf der Reflektion ausgesendeter Schallimpulse an unter Wasser befindlichen Hindernissen wie Steinen, Wracks und anderen Oberflächen (vgl. Abbildung 4: Weg des Schallsignals).

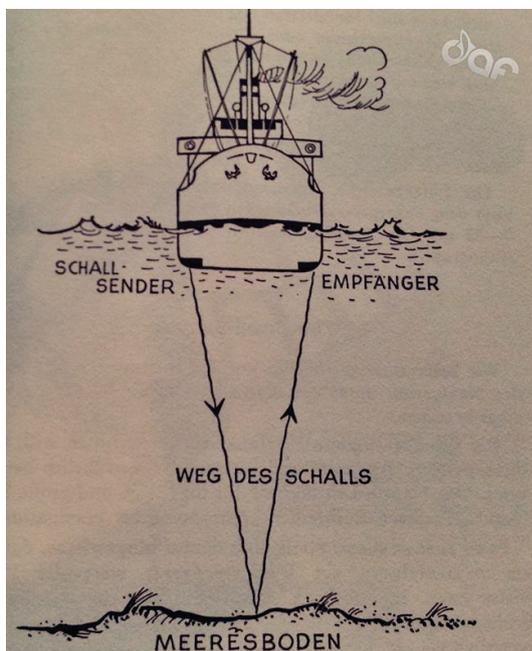


Abbildung 4: Weg des Schallsignals

(Burmester, 2013)

Gemessen wird die Zeit, die eine Wellenfront für die Wegstrecke zwischen Aussendung und Empfang benötigt. Multipliziert man die Zeit mit der Übertragungsgeschwindigkeit – der sogenannten Wasserschallgeschwindigkeit, errechnet sich aus der Formel des Weg-Zeit-Gesetzes die doppelt absolvierte Streckenlänge. Über einen mathematischen Zusammenhang, der den Einfluss der Ausstrahlungsrichtung berücksichtigt, können die Wassertiefen unter Beachtung des aktuellen Wasserstands ermittelt werden.

2.2.1.1 Vertikal- und Fächerecholot

Es gibt eine Vielzahl an Echolotsystemen, wobei die bekanntesten wohl das konventionelle Vertikal- (Single Beam Echosounding (SBES)) und das weiterentwickelte Fächerecholot (Multi Beam Echosounding (MBES)) sind. Ihre Funktionsweisen sind vergleichbar: Ein am Schiffskiel angebrachter Schwinger sendet Schallimpulse aus, indem die darauf befindlichen akustisch, piezoelektrischen Elemente zum Schwingen angeregt werden. Diese ausgesendeten elektroakustischen Signale treffen auf verschiedenste Oberflächen am Meeresboden, werden von ihnen reflektiert oder gestreut und kehren zum Schiff zurück. Hier wird im Gegenzug das Echo vom piezoelektrischen Wandler in ein elektrisches Signal umgewandelt und an die Steuerelektrik weitergeleitet. Über verschiedene Systeme werden die empfangenen Daten verarbeitet, gespeichert und zum Teil visualisiert.

Die Unterschiede der Messsysteme liegen in der Anzahl der vorhandenen Schwingerelemente. Während das Vertikalecholot lediglich mit einem Element ausgestattet ist, besteht das Fächerecholot aus einer Kunststoffeinheit, in der entlang seiner horizontalen Achse eine Reihe akustischer, piezoelektrischer Elemente integriert sind. Auf diese Weise können zeitgleich mehrere Schallimpulse erzeugt und nach unterschiedlichen Laufzeiten empfangen werden.

Beide Systeme finden aktuell Verwendung in der Seevermessung, wobei die geforderte Flächenauflösung bei Tiefenmessungen als auch der vertretbare Aufwand entscheidet, welches System wo verwendet wird.

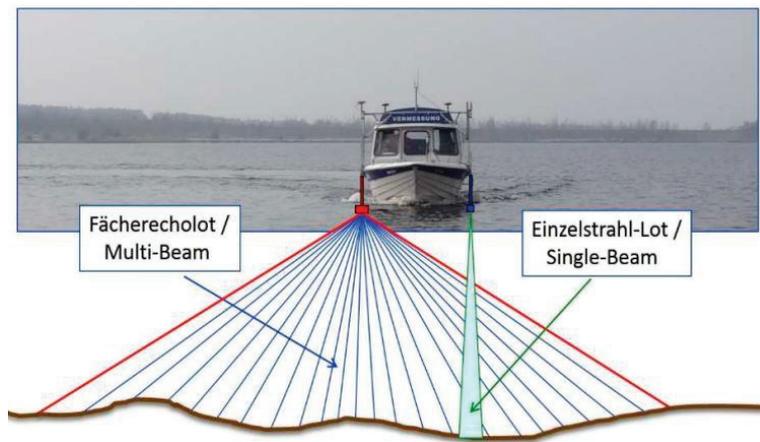


Abbildung 5: Vergleich Vertikalecholot- und Fächerecholotmessung
(Münster, 2017)

Bei der Single Beam Echolotung wird die Gewässersohle unter dem Schiff mit einem lotrecht ausgesandten Einzelstrahl abgetastet. Über vorgegebene Profile werden Linien in Längs- und Querrichtung abgefahren und erzeugen ein Gitternetz an Messwerten. Tiefenwerte werden direkt aus den Profillinien entnommen oder es wird zwischen ihnen interpoliert. Die Genauigkeit der Tiefenangaben ist dabei stark abhängig vom Abstand der gefahrenen Linien. Für schwach frequentierte Bereiche und Uferzonen ist dieses System zur Ermittlung der Wassertiefe ausreichend.

Das MBES arbeitet im Gegensatz zum SBES mit mehreren Lotlinien, die das System simultan über die gesamte Breite des Schwads (Aufnahmestreifen) quer zur Schiffslängsachse aussendet und parallel aufnimmt. Die Breite des Aufnahmestreifens ist abhängig von der Wassertiefe sowie der Anzahl und dem Öffnungswinkel der Einzelstrahlen. Die Echos jedes ausgesendeten Einzelstrahls liefern bei der Rückkehr detaillierte Informationen über die Intensität und die Geolokalisierung. Fügt man die Ergebnisse zusammen, erhält man ein zweidimensionales Tiefenprofil, also im Grunde eine dreidimensionale Abbildung des Meeresbodens (vgl. Abbildung 6: Visuelle Darstellung der MBES Daten). Durch wiederholte Messungen und der gleichzeitigen Vorwärtsbewegung des Schiffes können hohe Punktdichten realisiert werden (Jensen, 2015).

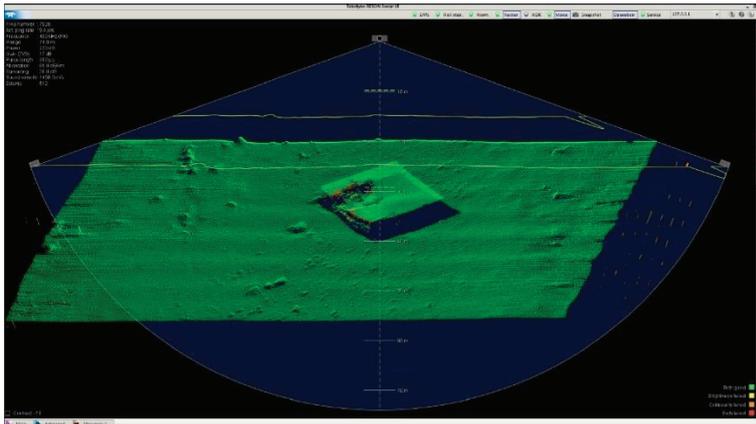


Abbildung 6: Visuelle Darstellung der MBES Daten
(BSH, 2021)

2.2.1.2 Seitensichtsonar

Das Seitensichtsonar (SSS) gehört zur Gruppe der interferometrischen Sonare und basiert auf derselben technischen Grundlage wie das Fächerecholot, variiert aber in der Ausführung der Messung, in den verwendeten Frequenzen und in der Art der Datenauswertung. Es besteht aus beidseitig angebrachten Schwingern mit jeweils großen vertikalen und schmalen horizontalen Öffnungswinkeln (vgl. Abbildung 7: Sendebereich eines Seitensichtsonars), die normalerweise mit nur einem einzigen Strahl pro Geber (Backbord – Steuerbord) arbeiten. Daher ist das System nicht in der Lage, eine hochgenaue Geolokalisierung von Echos bereitzustellen.

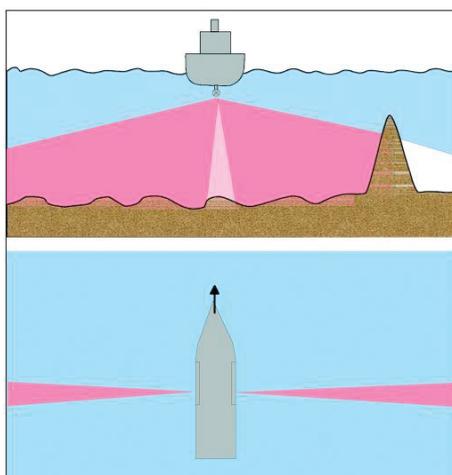


Abbildung 7: Sendebereich eines Seitensichtsonars
(Hoffmann, 2002)

Während die eng gebündelten Schallsignale seitlich den Meeresboden abtasten, erfasst das SSS nach jedem gesendeten Ping die lokale Rückstreustärke und moduliert eine Linie. Mit der Abfolge der Pings und der Modulierung mehrerer Linien entsteht so eine Abbildung, die einem Luftbild ähnelt (vgl. Abbildung 8: Seitensichtsonar-Aufnahme eines Pontons). Auf dieser Veranschaulichung können die Strukturen des Untergrundes wie Sand, aber auch einzelne Objekte deutlich unterschieden werden. Des Weiteren haben Objekte zur starken Rückstreuung eine zusätzliche Charakteristik: Sie bilden einen Schatten hinter sich, dessen Länge zur Abschätzung der Objekthöhe verwendet werden kann. Je näher sich das SSS an der Meeresbodenoberfläche befindet, umso besser kann diese Abschätzung erfolgen. Unmittelbare Tiefeninformationen sind in den Abbildungen nicht enthalten. Eine weitere Besonderheit ist der sogenannte blinde Fleck in der Abbildungsmitte. Seine Entstehung ist zurückzuführen auf den nahezu senkrechten Einfallswinkel der Echos im Nadirbereich. Infolgedessen entstehen vernachlässigbare Zeitunterschiede zwischen jedem Echo, wobei die Echos daher nicht voneinander unterschieden werden können (vgl. Abbildung 8: Seitensichtsonar-Aufnahme eines Pontons (links); Seitensichtsonar-Aufnahme mit blinden Fleck im Nadirbereich (rechts)).

Abbildung 7: Sendebereich eines Seitensichtsonars

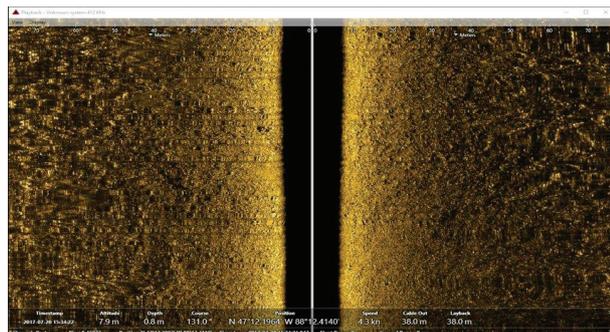
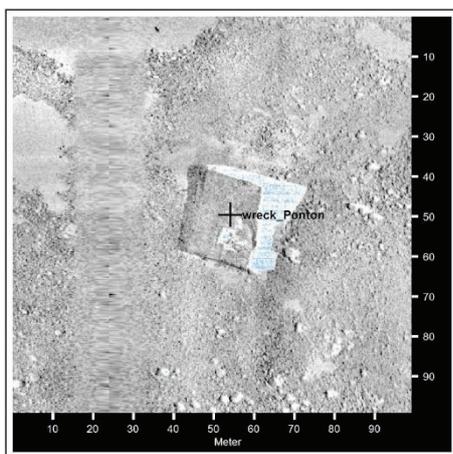


Abbildung 8: Seitensichtsonar-Aufnahme eines Pontons (links); Seitensichtsonar-Aufnahme mit blinden Fleck im Nadirbereich (rechts)

(BSH, 2021)

2.2.1.3 Vergleich der Systeme MBES und SSS

Interferometrische Sonare wie das SSS sind gegenüber einem MBES-System technisch eingeschränkt (vgl. Tabelle 3: Typische Konfigurationen von MBES und SSS), eignen sich aber oft besser für Unterwasserhinderniserkennungen (UWH Detection). Die detaillierten Bildgebungen solcher Sonare liefern Silhouetten eines Ziels und vereinfachen häufig die Analyse und Größenabschätzung dieser. MBES-Systeme eignen sich hingegen hervorragend für eine hochauflösende Kartierung unregelmäßiger Meeresböden und decken somit eine Vielzahl an bathymetrischen Anforderungen ab.

	SSS	MBES
Anzahl der Geber	2	1
Abdeckung	< 240°	< 160°
Hochauflösende Kartierung der Nadirzone	Nein	Ja
Fähigkeit, vertikale Merkmale aufzulösen	Nein	Ja
Fähigkeit, unregelmäßige Meeresböden genau zu kartieren	Exzellent	Mittelmäßig

Tabelle 3: Typische Konfigurationen von MBES und SSS

(R2Sonic, 2022)

Heutzutage werden Seitensichtsonare häufig von modernen hochauflösenden Fächerecholoten ersetzt bzw. mit dem System vereint. Die aktuell erzielbaren Abbildungsqualitäten von MBES Systemen machen es möglich, aus ursprünglich zwei unterschiedlichen Verfahren eine Mischform zu generieren. Dadurch gewinnt man die Vorteile zweier unterschiedlich anwendungsbezogener Systeme (vgl. Abbildung 9: Darstellung eines RESON SeaBat mit Sonardaten (oben) und MBES-Daten (unten)).

