

Journal of Applied Hydrography

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

06/2026

HN 134

Hydrographie
im Kontext der
Nachhaltigkeit



Beiträge vom
38. Hydrographentag
und DVW-Seminar



AquapHOx Loggers & Transmitters

for optical oxygen sensors

O₂

T



Compact Underwater Solution for:

- ultra-high speed & ultra-trace O₂
- long-term logging & monitoring
- fast water column O₂ profiling
- Aquatic Eddy Covariance measurements

Liebe Leserinnen und Leser,

die Folgen des Klimawandels sind nicht mehr bloß abstrakt – sie sind längst sichtbar und auch messbar. Gerade die Gewässer sind vom Klimawandel betroffen. Dabei sind Gewässer eine unverzichtbare Grundlage für unser Leben auf der Erde: Sie sichern die Trinkwasserversorgung, sie sind Lebensraum für zahlreiche Arten und sie erfüllen wichtige Funktionen im Naturhaushalt sowie für Wirtschaft und Gesellschaft.

In der Hydrographie beschäftigen wir uns mit der Vermessung und Beschreibung der Gewässer, auch im Hinblick auf die Veränderungen im Laufe der Zeit. Hydrographische Daten bilden somit eine unverzichtbare Grundlage, um das Ökosystem »Gewässer« zu verstehen. Die Daten und das Verständnis versetzen uns in die Lage, evidenzbasierte Entscheidungen zu treffen und vorausschauend zu handeln.

Das Seminar »Hydrographie im Kontext der Nachhaltigkeit« wird gemeinsam vom DVW-Arbeitskreis 4 »Ingenieurgeodäsie und Messmethoden« und vom DHyG-Arbeitskreis »Hydrographentag« veranstaltet. Bei dieser Arbeitsteilung ist der DVW-Arbeitskreis unter anderem in Person von Tanja Dufek und Patrick Westfeld für das Vortragsprogramm verantwortlich. Dieses Vortragsprogramm spiegelt die thematische Breite der Hydrographie wider und zeigt auf, welchen Beitrag unsere Wissenschaft zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung unserer Seen, Flüsse und Meere liefern kann. Dabei werden aktuelle Fragestellungen diskutiert: So geht es zum Beispiel um innovative Mess- und Auswertemethoden, um Umweltmonitoring, um digitale Anwendungen und um neue Konzepte der Datenbereitstellung.

Wir danken allen Vortragenden, die mit ihren Vorträgen zu einer spannenden Tagung beitragen. Und die darüber hinaus den Inhalt ihrer Arbeiten für diese Ausgabe des *Journal of Applied Hydrography* zusammengefasst haben, zum Teil in Extended Abstracts, zum Teil in vollständigen Fachbeiträgen.



Patrick Westfeld



Tanja Dufek



Lars Schiller

Im vorliegenden Heft sind insgesamt 22 Beiträge versammelt, die die thematische Vielfalt der Tagung eindrucksvoll widerspiegeln. Wie für Tagungsbände typisch, zeigen die einzelnen Beiträge unterschiedliche Perspektiven und Ansätze, was einen facettenreichen Einblick in den aktuellen Diskurs ermöglicht. Aufgrund der Fülle der eingereichten Beiträge konnte die Redaktion den Texten nicht in dem sonst üblichen Umfang gemeinsam mit den Autorinnen und Autoren den letzten Feinschliff geben. Gleichwohl wurden alle Beiträge sorgfältig redaktionell betreut: Wir haben kleinere formale Anpassungen vorgenommen, einheitliche Schlüsselwörter vergeben sowie die Literaturangaben überprüft, um eine hohe fachliche Nutzbarkeit des Bandes zu gewährleisten.

Von der Redaktion beigesteuert ist das Wissenschaftsgespräch mit Tanja Dufek, das auch Einblick in die Entstehung dieses Hydrographentags gibt. Wir wünschen viel Freude beim Lesen!

Beiträge des Hydrographentags

Wissenschaftsgespräch

- 6 »Die letzten ›weißen Flecken‹ unserer Erde liegen unter Wasser«
Ein Interview mit TANJA DUFEK

Eröffnung

- 12 **Hydrographie als Schlüsseltechnologie**
Beiträge zu Sicherheit, Nachhaltigkeit und maritimer Infrastruktur
Ein Beitrag von HARALD STERNBERG

Eröffnung – DHyG Student Excellence Award

- 14 **AI-driven detection of quartzite blocks in the River Rhine using CNN U-Net with backscatter and bathymetric data**
An article by ERIC IDUN

Session 1 - Zukunft gestalten: Beiträge der Hydrographie und Geodäsie zur Nachhaltigkeit