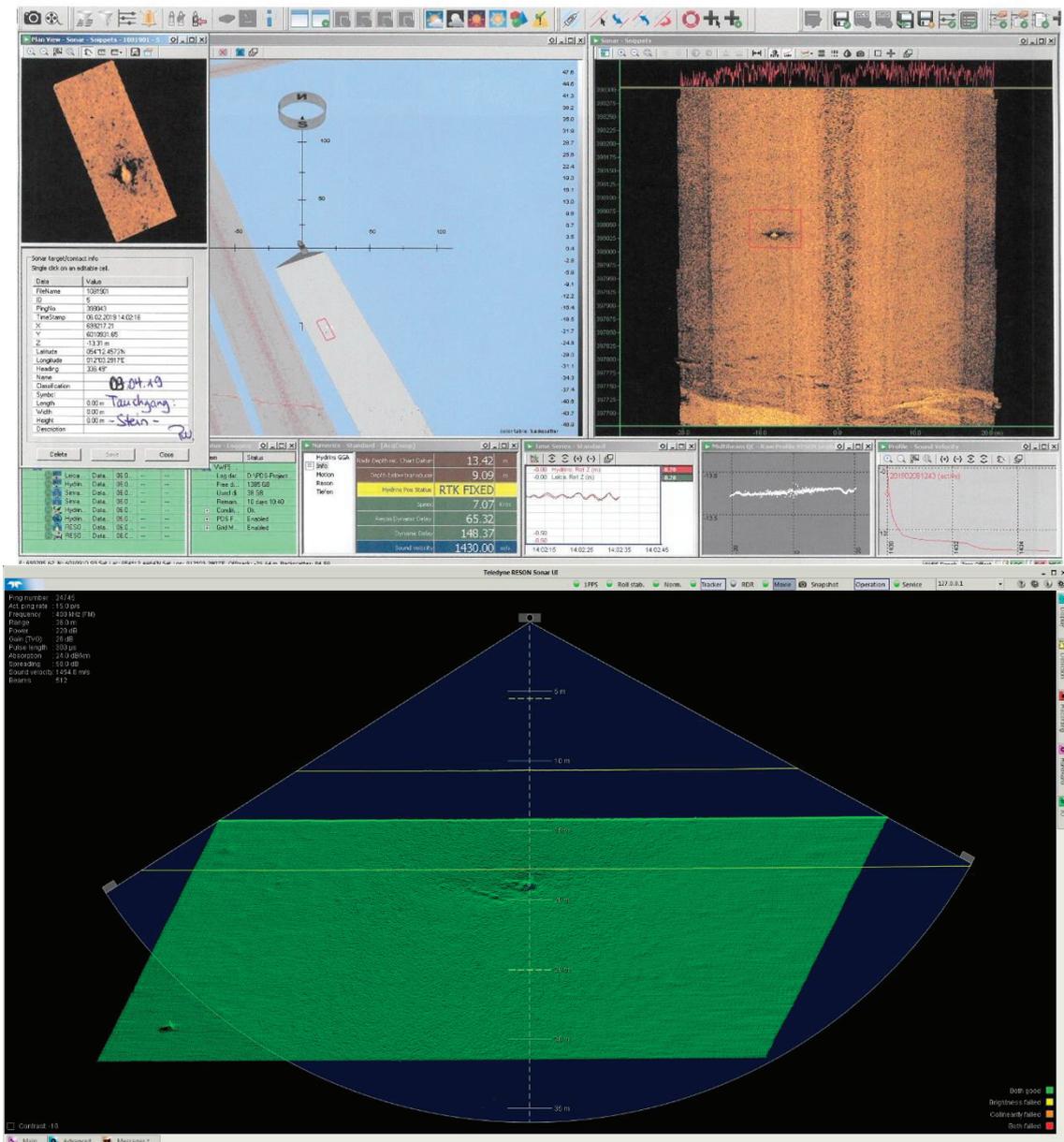


Abbildung 9: Darstellung eines RESON SeaBat mit Sonardaten (oben) und MBES-Daten (unten)

(BSH, 2021)

2.2.2 Wasserschallgeschwindigkeit

Die Messgenauigkeit eines Echolotes hängt unter anderem vom Unterschied der im Gerät hinterlegten Wasserschallgeschwindigkeit zur gegenwärtigen Wasserschallgeschwindigkeit unter dem Schiff ab. Die Ursache liegt in der starken Abhängigkeit von mehreren Faktoren, wobei die Wassertemperatur, der Druck und die Dichte den größten Einfluss haben. Diese Parameter können lokal variieren und damit die Schallgeschwindigkeit merklich beeinflussen. Besonders auffällig ist diese Variation in der Ostsee. Einfließendes Salzwasser aus der

Nordsee durch das Kattegat und Süßwasser aus den in die Ostsee mündenden Flüssen treffen hier zusammen. Die höhere Dichte des Salzwassers, die unterschiedlich aufgeheizten Wassermassen und die geringen Meeresbewegungen verursachen Sprungschichten in Form einer inhomogenen Verteilung – sowohl horizontal als auch vertikal, die zur Ablenkung der Schallwellen führen. Das macht die Ermittlung der Wasserschallgeschwindigkeit kompliziert und führt zu ungenauen Messergebnissen, welche direkten Einfluss auf die Laufzeiten der Schallsignale und damit der berechneten Wassertiefe nehmen.

Wasserschallgeschwindigkeit	Laufzeit	Ermittelte Wassertiefe
1477 m/s	40 ms	29,54 m
1480 m/s		29,60 m
1483 m/s		29,66 m

Tabelle 4: Unterschiede in der ermittelten Wassertiefe bei unterschiedlich erfassten Wasserschallgeschwindigkeiten

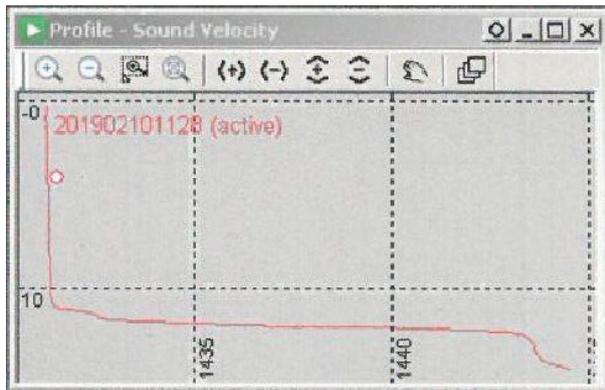
(Eigene Darstellung)

Um möglichst genaue Informationen zur Berechnung der Wasserschallgeschwindigkeit zu erhalten, werden sogenannte Wasserschallprofile erstellt. Sie bestehen nicht nur aus einem Wert, sondern beschreiben die Schichten einer Wassersäule (vgl. Abbildung 10: Drei unterschiedliche Wasserschallgeschwindigkeitsprofile). Auf diese Weise werden die vertikalen Messunsicherheiten minimiert. Horizontale Sprünge der Wasserschallgeschwindigkeit werden durch mehrfache Messungen an verschiedenen Bereichen des Messgebietes kompensiert und müssen im System immer wieder aktualisiert werden.

Die Erfassung eines Wasserschall-Profiles erfolgt an Bord der BSH Schiffe über eine CTD-Sonde (Conductivity, Temperature, Depth Profiler). Ausgestattet mit unterschiedlichen Sensoren werden die maßgeblichen Faktoren aufgezeichnet:

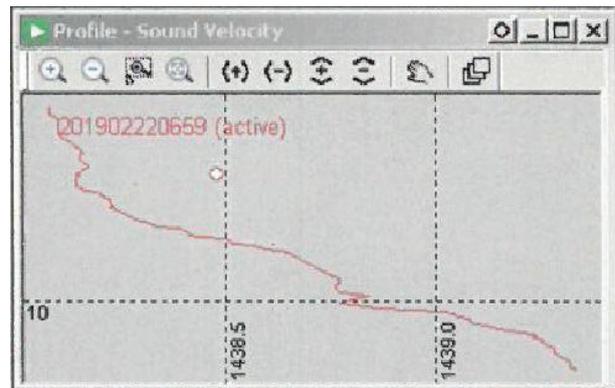
- Der Salzgehalt über die Leitfähigkeit des Wassers,
- die Temperatur mithilfe eines Thermometers und
- die Tiefe mittels eines Drucksensors.

Anschließend können die einzelnen Dichten der Wasserschichten bestimmt und die Wasserschallgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Tiefe daraus berechnet werden.



Die Schallgeschwindigkeit beträgt etwa 1432 m/s von der Wasseroberfläche an und bleibt bis etwa 11m Wassertiefe konstant. Eine Sprungschicht führt zur Zunahme der Schallgeschwindigkeit auf 1446 m/s.

Die Schallgeschwindigkeit wächst nahezu konstant mit Zunahme der Wassertiefe. Die Wassermassen sind an dieser Position gut durchmischt.



Die Auflösung der Schallgeschwindigkeit fällt ziemlich klein aus. Daher sind die Unterschiede der Geschwindigkeiten marginal klein.

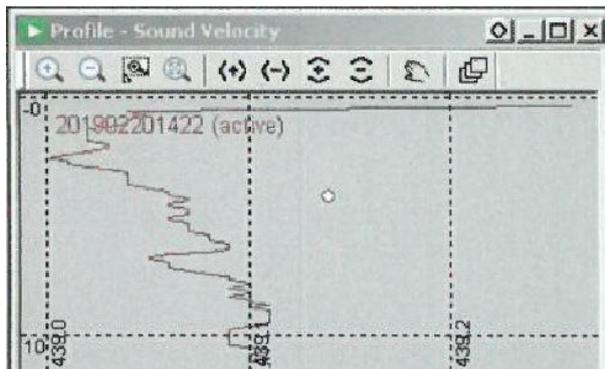


Abbildung 10: Drei unterschiedliche Wasserschallgeschwindigkeitsprofile (BSH, 2021)

In Anbetracht dieser Tatsache bietet insbesondere die Ostsee ein schwieriges Umfeld für akustische Anwendungen, da die Schallausbreitung vom Zustand des Wassers und den komplexen ozeanografischen Vorgängen abhängt. Daher ist bei der Ermittlung der Wassertiefen aufgrund der vorangehenden Aussage immer mit einem Genauigkeitsverlust zu rechnen, da die Wasserschallgeschwindigkeit (noch) nicht exakt für das gesamte Messgebiet bestimmt werden kann (Gerdes, et al., 2014).

2.3 Kombination der Sensorsysteme

In den Kapiteln 2.1 und 2.2 wurden die zur Verfügung stehenden Sensorsysteme GNSS, MINS und Echolot separat vorgestellt. Aber nur in Kombination führen die Systeme zum gewünschten Ergebnis – einer genauen Kartierung der Meeresbodenoberfläche und die Darstellung aller darauf befindlichen Objekte.

Dafür müssen alle Komponenten zu einem Bezugspunkt eingemessen und anschließend kalibriert werden. Die Notwendigkeit dazu ergibt sich aus den Exzentrizitäten der an verschiedenen Orten auf dem Schiff installierten Sensoren (Position/GNSS-Antenne, Schiffslage/MINS, Sonar-Messköpfe/Reson SeaBat). Beim Bezugspunkt handelt es sich häufig um den Massenschwerpunkt. Komplexe Kräfteeinwirkungen wie auf einem Schiff lassen sich so vereinfacht in einem Punkt darstellen und viel einfacher beschreiben.

Während versucht wird, das MINS so nah wie möglich im Massepunkt zu installieren, befinden sich die Messsysteme GNSS und Echolot hoch im Mast bzw. unter dem Rumpf. Daher wird zum Zeitpunkt des Systemaufbaus die absolute Ausrichtung der Systeme in Bezug auf das Sensorträgersystem – das Schiff – ermittelt. Denn trotz bestmöglichen Einbaus können nicht berücksichtigte Verdrehungen oder Verschiebungen in Abhängigkeit von ihrer Größenordnung starke Auswirkungen auf Folgemessungen ausüben.

Die Einmessung der Systeme ist eine entscheidende Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Kalibrierung. Durch das Festsetzen aller Sensorsysteme in einem fahrzeugfesten Koordinatensystem können anschließend die Einbauwinkel, also die relative Ausrichtung der Sensoren zueinander bestimmt werden.

2.4 Vermessungsdaten

Über das Softwarepaket Teledyne PDS (PDS) werden an Bord der BSH Schiffe die eingehenden Daten der Sensoren in Echtzeit gelesen, die Berechnungen der Daten durchgeführt, die Ergebnisse der Berechnungen angezeigt und gleichzeitig protokolliert. Dabei verwendet Teledyne verschiedene Dateitypen, um die relevanten Informationen und Konfigurationen zu speichern (Teledyne RESON B.V., 2015). Die Prozesse können über eine Reihe von Ansichten gesteuert werden. Eine Ansicht kann die Daten grafisch, eine andere die Daten alphanummerisch darstellen. Zur Anwendung der automatischen Detektion von UWHs wird im weiteren Verlauf der Arbeit die grafische Ansicht verwendet.

2.4.1 Visualisierung der MBES Daten

Die Informationen des MBES werden in Punkten auf einem Monitor visualisiert. Dabei entspricht jeder Punkt einem Echo, welches wiederum mit den gleichen Datenpunkten der nachfolgenden Messungen verbunden ist. Das Resultat ist eine scheinbar dreidimensionale Ansicht vom Meeresboden. Neue Echodaten werden vorangestellt; alte Echodaten wandern entgegengesetzt der Fahrtrichtung auf dem Bildschirm schräg nach unten. Dies führt zu einer gleitenden Grafik und wird umgangssprachlich als Wasserfalldarstellung betitelt:

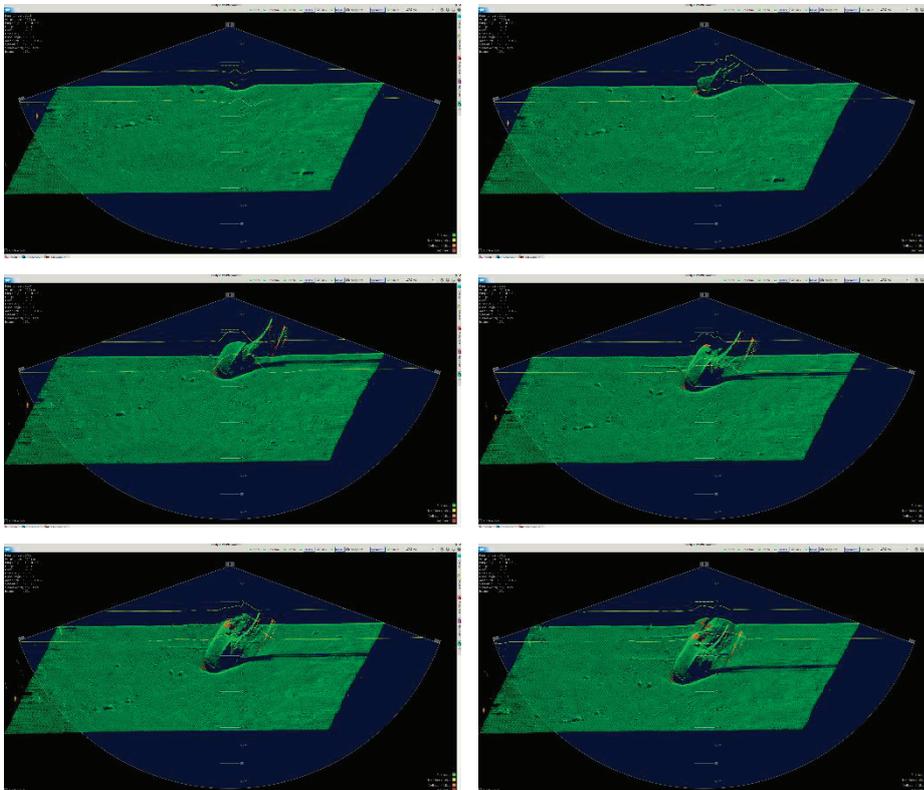


Abbildung 11: Gleitansicht von MBES Daten (Wasserfalldarstellung), (BSH, 2021)

Die Darstellung ermöglicht eine in Echtzeit wiedergegebene Visualisierung der Meeresbodenoberfläche. Die empfangenen Daten werden jedoch nicht nur als Punkt dargestellt, sondern auch nach ihrer Qualität farblich klassifiziert. Erfüllen die Echos die geforderten Grenzwerte der Kollinearität und der Intensität, werden sie grün veranschaulicht. Handelt es sich um unzureichende Informationen aus den Echos, die zum Beispiel aufgrund von schlechten Einfallswinkeln oder absorbierenden Oberflächen hervorgerufen werden können, werden die dazugehörigen Punkte Gelb oder Rot dargestellt. Für unzugängliche Bereiche wie zum Beispiel hinter einem „beleuchteten“ Objekt empfängt man keine Echos. Die strahlungsfreien Zonen werden Schwarz charakterisiert und sind mit einem durch die Sonne verursachten Schattenwurf zu vergleichen. Durch diese verschiedenen Kennzeichnungen ist das Erkennen von Veränderungen in den Aufzeichnungen stark vereinfacht, insbesondere da UWHs oftmals diese Veränderungen hervorrufen.

2.4.2 Behandlung von Unterwasserobjekten

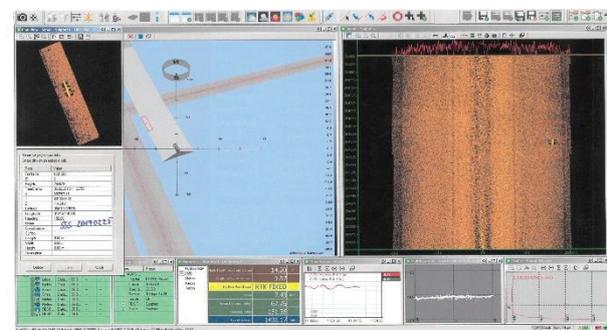
Die UWH Suche beinhaltet hauptsächlich das Aufsuchen bekannter Unterwasserobjekte und deren Überwachung. Es setzt voraus, dass man deren geografische Lagen, deren Abmessungen und die Art genau kennt. Diese Informationen entstammen früheren Vermessungsarbeiten und können heutzutage einer internen Datenbank entnommen werden, in der sämtliche bis dato gefundenen UWHs protokolliert werden. Mit aber weit über 1000 Wracks und unzähligen anderen Unterwasserobjekten allein in der Ostsee müssen die Kontrollen zeitlich geregelt sein. Diese Funktion übernimmt der jährlich veröffentlichte Aufgabenplan. Er beinhaltet zum einen die Regionen, die über das Jahr vermessen sowie die UWHs, die über das Jahr kontrolliert werden sollen.

In den Vermessungsgebieten selbst befinden sich zudem auch häufig Unterwasserobjekte, die zusätzlich untersucht werden müssen, da sie in der Datenbank noch nicht aufgenommen worden sind. Da deren Existenz und Lage bis zur Detektion nicht bekannt sind, müssen die Monitore an Bord während der Vermessung ständig beobachtet werden. Bei prägnanten Veränderungen am Meeressgrund in Form von möglichen unbekanntem Objekten werden diese manuell kenntlich gemacht. Der Dateninput endet jedoch nicht bei der Erkennung eines Objektes. Daher muss das Objekt schnellstmöglich gekennzeichnet werden, da nachfolgend weitere Objekte in Erscheinung treten können und die eigentliche Vermessung nicht deswegen beendet wird. Andernfalls erfolgt ein erneuter Überlauf oder die Daten müssen a posteriori auf Objekte untersucht werden.

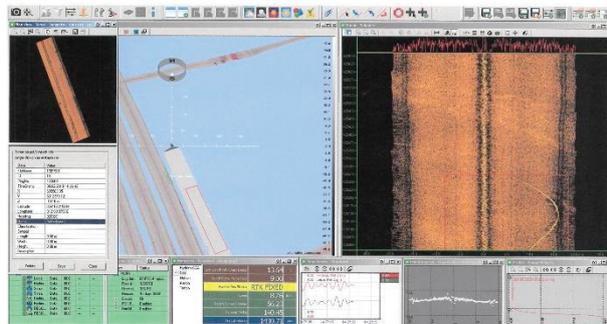
Neu entdeckte UWHs, deren Herkunft oftmals auf verloren gegangene Gegenstände von Schiffen oder auf von ihrer bekannten Position vertriebene Objekte zurückzuführen ist, werden im Anschluss einer Vermessung abhängig von der Größe und dem Grad der Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer nochmals kontrolliert. Diese Aufzeichnungen werden protokolliert und dem Fachbereich an Land übergeben. Zur Veranschaulichung des Umfangs zeigt die folgende Abbildung neu entdeckte Unterwasserobjekte in einem einzigen Messgebiet:

```

neue UWHs 1081901.txt - Editor
Datei Bearbeiten Format Ansicht Hilfe
6013849,46 32697391,83 = Targ1 Baumstamm mit Wurzel, SSS, 20190225 erl.
6013329,21 32697905,41 = Targ2 Stahlträger, SSS 20190225, abgetaucht, geborgen, 20190306 erl.
6012761,74 32698233,61 = Targ3 Anker, Tauchgang 20190402, geborgen am 20190402 RV erl.
6018742,79 32699120,59 = Targ4 Objekt
6018931,65 32699217,21 = Targ5 Stein, 20190403 betaucht, RV erl.
6013586,32 32698587,06 = Targ6 Stein, SSS D20190417 erl.
6011657,10 32699389,44 = Targ7 kleines Objekt
6011831,15 32698386,14 = Targ8 kleines Objekt, SSS, nicht relevant, 20190401 RV erl.
6012317,25 32698398,60 = Targ9 Objekt, SSS D20190417, IA noch tauchen
6011859,94 32698740,35 = Targ10 kleines Objekt, SSS, nicht relevant, 20190401 RV erl.
6013832,15 32698290,69 = Targ11 Stein, SSS 20190225, erl.
6013665,01 32698716,75 = Targ12 Stein, SSS D20190417 erl.
6013820,19 32698697,55 = Targ13 Stein, SSS 20190225, erl.
6013645,32 32699355,50 = Targ14 grosser Stein, SSS D20190417 erl.
6012465,90 32699829,16 = Targ15 Kette oder Draht?
6012370,12 32699903,85 = Targ16 Kette oder Draht?
6011911,96 32699446,97 = Targ17 rote Tonne mit Stein + Kette, getaucht 20190401, geborgen 20190403 RV, erl.
6012565,86 32699249,79 = Targ18 Objekt, 20190403 SSS, ist nichts, erl. RV
6014018,56 32699249,67 = Targ19 Stein, SSS D20190417 erl.
6012555,47 32699951,93 = Targ20 Draht mit Gewicht ?
6014537,42 32698867,84 = Targ21 Stein, SSS D20190417 erl. in 1881902
6011911,02 32699444,72 = Targ22 Tonne, siehe Targ17, erl.
6011676,89 32699537,13 = Targ23 Objekt
6013884,23 32698589,81 = Targ24 Stein, SSS 20190225, erl.
6011585,81 32698621,74 = Targ25 laengliches Objekt, SSS, ist nichts, 20190401 RV erl.
6018669,87 32698579,84 = Targ26 laengliches Objekt
6013341,15 32697908,27 = Targ27 Stahltraeger, SSS 20190225, abgetaucht 20190306 erl.
6013832,45 32698152,54 = Targ28 Bodenstruktur, SSS 20190225, erl.
6014442,51 32699071,78 = Targ29 2 Objekte, SSS, Bodenstruktur, 20190401 RV erl.
6011180,48 32699298,67 = Targ30 rundes Objekt
6011736,21 32699481,75 = Targ31 Stein, SSS D20190417 erl.
6013503,41 32698680,39 = Targ32 Stein, SSS D20190417 erl.
6011173,72 32699051,60 = Targ33 laengliches Objekt
6013776,08 32699145,21 = Targ34 Objekt mit 90m langem Draht
6014665,00 32699979,50 = Targ35 Niiro-Mast mit Segel 10m lang, SSS D20190415, abgetaucht D20190417 erl.
6015208,79 32700351,58 = Targ37 Stein, SSS erl. D20190415
6012569,99 32700022,57 = Targ38 1m9 Seekanal
6013591,04 32699625,25 = Targ39 Tn7 Seekanal
6013365,53 32700804,92 = Targ41 Objekt?
6013373,86 32700906,09 = Targ42 HIL
6013854,40 32698309,70 = Targ43 Baumstamm, SSS, abgetaucht 20190227 erl.
6013949,20 32698299,20 = Targ44 Stahlteil, SSS, abgetaucht 20190227, erl.
6014088,50 32700152,90 = Targ45 laengliches Objekt, SSS D20190415, IA noch tauchen
6013792,88 32700782,13 = Targ46 laengliches Objekt
6013380,00 32700370,50 = Targ47 Tonnenstein, Kette und untere Haelfte einer Tonne, Leinwandreste, SSS D20190415, abgetaucht und geborgen D20190417
    
```



Target2: Stahlträger



Target16: Kette oder Draht

Abbildung 12: Neue Unterwasserhindernisse im Messgebiet 1081901, (BSH, 2021)

Prinzipiell müssen alle gesichteten Unterwasserobjekte gekennzeichnet und protokolliert werden. In Anbetracht des Umfangs der neu entdeckten UWHs innerhalb eines einzigen Messgebietes kann ein automatisiertes Erfassungssystem die Wirtschaftlichkeit steigern, den Zeitaufwand verringern und mögliche Fehler minimieren.

KAPITEL 3

3 Stand der Forschung

Rückblickend begannen die Versuche zur Nachahmung der visuellen Wahrnehmung des menschlichen Auges mit Beginn der Entwicklung einer menschenähnlichen künstlichen Intelligenz vor über 50 Jahren. Ein besonderes Augenmerk bestand in der Objekterkennung – der Erfassung und Lokalisierung von festgelegten Objekten in der Umgebung. Man musste mit der Zeit jedoch feststellen, dass sich dieser grundlegende Prozess weitaus komplexer gestaltete, als erwartet. Zudem steckte die Leistungsfähigkeit der Datenverarbeitung und die der Sensoren noch in den Kinderschuhen.

Erst im Zeitalter der Mikroelektronik entwickelte sich auch das Feld der Objekterkennung mit großen Schritten. Mit für damals enormen Speicherkapazitäten und Sensoren, die dem menschlichen Auge weit überlegen sind, bietet man dem Computer eine riesige Datengrundlage und die moderne Rechenkapazitäten erlauben es, diese auch zu verarbeiten. Dennoch besteht bis heute die Herausforderung darin, dem Computer zu sagen, wie und wonach er in den Daten suchen soll. In der Praxis versagen Systeme häufig schon beim Versuch, Objekte in ungewohnter Umgebung zu erkennen, besonders wenn diese Objekte darüber hinaus verdreht oder teilverdeckt sind. Zusätzliche Einflüsse wie wechselnde Lichtintensitäten, Hintergrundveränderungen oder Aufnahmeentfernungen zeigen die Vielfältigkeit eingehender Daten und die Komplexität dieser Aufgabe.

Trotzdem gibt es viele Ansätze und Methoden in der Objekterkennung, die robust gegenüber einigen dieser Einflussfaktoren sind. Dazu findet man heutzutage zahlreiche Beispiele für anwendungsorientierte Systeme im alltäglichem Leben:

- Detektion von Beschädigungen oder Defekten an komplexen Bauteilen in der Qualitätskontrolle,
- Erkennung von Verkehrsschildern, -teilnehmer:innen oder Fahrbahnen im Bereich der Fahrerassistenzsysteme oder
- Kollisionsverhütung durch das Erkennen von Hindernissen bei Saugrobotern,
- Personen- und Gesichtserkennung in digitalen Kameras im Bereich der Überwachung.

Hydrografische Erkennungs- und Auswerteprozesse sind im Gegenzug noch in der Aufbauphase. Modelle, die in der Lage sind, Unterwasserobjekte aus dem Datenmaterial herauszufiltern und im Anschluss zu kategorisieren, müssen erst trainiert werden. Dafür benötigt das Modell ausreichend große Datenmengen, die auf diesem speziellen Feld nicht

ohne weiteres verfügbar sind. Überdies beinhalten hydroakustische Aufnahmen häufig Störsignale, ausgelöst durch Wellenbewegungen an der Oberfläche, Sonarschatten und anderen physikalischen Unterschieden. Diese Verzerrungen und Artefakte in den dargestellten Aufnahmen müssen vom Modell erkannt und selektiert werden.

Die Firma EvoLogics zum Beispiel hat sich dem Thema „*Mit künstlicher Intelligenz Objekte unter Wasser finden: Sonar Object Detection in Echtzeit*“ verschrieben. Als Grundausrüstung bietet das Unternehmen die neuste Generation eines autonomen Untersuchungsroboter (Sonobot 5) für Vermessungs- und Suchoperationen an. Dieses schwimmende Sonar Unmanned Surface Vehicle (USV) arbeitet akustisch mit einem Seitensichtsonar und generiert wie auch andere SSS-Systeme schwer interpretierbare Aufnahmen, die selbst von Experten mit langjähriger Erfahrung nicht immer präzise ausgewertet werden können (vgl. Abbildung 13: Ausschnitt einer Sonaraufnahme (links) Ausschnitt einer Sonaraufnahme mit gesetzter Bounding Box (rechts)).

Hier greift die vom Unternehmen bereitgestellte zentrale Datenplattform, in der sämtliche Sonaraufnahmen des Anwenders hochgeladen werden können. Mit fachkräftiger Unterstützung werden diese Aufnahmen untersucht, interpretiert und anschließend über Machine-Learning-Modelle zurück auf dem USV zum Training übertragen. Dadurch erlernt der Sonobot, verborgene Objekte unter Wasser auf den Sonarbildern zu erkennen und hebt diese deutlich visuell hervor (vgl. Abbildung 13: Ausschnitt einer Sonaraufnahme (links) Ausschnitt einer Sonaraufnahme mit gesetzter Bounding Box (rechts)).

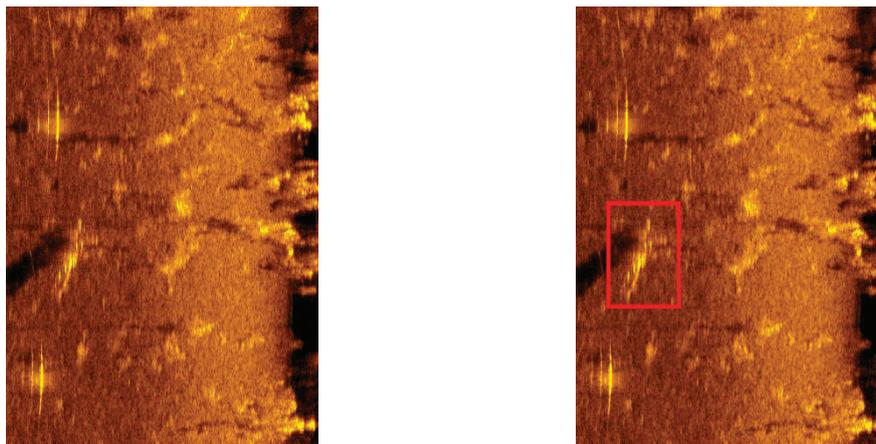


Abbildung 13: Ausschnitt einer Sonaraufnahme (links) Ausschnitt einer Sonaraufnahme mit gesetzter Bounding Box (rechts)

(EvoLogics, 2021)

Der Erfolg, unterschiedlichste Objekte unter Wasser detektieren zu können, hängt von der Verfügbarkeit großer Datenmengen ab, deren Bestand durch das kontinuierliche Beisteuern von Sonarbildmaterialien aller Anwender erweitert wird. Zukünftig sollen Anwender sogar in der Lage sein, Modelle nach ausgewählten Objektklassen zu konfigurieren. So können die Suchalgorithmen auf spezielle Aufgaben wie zum Beispiel der Lokalisierung von ertrunkenen Menschen, der Erkennung von militärischen Altlasten oder der Auffindung von Schrott zugeschnitten werden (EvoLogics, 2021).