- 20 **A healthy ocean with all**
Transdisciplinary approaches to ocean sustainability
An article by TOSTE TANHUA and STEFFEN KNODT
- 22 **Alles open! – Immer richtig?**
Geoinformationen im Spannungsfeld zwischen der Open-Data-Philosophie und den aktuellen Sicherheitsanforderungen
Ein Beitrag von PAUL BECKER

Session 2 – Hydrographische Beiträge zum Umweltmonitoring

- 24 **Cost-effective seafloor geodesy with GNSS-acoustic measurements from a wave glider**
An article by JAMES FOSTER
- 26 **Erweiterte Perspektive**
Einsatz von Fernerkundung in der maritimen Notfallvorsorge
Ein Beitrag von BJÖRN BASCHEK und ALINA ERMERTZ
- 32 **Sensoren in Bewegung: MoBo als mobile Plattform für marines Monitoring**
Entwicklung, Stand und Perspektive
Ein Beitrag von JENS FISCHER, KAI HERKLOTZ, KEVIN HETT und DENNIS KÜHNEL

Session 3 – Dynamische Seekarten

- 34 **Elektronische Seekarte im Wandel**
Ein Beitrag von JENS SCHRÖDER-FÜRSTENBERG
- 38 **Aktuelle Tiefen auf den Bundeswasserstraßen nutzbar machen**
Ein Beitrag von ALISA YAKHONTOVA und WOLFRAM BAHN
- 42 **Automatisiertes und interaktives Echtzeitmonitoring des Schiffsverkehrs mit GIS**
Ein Beitrag von NATASCHA JAKOBSEN und LARS BEHRENS

Session 4 – Überwachung von Infrastrukturen**46 Satelliten statt Sensoren: Hebt InSAR das Monitoring auf ein neues Level?***Ein Beitrag von FLORIAN ZIMMERMANN und THOMAS ARTZ***52 How long does a sheet pile wall actually last?****Hydrography as a tool for civil engineers to analyse remaining service life with precision***An article by KARSTEN HOLSTE***56 Effizienz durch USV-gestützte Plattform und Kabelinspektionen als neuer Standard
Von lokalen Einsätzen zu großflächigen Vermessungen***Ein Beitrag von CONNOR SCHULZE und ANDREAS BAUER***58 Hochwassersicherheit im Bremer Überseehafen****Das Projekt »ROBUST« und die Bedeutung digitaler Lösungen***Ein Beitrag von CHRISTIAN VON DEETZEN***Session 5 – Smart Port****60 Aus der Tiefe in die Cloud****Hafeninfrastruktur erfassen, analysieren und managen***Ein Beitrag von BERIT JOST***64 Vom Sensor zum Service****Ein Framework für die hochgenaue Seekarte***Ein Beitrag von CHRISTOPHER PETERSEN und MATTHIAS STEIDEL***68 Port Call Optimization für die Bremischen Häfen***Ein Beitrag von MATTHIAS HINZ***Session 6 – Erfassung und Analyse von Unterwasserhabitaten****72 Vom Ufer bis zur Gewässersohle****Ein Praxisbericht zur Laserbathymetrie in Binnengewässern***Ein Beitrag von DAVID MONETTI***74 Detektion von Hydrothermalfeldern in der Tiefsee***Ein Beitrag von TANJA DUFEK***78 Remote sensing and modelling of marine habitats****Challenges and results of the Heligoland survey campaigns***An article by JENS SCHNEIDER VON DEIMLING***80 From above and below****Habitat mapping of an alpine lake in Austria***An article by ANNIKA L. WALTER, LUCAS DAMMERT, ELLEN HEFFNER, JAN RHOMBERG-KAUERT,
HARALD STERNBERG and GOTTFRIED MANDLBURGER*

»Die letzten ›weißen Flecken‹ unserer Erde liegen unter Wasser«

Ein Wissenschaftsgespräch mit TANJA DUFEK

Dr. Tanja Dufek hat den Hydrographentag in Lübeck-Travemünde, der in Kooperation mit dem DVW veranstaltet wird, mitorganisiert. Sie war lange als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der HafenCity Universität (HCU) in Hamburg angestellt. Heute arbeitet sie bei der Fugro Germany Marine GmbH in Bremen und beschäftigt sich mit der Kartierung von Seegras. Im Interview berichtet sie von ihrer Zeit an der Uni und macht sich Gedanken, wie es gelingen könnte, mehr Nachwuchs für die Hydrographie zu begeistern. Zugleich bringt sie ihre Begeisterung für die Praxis zum Ausdruck.