Derartig unbemannte Messsysteme werden zukünftig verstärkt Einzug in unseren Alltag halten. Ihre teilweise autonome Arbeitsweise versprechen besonders in der Hydrografie eine Vergrößerung des Anwendungsspektrums, da sie grundsätzlich dort eingesetzt werden können, wo der menschliche Einsatz zu gefährlich bzw. nicht möglich ist.

Die Vorgehensweise bei EvoLogics könnte auch Vorbild für die Entwicklung automatischer Detektionsprogramme beim BSH sein. Mit dem schon vorhandenen umfangreichen Datenmaterial und Fachpersonal kann die Umsetzung der erforderlichen Modelle in wenigen Jahren realisierbar sein. Als Vorstufe wird in der vorliegenden Arbeit ein Programm entworfen, das zumindest für einen Teil des komplexen Prozesses der Objekterkennung als Vorlage dienen kann. Die Vorgehensweise und Funktionsfähigkeit werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

KAPITEL 4

4 Konzept

In den folgenden Abschnitten werden das Konzept und die Algorithmen beschrieben, die zum Ziel dieser Arbeit führen: Der Entwicklung eines Verfahrensablaufes zur automatischen Detektion von Unterwasserobjekten in hydroakustischen Datensätzen. Am Ende dieses Projektes sollen Unterwasserobjekte in verschiedenen Fächerecholotaufnahmen erkannt, markiert und lokalisiert werden.

4.1 Rahmenbedingungen

Um den Umfang dieser Bachelorarbeit im Rahmen zu halten, werden vorab einige Bedingungen festgesetzt:

- Sämtliche Unterwasserobjekte, ob natürlicher oder künstlicher Natur, werden als Objekte eingestuft.
- Eine Interpretierung der Objekte wird in dieser Arbeit nicht behandelt.
- Als Datensatz werden Videosequenzen von sogenannten Wasserfalldarstellungen der topografischen Begebenheiten der Meeresbodenoberfläche verwendet.
- Die Videosequenzen sind ein Abbild der am Bord befindlichen Ansicht und wurden in keiner Weise manipuliert.

4.2 Grundidee

Eine Variante für das Auffinden von Objekten in einem Videostream basiert auf sich ändernden Bildbereichen in aufeinanderfolgenden Einzelbildern (Frames). Dafür muss der jeweilige Frame in homogene und sich verändernde Bildbereiche unterteilt werden. Im Fall der hydrostatischen Aufnahmen beziehen sich die homogenen Bildbereiche auf das nahezu ebene Flussbett, dessen Darstellung im Sonar als wiederkehrende Linie kaum Unterschiede erkennen lässt. Hingegen verursachen Unterwasserobjekte infolge der Schiffsbewegung eine Abweichung der geraden Linie. Diese Änderungen können erfasst werden. Jene Teile eines Frames, die sich während einer Sequenz kaum von benachbarten Aufnahmen verändern, beinhalten auch keine Objekte. Diese Teile des Bildes sind uninteressant und können eliminiert werden. Interessant sind jedoch die Teile des Bildes, die sich während einer Sequenz deutlich verändern. Um diesen gewünschten Teil des Bildes zu segmentieren, können zum Beispiel jeweils zwei aufeinanderfolgende Frames voneinander subtrahiert werden.

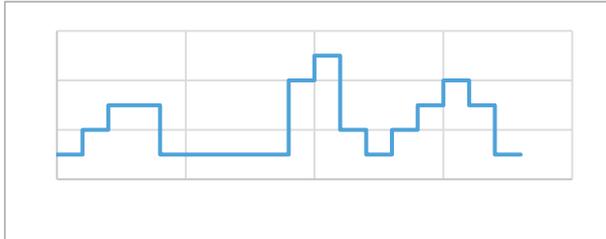
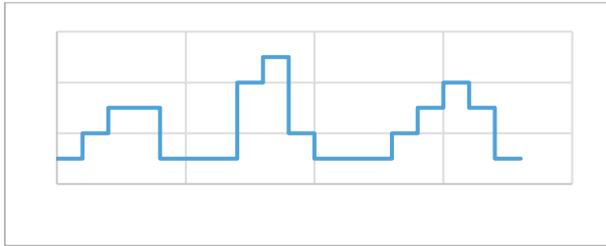


Abbildung 14: Grauwerte einer Bildzeile in zwei aufeinander folgenden Bildern einer Sequenz

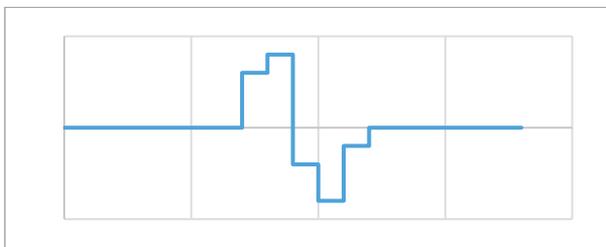


Abbildung 15: Differenz der Grauwerte von Abbildung 14

(Eigene Darstellung)

In diesen drei Diagrammen ist die Verfahrensweise der Trennung homogener von dynamischen Bereichen vereinfacht dargestellt. Abbildung A) stellt eine beliebige Bildzeile des ersten Frames einer Sequenz dar. Gut erkennbar sind 3 verschiedene Bereiche mit unterschiedlichen Grauwerten. In Abbildung B) wird dieselbe Zeile des zweiten Frames dargestellt, indes der mittlere Bereich nach rechts gewandert ist. Subtrahiert man nun die Grauwerte beider Frames voneinander, erhält man lediglich den Bereich, in der eine Bewegung stattgefunden hat – Abbildung C).

4.3 Problematik bei hydroakustischen Datensätzen

Die Erfassung bewegender Objekte in einer Sequenz setzt voraus, dass die Kamera bzw. das Aufnahmeinstrument einen festen Standpunkt einnimmt. Erst dadurch können homogene und sich verändernde Bildbereiche voneinander unterschieden und getrennt werden (vgl. Abbildung 16: Originalaufnahme (links) und Differenz von zwei Bildfolgen der Originalaufnahme (rechts)).



Abbildung 16: Originalaufnahme (links) und Differenz von zwei Bildfolgen der Originalaufnahme (rechts) bei festen Aufnahmestandpunkt, (Eigene Aufnahmen)

Andernfalls bewegen sich sämtliche Pixelkoordinaten gegenüber dem Bildkoordinatensystem und machen eine Segmentierung von Objekten sehr schwierig (vgl. Abbildung 17: Originalaufnahme (links) und Differenz von zwei Bildfolgen der Originalaufnahme (rechts)).

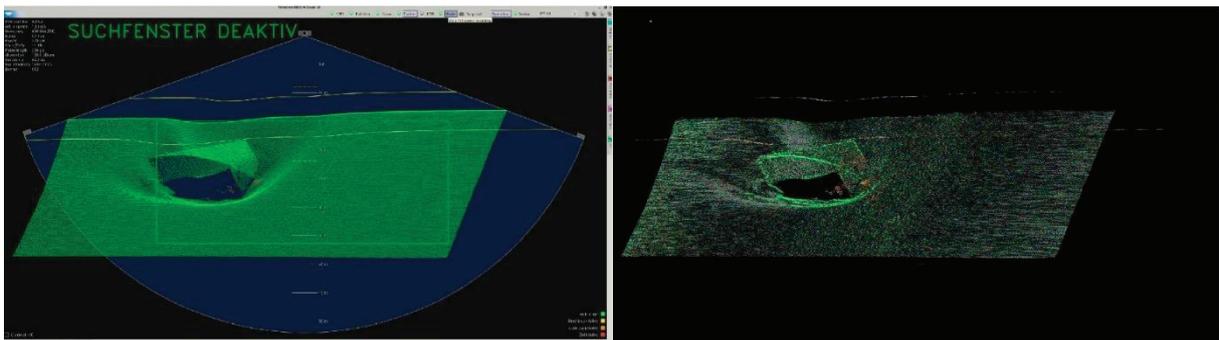


Abbildung 17: Originalaufnahme (links) und Differenz von zwei Bildfolgen der Originalaufnahme (rechts) bei beweglichen Aufnahmestandpunkt, (BSH, 2020)

Unterschiedliche Funktionen und Konfigurationen, die im weiteren Verlauf erklärt werden, können diese Problematik teilweise beheben.

KAPITEL 5

5 Implementierung

In diesem Kapitel werden die entwickelte Auswertungssoftware, ihre Funktionsweise und ihr Aufbau vorgestellt. Die dafür verwendeten Abbildungen sind Auszüge aus der Software und bedürfen daher keinen Quellverweis. Die Software basiert zum Teil auf bereits bestehende Programme, wobei die hier verwendete Version um einige Funktionen erweitert worden ist. Auf eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) für eine komfortable Bedienung wurde vorerst verzichtet, da sie für das Ziel der Arbeit keine Bewandnis hat.

5.1 Übersicht

Grundsätzlich ist der Aufbau dieser Software zur Detektion von Unterwasserobjekten in mehreren Schritten zu unterteilen:

- Einlesen der Daten
- Extraktion der Frames
- Editierung der einzelnen Frames
- Extraktion der Objekte
- Markierung der Objekte

5.2 Software

Die Realisierung zur Detektion von Unterwasserobjekten erfolgt mit einer Open Source Computer Vision Library (OpenCV). Dabei handelt es sich um eine plattformübergreifende und quelloffene Programmibibliothek für verschiedene Zwecke wie maschinelles Lernen, Computer Vision, Algorithmen, Videoerfassung oder auch Bildbearbeitung. Die Verantwortlichen des OpenCV Teams geben an, dass mit über 2.500 frei verfügbaren optimierten Algorithmen sich unter anderem Gesichter erkennen, 3D-Modelle von Objekten extrahieren oder auch bewegliche Objekte verfolgen und klassifizieren lassen. Durch das Verbinden einzelner Funktionen der Library mit eigens programmierten Ergänzungen kann die gewünschte Funktionalität erreicht werden. OpenCV wurde in C++ geschrieben, verfügt aber auch über andere Programmiersprachen wie Python oder Java. Es unterstützt Windows, Linux, Android und Mac OS und ist damit fast überall einsetzbar (OpenCV team, 2022).

5.2.1 Einlesen und initialisieren der Videosequenz

Da OpenCV vorrangig Forschungsprojekte unterstützen soll, ist OpenCV für eine Videoverarbeitung nicht optimiert. Es stellt jedoch eine Programmierschnittstelle (Application

Programming Interface, kurz API) namens *VideoCapture()* zum Arbeiten mit Videosequenzen bereit. Durch einen Satz aus Befehlen, Funktionen und Protokollen werden die Frames eines Videos extrahiert. Sie können dann mit Algorithmen bearbeitet werden und die Ergebnisse lassen sich in einem Fenster anzeigen. Die einzelnen Frames dienen als Bildmaterial für die weitere Verarbeitung und Analyse.

Der erste Schritt zum Lesen einer Videosequenz besteht darin, ein *VideoCaptureObject* zu erstellen.

```
48 //video capture object
49 VideoCapture capture;
50 while(1){
51 //Öffnen der Videodatei in einer Schleife
52 capture.open("C://opencvProjTH2021//videos//wreck.mp4");
53 if(!capture.isOpened()){
54     cout<<"Keine Videodatei vorhanden\n";
55     return;
```

Zurück erhält man ein Tupel – also einen Datensatz, der die Lesbarkeit der Datei überprüft und das zurückgegebene Bild verwendet. Besteht eine Fehlfunktion, wird eine Fehlermeldung auf der Konsole ausgegeben, die Software beendet und ein Systemabsturz vermieden.

Sind die Daten lesbar, können im zweiten Schritt die einzelnen Frames editiert werden. Da die Funktionsweise des hier verwendeten Algorithmus auf einem Vergleich zwei aufeinander folgender Frames beruht, müssen pro Prozessdurchlauf auch zwei Frames zur gleichen Zeit bearbeitet werden.

```
64 while(capture.get(CAP_PROP_POS_FRAMES)<capture.get(CAP_PROP_FRAME_COUNT)-1)
65 {
66 //Öffnen von 2 aufeinanderfolgenden Frames
67 capture.read(frame1);
68 capture.read(frame2);
```

5.2.2 Graustufenbild

Zur Weiterverarbeitung der Frames ist die Trennung der Informationen eines einzelnen Pixels in drei Farbkanäle (Blau, Grün, Rot (BGR)) nicht erforderlich und würde zu viel Rechenkapazität binden. Zwar kann eine große Menge an Informationen dargestellt werden, die Software aber ist auf diese nicht angewiesen, um die Aufgabenstellung zu erfüllen. Daher ist es sinnvoll, eine Darstellung zu finden, die nur einen einzigen Integer-Wert je Pixel verwendet, und dennoch genug Informationen enthält, graduelle Unterschiede zu erkennen. Hierfür werden sogenannte Graustufenbilder über die Funktion *cvtColor()* erzeugt.

```
69  
70  
71
```

```
//Reduzierung der Farbkanäle BGR auf Grau  
cvtColor(frame1,grayImage1,COLOR_BGR2GRAY);  
cvtColor(frame2,grayImage2,COLOR_BGR2GRAY);
```

Mit unterschiedlichen Verfahren abhängig der Anwendung können die drei Farbkanäle Blau, Grün und Rot eines Pixels zu einem Grauwert zusammengefasst werden. Die einfachste Methode ist die Bildung des Mittelwertes mit gleichgewichteten Anteilen aller drei Kanäle. Etwas aufwändiger ist die Vorgehensweise, bei der die erhöhte Empfindlichkeit des menschlichen Auges auf die Farbe Grün berücksichtigt wird. Man spricht hier von einem gewichteten Mittel mit erhöhtem Grünanteil. Die hier angeführten Faktoren basieren auf einen frei verfügbaren Grauwert-Rechner aus dem Internet und können variieren.

1. Mittelwertbildung mit gleicher Gewichtung:

$$\text{Grauwert}(\text{Pixel}) = \frac{\text{Pixel}.B + \text{Pixel}.G + \text{Pixel}.R}{3}$$

2. Mittelwertbildung mit erhöhter Gewichtung auf Grün:

$$\text{Grauwert}(\text{Pixel}) = 0.114 * \text{Pixel}.B + 0.587 * \text{Pixel}.G + 0.299 * \text{Pixel}.R$$

Die Unterschiede beider Verfahren sind in vielen 8-bit Bildern kaum zu erkennen. Die Ursache liegt hauptsächlich an der verfügbaren Anzahl von maximal 256 unterschiedlichen Grauwerten, wobei 0 als minimaler Wert sich Schwarz, 255 als maximaler Wert sich Weiß darstellt. Für eine weitere Bearbeitung – insbesondere für diese Arbeit – ist es jedoch nur von Bedeutung, dass die Objekte weiterhin deutlich genug zu erkennen sind.

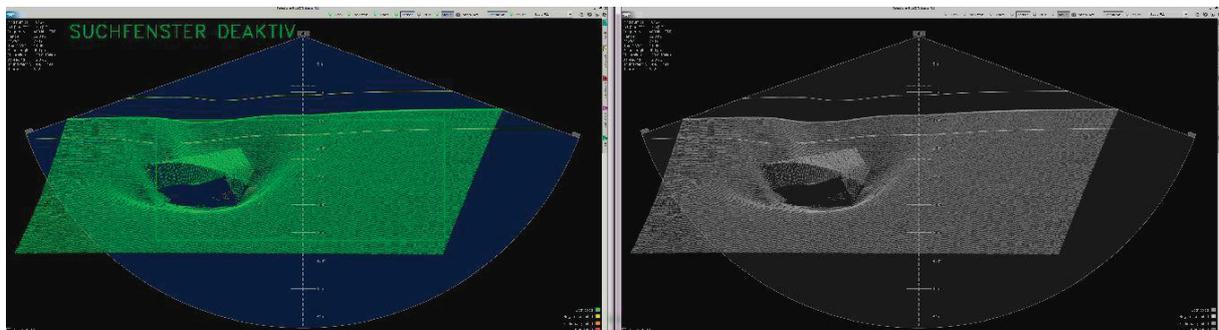


Abbildung 18: Erzeugung eines Graustufenbildes durch Mittelwertbildung mit gleicher Gewichtung

Trotz der Abnahme des Informationsgehaltes jedes einzelnen Pixels sind alle Konturen weiterhin erkennbar. Besonders klar zeichnen sich immer noch die Schattenwürfe einzelner Objekte ab. Eine Rückführung zu einem Farbbild ist aufgrund des Informationsverlustes aber nicht mehr möglich.

5.2.3 Differenzbildung

Im nächsten Schritt müssen unnötige Informationen von zwei aufeinanderfolgenden Frames eliminiert werden, um die notwendigen Informationen – also das Objekt zu extrahieren. Zur Anwendung kommt die Funktion `absdiff()`. Dabei wird ein absoluter Unterschied zwischen den Pixeln ermittelt, indem die Grauwerte voneinander subtrahiert werden.

```
72 | //Differenzbild 2 aufeinanderfolgenden Frames (Grau)
73 | absdiff(grayImage1,grayImage2,differenceImage);
```

Hintergrund ist die Unterscheidung von gleichbleibenden Grauwerten und sich ändernden Grauwerten. Als Ergebnis erhält man eine Abbildung, in der statische Bereiche den Grauwert 0, dynamische Bereiche die Grauwerte zwischen 1 und 255 bekommen. In der folgenden Abbildung ist die Vorgehensweise der Methode vereinfacht dargestellt:

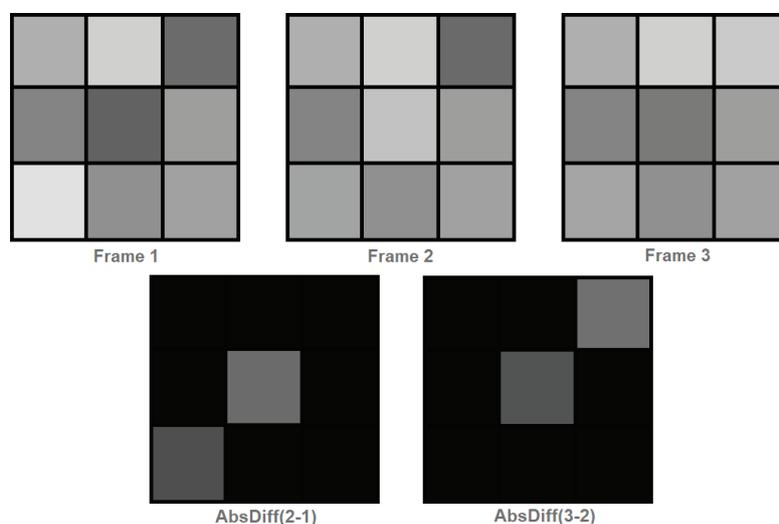


Abbildung 19: Darstellung der Subtraktion von Grauwerten innerhalb von zwei aufeinanderfolgenden Frames (Eigene Darstellung)

Im Kapitel 4.3 wurde schon kurz erwähnt, dass sich auf den MBES Ansichten im wesentlichen Suchbereich keine statischen Bereiche befinden. Die UWHs bewegen sich auf dem Bildschirm mit der gleichen Geschwindigkeit infolge der eigentlichen Schiffsbewegungsrichtung, wie der

Gewässergrund. Relativ zueinander befinden sie sich in Ruhe und können daher schwer voneinander unterschieden werden. Die Methode des absoluten Unterschiedes der Pixel liefert trotzdem vielversprechende Ergebnisse, da die Unterwasserobjekte mit deren Kanten und Schatten intensivere Änderungen der Grauwerte herbeiführen als ein nahezu homogener Gewässergrund. Darunter ist zu verstehen, dass deutliche Unterschiede zwischen zwei Pixel in zwei aufeinanderfolgenden Bildern in der absoluten Differenz einen höheren Grauwert erzeugen und damit heller dargestellt werden als zwei Pixel, die annähernd den gleichen Grauwert besitzen. Dadurch werden die Bereiche, in denen keine Objekte sind, dunkler abgebildet. Anschließend können die helleren Bereiche durch eine weitere Funktion extrahiert werden.

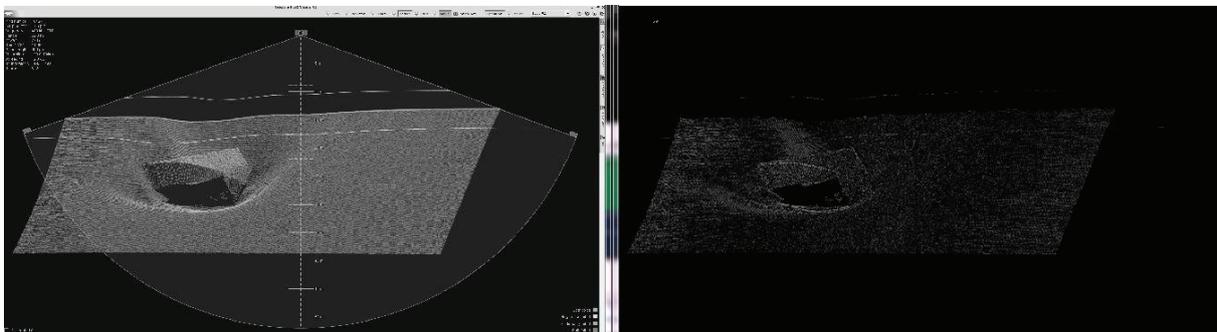


Abbildung 20: Graustufenbild (links); Differenzbild aus zwei aufeinanderfolgenden Frames (rechts)

5.2.4 Thresholding - Binärbild

Im folgenden Schritt wird das Differenzbild durch Verwendung von Grenzwerten (Threshold Values) in verschiedene Bereiche gegliedert. Hier erfolgt die Annahme, dass sich das gesuchte Objekt vom Rest des Bildes in irgendeiner Art unterscheidet. Die Wahl fiel auf ein einfaches und flächendeckendes Verfahren, welches die Helligkeit der Pixel – also den Grauwert als Kriterium verwendet.

```
76 //Binärbild 1 mit Grenzwert g=52
77 threshold(differenceImage,thresholdImage1,SENSITIVITY_VALUE,255,THRESH_BINARY);
```

Setzt man über die Funktion *threshold()* einen Grenzwert *g* fest, so werden alle Grauwerte, die kleiner als *g* sind, zu Grauwert 0; die größer als *g* sind, zu Grauwert 255. Man spricht dabei vom binären Schwellenwertverfahren – einem sogenannten pixelorientierten Segmentierungsverfahren. Es entsteht eine Abbildung, dessen Pixelwerte entweder 0 (schwarz) oder 255 (weiß) sind.

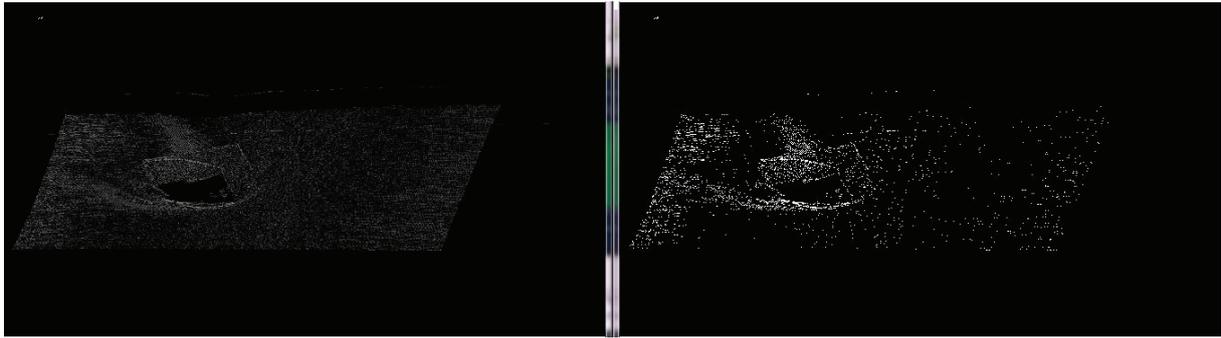


Abbildung 21: Differenzbild (links); Binärbild durch Thresholding (rechts)

$$\text{Grauwert}(\text{Pixel}) = \begin{cases} 0 & \text{wenn Pixel}.G < g \\ 1 & \text{wenn Pixel}.G > g \end{cases}$$

Bei der Umwandlung eines Graustufenbildes muss je nach Anwendung der Schwellwert für die Klassifikation von Weiß oder Schwarz den vorherrschenden Umständen angepasst werden, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen. Setzt man den Wert zu niedrig an, werden Pixel zugeordnet, die nicht dem eigentlichen Objekt angehören. Wird der Wert zu hoch angesetzt, fallen kleinere und schlecht erkennbare Objekte aus der Detektion. Dieser Effekt ist in der folgenden Abbildung nachgestellt:



Abbildung 22: Vergleich von Binärbildern generiert aus unterschiedlichen Schwellwerten; $g = 10$ (links); $g = 52$ (Mitte); $g = 100$ (rechts)

Das Ziel ist die optimale Isolation der Pixel eines Objektes zu den umliegenden Bereichen. Nach mehreren Versuchen hat sich der Grenzwert für die vorliegenden Fächerecholotaufzeichnungen im Bereich von $g = 52$ eingeppegelt. Auch hier entsteht nach der Bearbeitung ein hoher Informationsverlust. Die einst 8-Bit Darstellung geht über zu einer 2-Bit Darstellung und macht es für das menschliche Auge umständlich, Objekte zu erkennen geschweige denn zu identifizieren. Die Software aber muss diesen Weg gehen, um Objekte extrahieren und im Anschluss detektieren zu können.

5.2.5 Eingrenzung des Suchbereiches und Rauschreduzierung

Die Erstellung des Binärbildes erreicht in optimalen Fällen eine Extrahierung der Objektpixel. Aufgrund der sich relativ zum Schiff mitbewegenden Meeresbodenoberfläche entstehen aber auch weitere Bereiche oder einzelne Pixel, in denen eine Bewegung registriert wird. Besonders im Randbereich der Fächerecholotaufnahmen befinden sich Fehlinterpretationen aus sogenannten Artefakten. Sie entstehen aufgrund der flach auftreffenden Schallsignale am Ende beider Messbereiche und müssen eliminiert werden. Die Lösung findet sich in zwei Methoden.

5.2.5.1 Bounding Box

Bei der ersten Technik handelt es sich um die Einrichtung einer *Bounding Box*. Dieses Suchfenster kann sich gezielt auf Bereiche konzentrieren, in denen die Objekte mit hoher Wahrscheinlichkeit auftreten werden.

```
103 | //Suchfenster Bounding Box|
104 | putText(frame1, "SUCHFENSTER", Point(200,100), 2, 2, Scalar(0,255,0), 2);
105 | putText(frame1, "AKTIV", Point(753,100), 2, 2, Scalar(0,255,0), 2);
106 | rectangle(frame1, p2, p1, Scalar(0,255,0), 2, 8, 0);
```

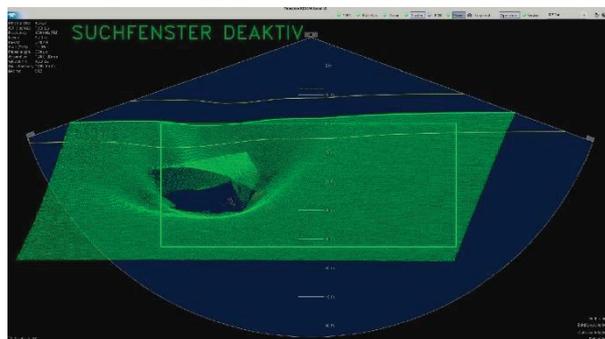


Abbildung 23: Darstellung des Suchbereiches (Grünes Rechteck)

Die hier gewählte *Bounding Box* dient nur der Präsentation. Sie kann jedoch der Form des Aufnahmestreifens angepasst werden, um den größtmöglichen Bereich zur Detektion abzudecken.

5.2.5.2 Rauschreduzierung

Bei der zweiten angewendeten Technik handelt es sich um das Glätten, auch Unschärfe genannt. Es ist eine der am häufigsten verwendeten Operationen in der Bildverarbeitung und besteht darin, das Rauschen im Bild zu reduzieren. Realisiert wird diese Technik über die

Umwandlung eines jeden Pixels in den Durchschnittswert seiner Nachbarn. Je mehr Nachbarn einbezogen werden, desto größer ist das Ausmaß der Unschärfe.

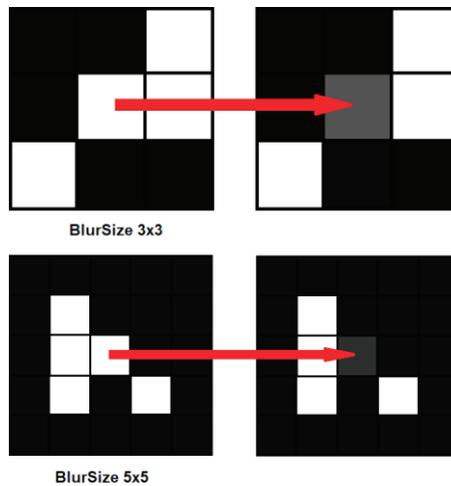


Abbildung 24: Vergleich des Glättens eines Pixels mit unterschiedlicher Anzahl an Nachbarn
(Eigene Darstellung)

Die Anzahl der Nachbarschaft kann individuell bestimmt werden, ebenso die Gewichtung (weit entfernte Pixel gehen nur zu geringem Anteil in die Mittelwertbildung ein), und ist wie das *Thresholding* auf den Anwendungsfall hin zu optimieren. An die Funktion *blur()* kann die *Blur_Size*, also die Anzahl der horizontalen und vertikalen Nachbarn übergeben werden.

```
81 | // //Rauschminimierung1 durch Glätten  
82 | blur(thresholdImage1,blurImage, cv::Size(BLUR_SIZE,BLUR_SIZE));
```

Durch das Aufweichen entsteht aus dem Binärbild wiederum eine 8-Bit Darstellung. Vereinzelt vorkommende weiße Pixel werden somit aufgrund ihrer in der Überzahl vorkommenden schwarzen Nachbarschaft stark eingraut. In den Bereichen, wo sich viele weiße Pixel und damit das Objekt befinden, wandeln sich die Grauwerte nur minimal um.

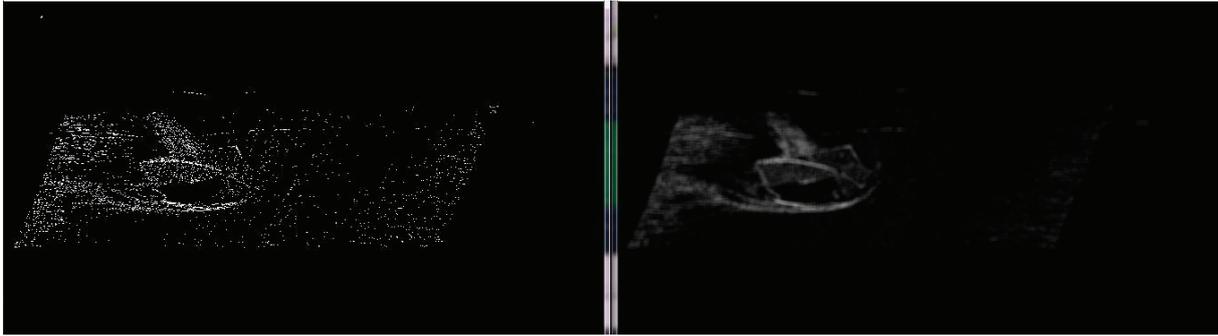


Abbildung 25: Glätten eines Binärbildes mit *Blur_Size* 20

Anschließend wird das geglättete Bild erneut in ein Binärbild umgewandelt. Auch hier müssen die Schwellwerte den Bedingungen angepasst werden, andernfalls können zu viele Informationen verloren gehen.

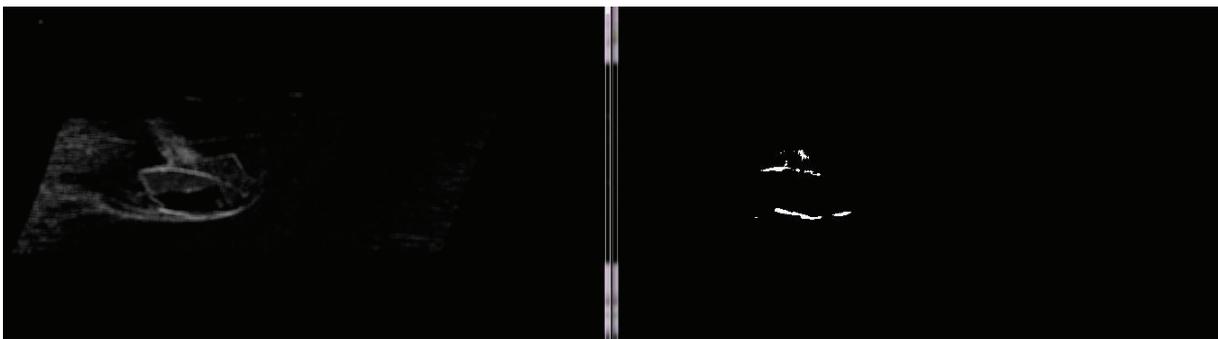


Abbildung 26: Geglättetes Bild (links); Binärbild (2) durch *Thresholding* (rechts)

Informationen zur Interpretierung des Objektes sind mithilfe dieser Abbildung nicht mehr vorhanden. Darauf wurde am Anfang dieser Arbeit hingewiesen. Das Ziel liegt einzig und allein in der Entwicklung einer Technik, Unterwasserobjekte zu detektieren und zu lokalisieren.

5.2.6 Merkmaldetektion

Verschiedene Algorithmen zur Merkmalerkennung helfen in der Bildverarbeitung bei der Suche von vorhandenen Mustern in einem Bild. Dabei werden auffällige Punkte gesucht, die Kanten, Ecken oder Konturen bilden. Durch Helligkeitsunterschiede zwischen benachbarten Pixeln können diese Punkte gefunden und weiterverarbeitet werden.

5.2.6.1 Kantendetektion

Eine Kante wird als Änderung der Grauwerte betrachtet, wobei gilt, je stärker die Änderung, desto höher die Kantenstärke. Ein oft verwendetes Schema zur Detektion von Kanten in der digitalen Bildverarbeitung ist der Canny-Algorithmus. Er gilt als sehr robust und baut sich mehrstufig auf. Es ist eine Kombination aus Filtering und Thresholding und setzt sich aus den einzelnen Stufen Glättung, Kantendetektion, Verdünnung und Schwellwertoperation zusammen. Als Resultat erhält man ein Bild, in dem lediglich Objektkanten vorhanden sind. Leider waren die Ergebnisse in Bezug auf die Fächerecholotdaten nicht erfolgsversprechend. Daher wurde diese Funktion nicht verwendet.

5.2.6.2 Konturendetektion

Eine Kontur besteht aus Kanten entlang einer Grenze und bildet den Umriss eines Objektes. Dieser Umriss hebt sich in der Regel vom Hintergrund ab und kann daher durch die Funktion *findContours()* in Bildern gefunden werden. Deutliche Ränder erleichtern dem Konturenerkennungsalgorithmus das Auffinden. Somit ist es wichtig, das Bild auf den Algorithmus vorzubereiten. Den größten Erfolg verspricht dabei ein Binärbild, da in diesem Schwarzweiß-Bild die interessierenden Objekte weiß hervorgehoben, während die schwarzen Pixel mit dem Wert 0 als Hintergrundpixel ignoriert werden.

```
185     vector< vector<Point> > contours;  
186     vector<Vec4i> hierarchy;  
187     findContours(contourImage,contours,hierarchy,RETR_TREE,CHAIN_APPROX_SIMPLE,cv::Point(0,0) );
```

Gesucht werden sämtliche äußere Konturen, die der Algorithmus als selbständig erkennt. Das bedeutet zum einen, dass mehrere Objekte gleichzeitig lokalisiert werden können. Sind Konturen jedoch aufgerissen, da nicht alle Kanten deutlich erkannt worden sind, wird ein Objekt in mehrere Segmente geteilt. Die mehrfache Unterdrückung zahlreicher Pixel während der Editierung zur Selektierung der Objekte haben genau diese Situation verursacht. Objektpixel mit zu geringer Intensität sind verloren gegangen und fehlen bei der Darstellung des gesamten Objektes und der Herstellung einer vollständigen Kontur (vgl. Abbildung 27: Binärbild vom Objekt bestehend aus vielen Segmenten (links) mit Vergrößerung; Radiale Vergrößerung der Konturen zur Minimierung der Anzahl an Konturen (rechts) mit Vergrößerung).

```
193     //Radiale Vergrößerung der Konturen  
194     convexHull(Mat(contours[i]),hull[i]);  
195     drawContours(hullImage,hull,i,Scalar(255,255,255),FILLED);  
196     drawContours(hullImage,hull,i,Scalar(255,255,255),130);
```

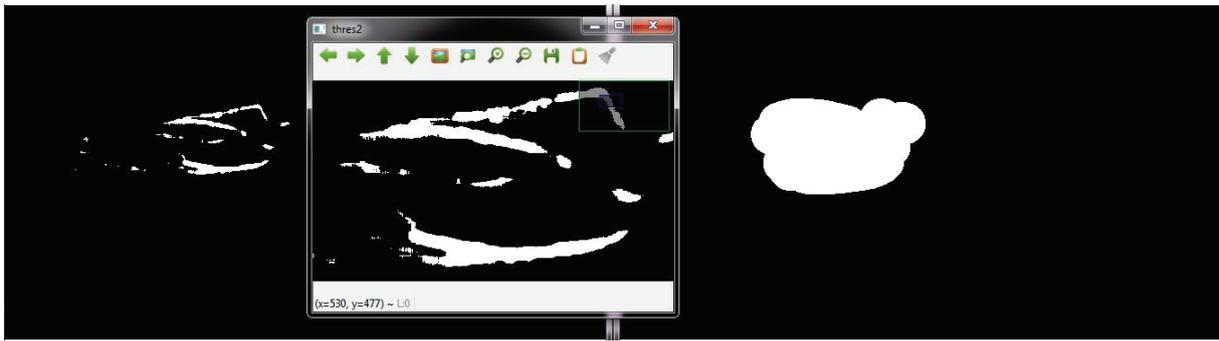


Abbildung 27: Binärbild vom Objekt bestehend aus vielen Segmenten (links) mit Vergrößerung; Radiale Vergrößerung der Konturen zur Minimierung der Anzahl an Konturen (rechts)

Um diesen Umstand entgegenzuwirken, wurde eine Funktion hinzugefügt. Die Konturen in den finalen Binärbildern (vgl. Abbildung 26: Geglättetes Bild (links); Binärbild (2) durch Thresholding (rechts)) wurden radial vergrößert. Dadurch fügen sich einzeln detektierte Konturen zu einer Fläche zusammen. Aus vielen kleinen Segmenten wird wieder ein Objekt. Die Form repräsentiert das Unterwasserobjekt in keiner Art. Da das Objekt aber lediglich markiert werden soll, beeinträchtigt diese Funktion in keiner Weise das Ziel der Arbeit – die Detektion von Unterwasserhindernissen.

Im letzten Schritt wird das über den Verfahrensablauf selektierte Objekt im Originalframe innerhalb des Suchfensters durch eine Bounding Box visuell markiert.

```

210   for(size_t i=0; i < contours.size();i++)
211   {
212       approxPolyDP(Mat(contours[i]), contours_poly[i], 3, true);
213       boundRect[i] = boundingRect(Mat(contours_poly[i]));
214       //Zeichnen der Rechtecke um gefundene Objekte im Suchraum
215       rectangle(frame1, boundRect[i].br(),boundRect[i].tl(),Scalar(0,0,255), 2);
  
```

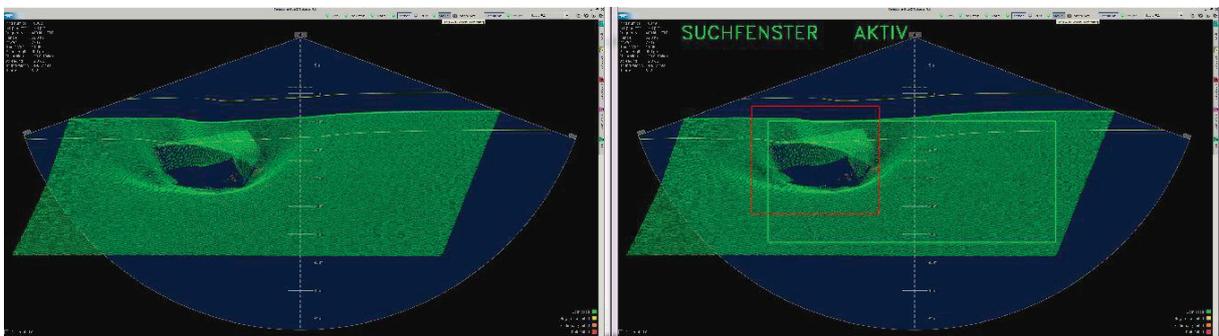


Abbildung 28: Originalframe (links); Markierung eines Objektes im Originalframe (rechts)

KAPITEL 6

6 Auswertung

Das Ziel der Auswertung ist, die eingesetzte Methode zur Detektion eines Unterwasserobjekts und das Endergebnis zu bewerten. Hierzu wird die beschriebene Methode auf unterschiedlich verfügbare Fächerecholotaufnahmen getestet und beurteilt.

Anschließend werden erkannte Fehlerquellen dargelegt und ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen gegeben.

6.1 Bewertung der Methode und der Ergebnisse

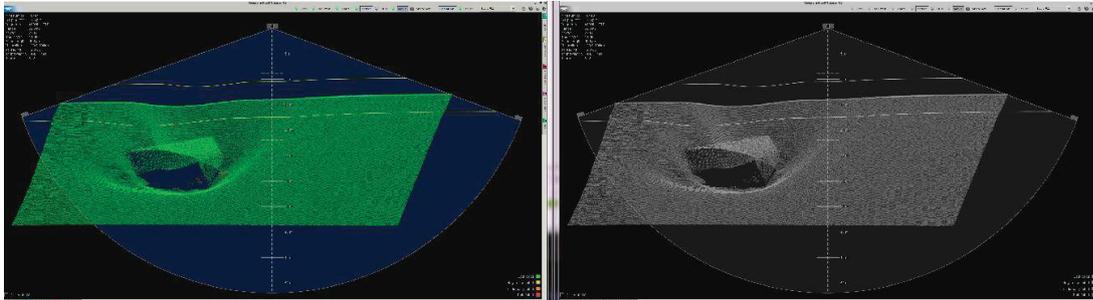
Für eine erfolgreiche Objekterkennung in visualisierten Fächerecholotaufnahmen wurde die Methode der Hintergrundsubtraktion angewendet. Der Anwendungsschwerpunkt liegt in der Extraktion erkennbarer Unterwasserobjekte, in dem unnötige Bildbereiche herausgefiltert werden. Dadurch minimiert sich die Anzahl der Fehler, da weniger Objekte existieren, die falsch erkannt werden können.

Die Methode der Hintergrundsubtraktion führt jedoch nicht allein zum gewünschten Ergebnis – der Detektion von Unterwasserobjekten. Vielmehr ist die Anwendung ein Teil einer Kette an Funktionen, die miteinander durch unterschiedliche Kombinationen und verschiedenen Schwellwerten und Parametern mehrere Ergebnisse zulassen. Hier liegt es am Entwickler, welche Anwendungen in welcher Reihenfolge eingesetzt werden. Entscheidend dafür ist die Beachtung vorherrschender Einflüsse wie zum Beispiel die Oberflächenform des Gewässergrundes oder die Erkennbarkeit des UWHs gegenüber seiner Umgebung. Diese Einflüsse trugen zur Entscheidung bei, in welcher Anordnung der hier verwendete Algorithmus das zur Verfügung gestellte Datenmaterial untersucht.

Für die Untersuchung standen mehrere Videosequenzen von Unterwasseraufnahmen zur Verfügung, wobei innerhalb einer jeden Sequenz mindestens ein Unterwasserobjekt abgebildet wird. Die Art, die Anzahl und die Größe der Unterwasserobjekte sind unterschiedlich gewählt, um ein großes Spektrum abzudecken. Die Oberflächenstruktur des Meeresboden ist in den Aufnahmen teilweise unterschiedlich, spiegelt aber nicht die Vielfalt möglicher Strukturen unter Wasser wider. Daher konnte der Algorithmus bei erheblich sich verändernden Oberflächenstrukturen nicht eingesetzt und geprüft werden. Der Fokus dieser Arbeit liegt mehr auf das Erkennen von UWHs. Bei den Objekten handelt es sich um einen Frachtcontainer, ein Segelschiff, einen Ankerstock, einen Stein, ein U-Boot und einen Frachter.

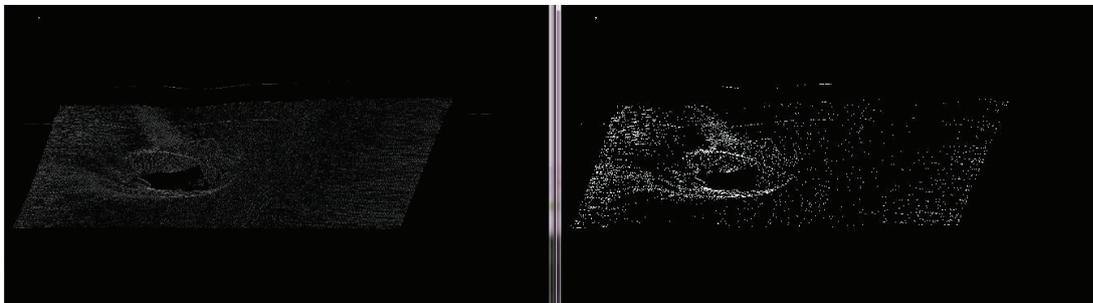
6.1.1 Übersicht

Der detaillierte Verfahrensablauf des Algorithmus vom Einlesen bis zum detektierten Objekt ist dem Kapitel 5 zu entnehmen. Zur besseren Übersicht wird dieser Ablauf hier nochmals veranschaulicht:



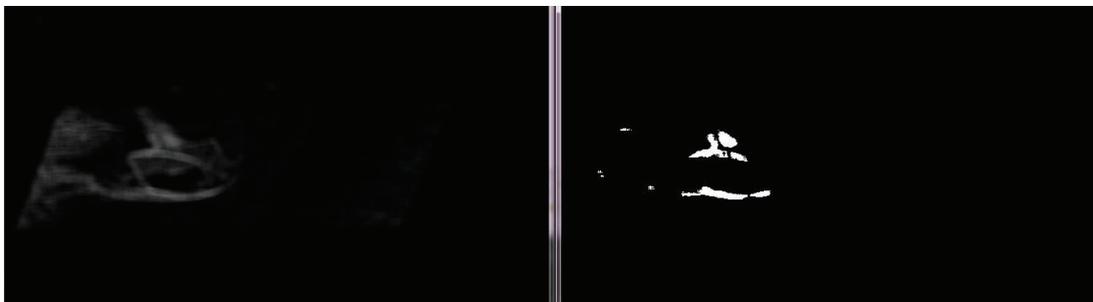
Originalframe

Graustufenbild



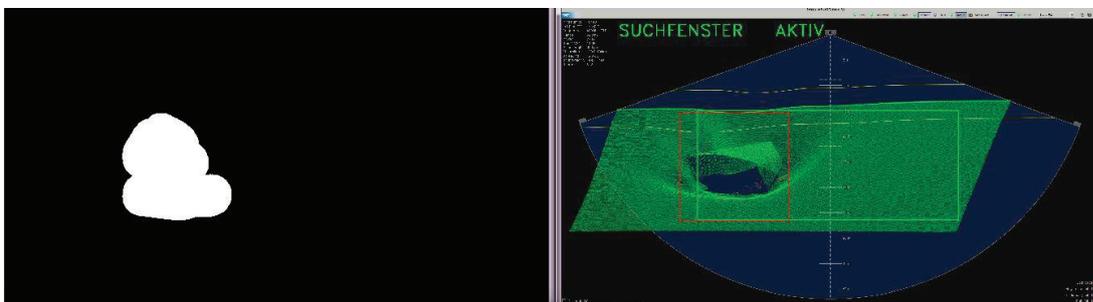
Differenzbild

Binärbild (1)



Geglättetes Bild

Binärbild (2)

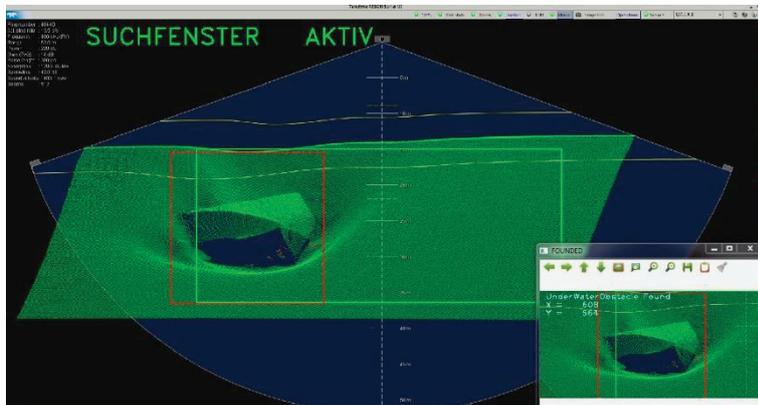


Konturenzusammenführung

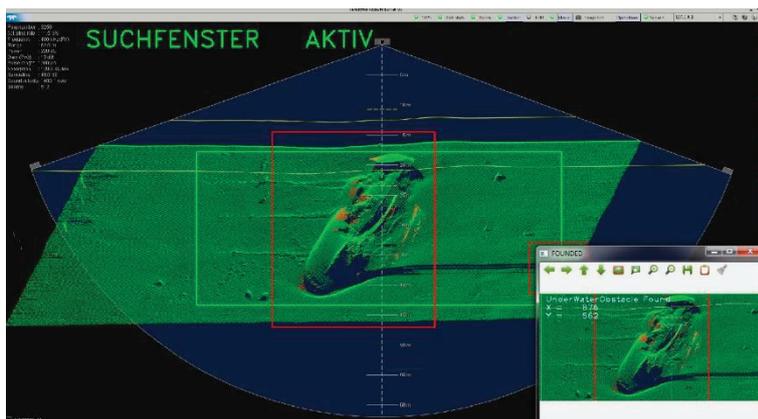
Markiertes Objekt im Originalframe

Die verwendete Anordnung der Funktionen zur Editierung der einzelnen Frames hat sich als ergebnisreich herausgestellt. Mit geringfügigen Anpassungen der Schwellwerte wurden in allen Aufnahmen Unterwasserobjekte detektiert und markiert, während Fehldetektionen nur geringfügig vorgekommen sind.

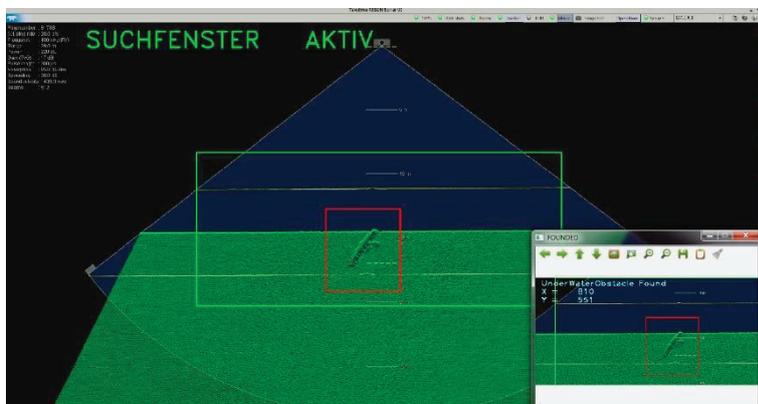
Die Einzelergebnisse der Aufnahmen sind nachfolgend dargestellt:



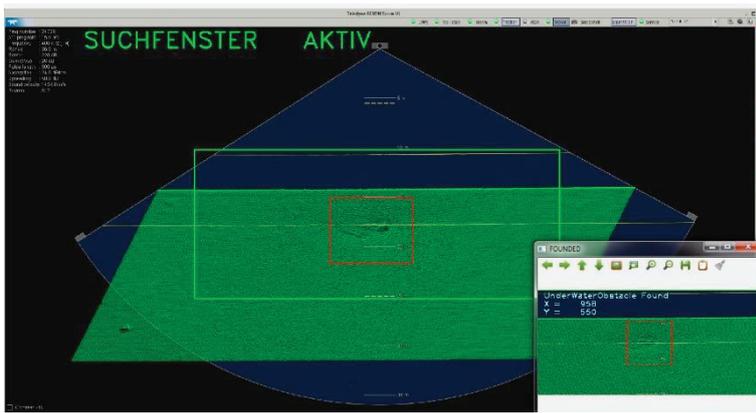
FÄCHERECHOLOTAUFNAHME: DETEKTION EINES FRACHTCONTAINERS



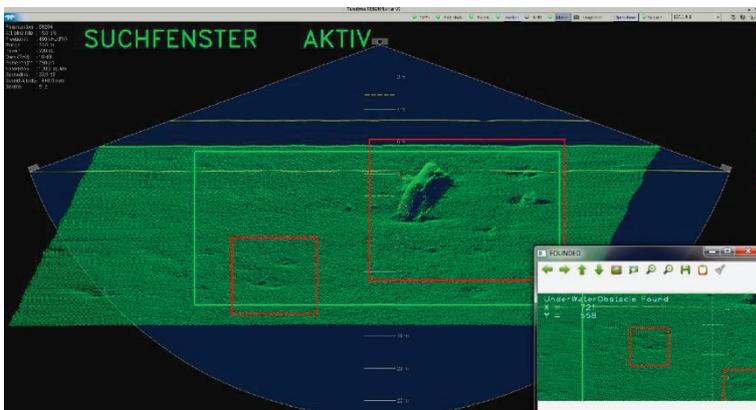
FÄCHERECHOLOTAUFNAHME: DETEKTION EINES SEGELSCHIFFES



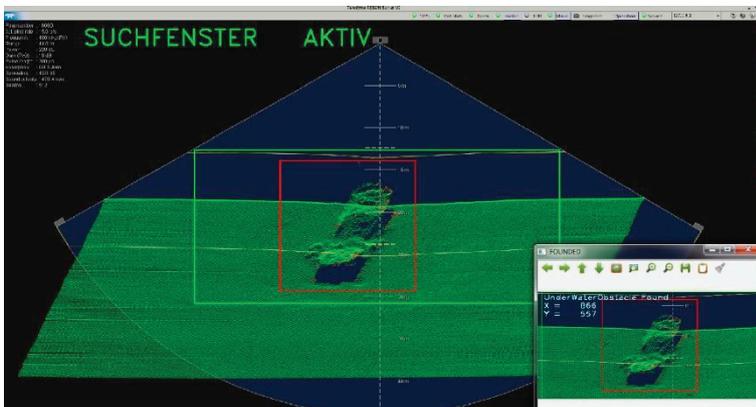
FÄCHERECHOLOTAUFNAHME: DETEKTION EINES ANKERSTOCKS



FÄCHERECHOLOTAUFNAHME: DETEKTION EINES STEINS



FÄCHERECHOLOTAUFNAHME: DETEKTION EINES U-BOOTS



FÄCHERECHOLOTAUFNAHME: DETEKTION EINES FRACHTERS

Die verwendeten Unterwasseraufnahmen spiegeln nur einen kleinen Teil der entstehenden Datenmenge während einer Vermessung wider. Sie beziehen sich auf entscheidende Momente, in denen ein Objekt aufgefunden wurde. Für die Erstellung einer Suchmethode sind die Aufnahmen ausreichend. Die Zuverlässigkeit und Funktionalität können anhand des

verfügbaren Datenmaterials geprüft werden. Feinabstimmungen und Fehlerbehebungen können jedoch nur unter Einbeziehung vieler Datensätze erfolgen.

6.2 Fehleranalyse

Die Funktionalität wurde im vorherigen Abschnitt unter Verwendung der verfügbaren Unterwasseraufnahmen geprüft, dargestellt und hat sich als ergebnisreich erwiesen. Trotzdem hat die Anordnung der verwendeten Funktionen Probleme hervorgerufen.

Allem voran ist der zum Teil hohe Informationsverlust nach der Hintergrundsubtraktion. Bildbereiche, die eine homogene Struktur aufweisen, werden eliminiert und können nicht rekonstruiert werden. Diesen Verlust erleiden jedoch nicht nur Bildbereiche, die herausgefiltert werden sollen, sondern auch Segmente der Unterwasserobjekte. Besonders große Flächen wie bei einer Frachtcontainerwand (vgl. Abbildung 20: Graustufenbild (links); Differenzbild aus zwei aufeinanderfolgenden Frames (rechts)**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) erzeugen homogene Bereiche und lassen sich nicht von unnötigen Bereichen unterscheiden. Die Reduzierung der Objektpixel führt zur Teilung zusammenhängender Konturen, erschwert eine Deutung des Objektes und kann in bestimmten Fällen das Objekt gänzlich eliminieren. Eine Fehlerbehebung kann auf zwei Wegen erfolgen: Entweder überbrückt man die Lücken in Kanten durch Konturvervollständigungsmechanismen oder man passt die Schwellwerte den Aufnahmen an, um möglichst viele Objektpixel zu erhalten.

Mit der Anpassung der Schwellwerte und der Zunahme an Objektpixel erhöht man auch die Anzahl unnötiger Bildpixel. Bei einer homogenen Meeresgrundoberfläche können diese partiell auftretenden Pixel durch die Rauschreduzierung eliminiert werden. Enthält die Oberfläche jedoch gröbere Strukturen, werden diese vom Algorithmus erfasst und als mögliches UWH detektiert. Zur Vermeidung der fehlinterpretierten Objekte müssten die Schwellwerte permanent angepasst werden.

Im vorliegenden Datenmaterial entstanden die verwendeten Schwellwerte aus mehrfachen Versuchen und dem Vergleich der Ergebnisse. Aus diesen generierte sich ein Mittelwert, der für alle Aufnahmen ausreichende, aber nicht optimale Ergebnisse liefert. Die richtige Wahl der Schwellwerte ist jedoch für das Ergebnis entscheidend. Daher wäre es vorteilhafter, die Werte automatisch bestimmen zu lassen, da während der Detektion keine Zeit für eine interaktive Eingabe von Befehlen bleibt. Eine Lösung könnte eine automatisierte Histogrammanalyse sein. Mit der Annahme, dass sich Objektpunkte stark vom Hintergrund unterscheiden, so werden im Histogramm Anhäufungen bei helleren und dunkleren Grauwerten auftreten. Die dazwischen liegende Senke kann als Näherung für den gesuchten Schwellwert dienen.

KAPITEL 7

7 Fazit und Ausblick

Die Überwachung visualisierter Echolotdaten ist an Bord essenziell für die unmittelbare Beurteilung der Meeresbodenoberflächenbeschaffenheit und den darauf befindlichen Objekten und nur ein kleiner Bestandteil der komplexen Vorgänge während einer Vermessung oder einer Objektsuche. Zusätzlich müssen parallel alle erforderlichen Parameter – sei es zum Beispiel die Höhengenaugigkeit oder die Wasserschallgeschwindigkeit – beobachtet und bei Veränderungen oder Widersprüchen erkannt und behoben werden. Diese Tätigkeiten werden unter Berücksichtigung einiger Hilfsfunktionen vom Menschen selbst ausgeführt. Daher spricht viel für eine automatisierte Überwachung, die trotz alledem vom Menschen weiterhin kontrolliert werden muss. Der hier entwickelte Suchalgorithmus kann ein Teil dieser Automation werden.

In der vorliegenden Arbeit wird eine Methode zur automatischen Detektion von Unterwasserobjekten vorgestellt. Dazu wurden die Grundlagen der Seevermessung erörtert. Diese Grundlagen sind die Basis für die Erhebung sämtlicher Daten zur Erstellung einer visualisierten Übersicht der topografischen Begebenheiten am Meeresboden mit allen darauf befindlichen Objekten. Ausgehend von dieser Darstellung wird über einen zum Teil eigens entwickelten Algorithmus versucht, Objekte vom Meeresboden zu separieren. Dazu werden die Bildregionen aufgegliedert und analysiert. Als Ergebnis wird das Objekt in der Originalaufnahme kenntlich gemacht und kann für weitere Aufgaben verwendet werden.

Obwohl die Techniken zur Realisierung eines solchen Algorithmus schon jahrelang existieren, sind die erschwerten Bedingungen und der Mangel an öffentlich zugänglichen Material an Sonaraufnahmen ausschlaggebend für die langsame Entwicklung im Feld der Hydrographie. Die Tatsache, dass hydroakustische Aufnahmen selbst für Experten mit jahrelanger Erfahrung häufig schwer zu deuten sind, zeigt, dass noch viel Arbeit nötig ist.

Dem Ziel, Unterwasserobjekte in hydroakustischen Datensätzen detektieren zu können, ist man mit dem hier vorgestellten Verfahrensablauf jedoch einen Schritt nähergekommen. Die angewendeten Verfahren können als Grundlagen für nachfolgende Algorithmen dienen. Um unter realen Bedingungen Bestand zu haben, müssen aber weitere Aufnahmen untersucht und die Verfahrensweise angepasst werden. Sind diese Schwierigkeiten behoben, können weitere Funktionen in Zukunft einfließen. Dabei sollen die Objekte nicht nur lokalisiert werden, sondern auch interpretiert werden können. Hier bietet das Feld des maschinellen Lernens zahlreiche Möglichkeiten. Über verschiedene Algorithmen wie der Hough Transformation oder

dem Waltz Algorithmus können Objekte anhand ihrer geometrischen Form erkannt und gedeutet werden.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass der Anwendungsbereich der Objekterkennung in der Hydrographie noch viele Innovationsmöglichkeiten bietet. Vor allem die Interpretation von Unterwasserobjekten stellt Experten auch in Zukunft noch vor großen Herausforderungen.

Literaturverzeichnis

- AdV. 2021.** <https://sapos.de/>. [Online] Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, 2021.
- Benner, Katrin. 2018.** <https://www.bsh.de>. [Online] BSH, Stabsstelle, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Internet, 2018.
- BSH. 2020.** Eigene Aufnahmen. 2020.
- **2021.** Eigene Aufnahmen. 2021.
- **2016.** <https://www.BSH.de>. [Online] 2016.
- Bundesamt für Strahlenschutz. 2021.** <https://www.bfs.de/DE/themen/opt/sichtbares-licht/einfuehrung/einfuehrung.html>. [Online] 2021.
- Burmester, Sören. 2013.** <https://dicht-am-fisch.de/ttk/echolot-fishfinder-angeln-gps-funk>. [Online] 2013.
- EvoLogics. 2021.** [Online] 2021. <https://de.steadforce.com/customer-cases/real-time-sonar-object-detection>.
- Gedes, F. und Ludwig, S. 2014.** <https://docplayer.org/32862044-Besonderheiten-der-schallausbreitung-in-der-ostsee>. [Online] 2014.
- Hoffmann, Dipl. - Ing. Klaus. 2002.** *Fächerlot- und Sonarsysteme*. s.l. : Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, 2002.
- IHO. 2020.** *Standards for Hydrographic Surveys*. Special Publication. No. 44. s.l. : Published by the International Hydrographic Bureau Monaco, 2020.
- Jensen, Laura. 2015.**
<https://www.awi.de/forschung/geowissenschaften/geophysik/methoden-und-werkzeuge/faecherecholot>. [Online] 2015.
- Knickmeyer, E. T. 2003.** *Einführung in die Navigation für Geoinformatiker:innen und Vermesser:innen*. Neubrandenburg : s.n., 2003.
- Marquez, Tino. 2016.** <https://unterwasser-fotografieren.de>. [Online] 2016.
- Münster, Ulrich. 2017.** <https://m-e-g.de>. [Online] 2017.
- Nistad, J.-G. 2021.** *Inertialnavigation*. Rostock : s.n., 2021.
- OpenCV team. 2022.** opencv.org. [Online] 2022. <https://opencv.org/>.

R2Sonic. 2022. R2Sonic - Our Vision is sound. [Online] 2022.
<https://www.r2sonic.com/interferometric-side-scan-sonar-vs-mbes/>.

Schüttler, Tobias. 2014. *Satellitenavigation - Wie sie funktioniert und wie sie unseren Alltag beeinflusst.* s.l. : Springer Vieweg, 2014.

Teledyne RESON B.V. 2015. *Teledyne PDS - User Manual.* Rotterdam : s.n., 2015.

VDV. 2021. <https://www.vdv-online.de/service/was-ist-vermessung.html>. [Online] VDV, 2021.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Textpassagen, die wörtlich oder dem Sinn nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Lobbe, 08.02.2022

Ort, Datum

Unterschrift

Anhang

mainwindow.cpp

```
#include "mainwindow.h"
#include "ui_mainwindow.h"
#include <QMainWindow>
#include "opencv2/imgcodecs.hpp"
#include "opencv2/imgproc.hpp"
#include "opencv2/videoio.hpp"
#include <opencv2/highgui.hpp>
#include <opencv2/video.hpp>
#include <iostream>
#include <sstream>
using namespace std;
using namespace cv;

MainWindow::MainWindow(QWidget *parent)
    : QMainWindow(parent)
    , ui(new Ui::MainWindow)
{
    ui->setupUi(this);
    motiondetect();
}

MainWindow::~MainWindow()
{
    delete ui;
}

void MainWindow::motiondetect()
{
    setWindowTitle("UWH EINSTELLUNGEN");
    // sResultString = "Text at Start";
    // ui>label_mytext>setText(sResultString);
    // Einstellungen
        //Sensitivität
        const static int SENSITIVITY_VALUE = 52;
        //size of blur
        const static int BLUR_SIZE = 28;
        //Tracking On/Off
        bool trackingEnabled = false;
        //Pause
        bool pause = false;
        //Variablen
        Mat frame1, frame2;
        Mat grayImage1, grayImage2, edgeImage, differenceImage,
differenceImage1,
        thresholdImage, thresholdImage1, thresholdImage2, blurImage;
        Mat contourImage, croppedImage, hullImage;

    //video capture object
    VideoCapture capture;
    while(1){
        //Öffnen der Videodatei in einer Schleife
        // capture.open("C://opencvProjTH2021//videos//container.mp4");
        // capture.open("C://opencvProjTH2021//videos//sailing_vessel.mp4");
        // capture.open("C://opencvProjTH2021//videos//stick.mp4");
        // capture.open("C://opencvProjTH2021//videos//stone_small.mp4");
        // capture.open("C://opencvProjTH2021//videos//submarine.mp4");
        // capture.open("C://opencvProjTH2021//videos//wreck.mp4");
    }
}
```

```

        if(!capture.isOpened()){
            cout<<"Keine Videodatei vorhanden\n";
            return;
        }
        while(capture.get(CAP_PROP_POS_FRAMES)<capture.get(CAP_PROP_FRAME_CO
UNT)-1)
        {
            //Öffnen von 2 aufeinanderfolgenden Frames
            capture.read(frame1);
            capture.read(frame2);
            //Reduzierung der Farbkanäle BGR auf Grau
            cvtColor(frame1,grayImage1,COLOR_BGR2GRAY);
            cvtColor(frame2,grayImage2,COLOR_BGR2GRAY);
            //Differenzbild 2 aufeinanderfolgenden Frames (Grau)
            absdiff(grayImage1,grayImage2,differenceImage);
            //Canny Algortihmus als Vergleich
            Canny(differenceImage,edgeImage,200,255,3);
            //
            // threshold(edgeImage,thresholdImage1,SENSITIVITY_VALUE,
            255,THRESH_BINARY);
            //Binärbild 1 mit Grenzwert g=52
            threshold(differenceImage,thresholdImage1,SENSITIVITY_VALUE,
            255,THRESH_BINARY);
            //Rauschminimierung durch Glätten
            blur(thresholdImage1,blurImage, cv::Size(BLUR_SIZE,BLUR_SIZE));
            //Binärbild mit Grenzwert
            threshold(blurImage,thresholdImage,SENSITIVITY_VALUE,
            255,THRESH_BINARY);

            //Dimensionen der Originalaufnahme
            int imgheight_origin = frame1.rows;
            int imgwidth_origin = frame1.cols;
            //Suchfenster definieren
            Point p1((0.25*imgwidth_origin),(0.34*imgheight_origin));
            Point p2((imgwidth_origin-(0.27*imgwidth_origin)),
            (imgheight_origin-(0.30*imgheight_origin)));
            //Leeres schwarzes Bild erstellen mit Originaldimensionen
            Mat
            contourImage(imgheight_origin,imgwidth_origin,CV_8UC3,Scalar(0,0,0));
            //Bild croppen auf definiertes Suchfenster
            croppedImage = thresholdImage(Range((p1.y),(p2.y)),Range((p1.x),
            (p2.x)));
            //Verschieben des CroppedImage in contourImage
            float tx = p1.x;
            float ty = p1.y;
            float warp_values[]={1.0,0.0,tx,0.0,1.0,ty};
            Mat translation_matrix = Mat(2,3,CV_32F, warp_values);
            warpAffine(croppedImage,contourImage,translation_matrix,contourI
            mage.size());

            if(trackingEnabled)
            {
                //Suchfenster Bounding Box
                putText(frame1,"SUCHFENSTER", Point(200,100),
                2,2,Scalar(0,255,0),2);
                putText(frame1,"AKTIV", Point(753,100),2,2,Scalar(0,255,0),2);
                rectangle(frame1, p2, p1, Scalar(0,255,0), 2, 8, 0);
                MainWindow::searchForMovement(contourImage,frame1);
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        putText(frame1,"SUCHFENSTER DEAKTIV", Point(200,100),
2,2,Scalar(0,160,0),2);
        rectangle(frame1, p2, p1, Scalar(0,255,0), 2, 8, 0);
    }
    //Anzeige erstellter Frames
    namedWindow("Frame1",WINDOW_NORMAL);
    setWindowProperty("Frame1",WND_PROP_FULLSCREEN,WINDOW_FULLSCREEN);
    imshow("Frame1",frame1);
//
//    namedWindow("Frame2",WINDOW_NORMAL);
//    imshow("Frame2",frame2);
//    namedWindow("gray1",WINDOW_NORMAL);
//    imshow("gray1",grayImage1);
//    namedWindow("edge",WINDOW_NORMAL);
//    imshow("edge",edgeImage);
//    namedWindow("diff",WINDOW_NORMAL);
//    imshow("diff",differenceImage);
//    namedWindow("blur",WINDOW_NORMAL);
//    imshow("blur",blurImage);
//    namedWindow("thres",WINDOW_NORMAL);
//    imshow("thres",thresholdImage);

    switch(waitKey(10)){
    case 27: //'esc' Taste schließt Programm
    {
        destroyAllWindows();
        return;
    }
    case 116: //'t' Taste aktiviert Tracking
        trackingEnabled = !trackingEnabled;
        if(trackingEnabled == false) cout<<"Tracking
deaktiviert."<<endl;
        else cout<<"Tracking aktiviert."<<endl;
        break;

    case 112: //'p' Taste pausiert
        pause = !pause;
        if(pause == true){ cout<<"Pause. Druecke Taste P zum
weilerschauen."<<endl;
            while (pause == true){
                switch (waitKey()){
                case 112:
                    //'p' Taste setzt Video fort
                    pause = false;
                    cout<<"Video wird fortgesetzt."<<endl;
                    break;
                }
            }
        }
    }
    }
    }
    capture.release();
}
}

void MainWindow::searchForMovement(Mat contourImage, Mat &frame1)

```

```

{
    //Konturen zusammenführen
    Mat hullImage;
    hullImage = contourImage.clone();
    vector< vector<Point> > contours;
    vector<Vec4i> hierarchy;
    findContours(contourImage,contours,hierarchy,RETR_TREE,CHAIN_APPROX_SIMPLE,c
v::Point(0,0) );
    if(contours.size())
    {
        vector< vector<Point> > hull(contours.size());
        for(size_t i=0; i < contours.size();i++)
        {
            //Radiale Vergrößerung der Konturen
            convexHull(Mat(contours[i]),hull[i]);
            drawContours(hullImage,hull,i,Scalar(255,255,255),FILLED);
            drawContours(hullImage,hull,i,Scalar(255,255,255),130);
            namedWindow("HullImage",WINDOW_NORMAL);
            moveWindow("HullImage",950,430);
            imshow("HullImage",hullImage);
        }
    }
    findContours(hullImage,contours,hierarchy,RETR_EXTERNAL,CHAIN_APPROX_SIMPLE
,cv::Point(0,0) );

    if(contours.size())
    {
        //Konturpunkte verbinden
        vector< vector<Point> > contours_poly(contours.size());
        vector< Rect> boundRect(contours.size());

        for(size_t i=0; i < contours.size();i++)
        {
            approxPolyDP(Mat(contours[i]), contours_poly[i], 3, true);
            boundRect[i] = boundingRect(Mat(contours_poly[i]));
            //Zeichnen der Rechtecke um gefundene Objekte im Suchraum
            rectangle(frame1,
boundRect[i].br(),boundRect[i].tl(),Scalar(0,0,255), 2);

            //Maße des Originalbildes definieren
            int imgheight_origin = frame1.rows;
            int imgwidth_origin = frame1.cols;
            //Aufnahmefenster = Suchfenster definieren
            Point p1((0.25*imgwidth_origin),(0.34*imgheight_origin));
            Point p2((imgwidth_origin-(0.27*imgwidth_origin)),
(imgheight_origin-(0.30*imgheight_origin)));
            //Mittlere Höhe des Suchfenster
            int mid_rect_height = ((p1.y+p2.y)/2);
            //Zentrum des boundingRects ermitteln
            Point cnt_rect = (boundRect[i].br() + boundRect[i].tl())*0.5;
            //Wenn Zentrum des boundingRects Mittellinie des Suchfensters
            überfährt, dann Foto machen
            if (cnt_rect.y > mid_rect_height-10 and cnt_rect.y <
mid_rect_height+10)
            {
                //Bild croppen auf definierte Größe
                Mat croppedImage;
            }
        }
    }
}

```

```

        croppedImage = frame1(Range((p1.y),
(p2.y)),Range((cnt_rect.x-400),(cnt_rect.x+400)));
        //Verschieben des CroppedImage in foundedImage
        Mat foundedImage;
        float warp_values[]={1.0,0.0,0,0.0,1.0,0};
        Mat translation_matrix = Mat(2,3,CV_32F, warp_values);
        warpAffine(croppedImage,foundedImage,translation_matrix,crop
pedImage.size());
        //Informationseingabe zu founded Obstacles
        putText(foundedImage,"UnderWaterObstacle Found",
Point(20,30),1,2,Scalar(255,255,145),2);
        putText(foundedImage,"X = ", Point(20,60),
1,2,Scalar(255,255,145),2);
        putText(foundedImage,intToString(cnt_rect.x),Point(150,60),
1,2,Scalar(255,255,145),2);
        putText(foundedImage,"Y = ", Point(20,90),
1,2,Scalar(255,255,145),2);
        putText(foundedImage,intToString(cnt_rect.y),Point(150,90),
1,2,Scalar(255,255,145),2);
        namedWindow("FOUNDED",WINDOW_NORMAL);
        imshow("FOUNDED",foundedImage);
        moveWindow("FOUNDED",950,430);
        // imwrite("C://opencvProjTH2021//founded//
uw_1.jpg",foundedImage);

//          //Images speichern
//          stringstream ss;
//          string name = "C://opencvProjTH2021//founded//uw_";
//          string type = ".jpg";
//          ss << name << (std::to_string(counter)) << type;
//          string filename = ss.str();
//          ss.str("");
//          cout<<counter<<endl;
//          ++counter;
//          imwrite(filename, foundedImage);
    }
}
}
//int to string helper function
string MainWindow::intToString(int number)
{
    //this function has a number input and string output
    std::stringstream ss;
    ss << number;
    return ss.str();
}

```