DVW | DHyG | Hydrographentag | Forschung und Lehre | Promotion | HCU
 DVW | DHyG | Hydrographentag | research and teaching | doctorate | HCU

Dr. Tanja Dufek co-organised the DHyG event (Hydrographentag) in Lübeck-Travemünde, which is held in collaboration with the DVW. She was employed for many years as a research assistant at HafenCity University (HCU) in Hamburg. She now works at Fugro Germany Marine GmbH in Bremen, where she specialises in seagrass mapping. In this interview, she talks about her time at university and reflects on how we might succeed in inspiring more young people to take an interest in hydrography. At the same time, she expresses her enthusiasm for the practical side of things.

Interviewer

Lars Schiller und Patrick Westfeld führten das Interview mit Tanja Dufek per E-Mail im Mai.

t.dufek@fugro.com

Es gibt viele gute Gründe, dich zu interviewen. Warum wir das ausgerechnet jetzt anlässlich des Hydrographentags in Lübeck-Travemünde machen? Es liegt daran, dass du für das Vortragsprogramm der Veranstaltung mitverantwortlich bist. Weil du nämlich Mitglied im DVW-Arbeitskreis 4 »Ingenieurgeodäsie und Messtechnik« bist, der sich auch um die Hydrographie kümmert. Wie stellt man so ein Programm auf die Beine? Wann beginnt die Arbeit? Was muss man alles bedenken?

In der Regel beginnen wir sehr früh mit der Planung, mehr als ein Jahr im Voraus. Zunächst geht es darum, einen geeigneten Veranstaltungsort und -termin zu finden, der sowohl in den DVW-Veranstaltungskalender passt als auch für die DHyG als Hydrographentag geeignet ist. Parallel dazu wird ein inhaltlicher Themenschwerpunkt festgelegt. In der Arbeitsgruppe »Hydrographie« des AK 4 werden anschließend Session-Titel und mögliche Vortragsthemen erarbeitet sowie potenzielle Referierende angesprochen. Der aktuelle Planungsstand wird regelmäßig dem gesamten Arbeitskreis vorgestellt, wodurch zusätzliche Ideen und Impulse einfließen. Unser Ziel ist es, ein Programm zu gestalten, das auch Teilnehmende aus dem breiteren Spektrum der Geodäsie anspricht. Dann besteht unsere Aufgabe nur noch darin, die benötigten Informationen bei den Vortragenden abzufragen und zum Beispiel um die Einreichung der Extended Abstracts zu bitten, die in dieser

Ausgabe veröffentlicht sind. Die eigentliche Arbeit, also die Erstellung der Kalkulation, die Absprache mit dem Tagungszentrum, die Planung des Rahmenprogramms und der Fachausstellung et cetera, übernimmt dann der AK »Hydrographentag« der DHyG. Die Registrierung und finanzielle Abwicklung läuft über die DHyG-Geschäftsstelle. Da sind wir somit als AK 4 raus. Das ist schon ein großer Luxus, den es so früher bei anderen DVW-Seminaren nicht gab. Da war für uns der Planungsaufwand deutlich höher.

In der neuen DVW-Arbeitskreisperiode von 2027 bis 2030 soll die Hydrographie in einem anderen Arbeitskreis angesiedelt werden, nämlich im Arbeitskreis 7 »Mobile und autonome Sensorsysteme«. Passt das besser? Hat das Vorteile?

Die Themenschwerpunkte der einzelnen Arbeitskreise und ihrer Arbeitsgruppen werden regelmäßig überprüft und bei Bedarf angepasst. Dies geschieht beispielsweise dann, wenn für bestimmte Themen ein erhöhter Bedarf an Seminaren oder Merkblättern vorhanden ist. Bisher war die Hydrographie dem Arbeitskreis 4 zugeordnet, der sich unter anderem mit Themen wie GNSS, terrestrischem Laserscanning (TLS), Qualitätssicherung und Industrievermessung befasste. Eine »Umsiedlung« in den Arbeitskreis 7, der sich zum Beispiel mit mobilen Multisensorsystemen, mit Evaluierung und Kalibrierung mobiler Messsysteme oder mit Navigation befasst, passt allerdings

auch gut. Diese Verlegung kann wertvolle neue Impulse bringen, da dadurch ein intensiverer Austausch mit Kolleginnen und Kollegen aus anderen Fachrichtungen entsteht. Darüber hinaus spricht für diese Zuordnung, dass die Hydrographie jener Bereich der Geodäsie ist, in dem mobile Messplattformen mit als erstes eingesetzt wurden.

Den Regeln gemäß musst du nach zwei Amtsperioden den DVW-Arbeitskreis verlassen. Würdest du anderen raten, sich im DVW für die Hydrographie zu engagieren?

Auf jeden Fall. Die Zusammenarbeit mit den Kolleginnen und Kollegen im Arbeitskreis, ob nun bei der Seminarplanung oder bei der Erstellung von Merkblättern, hat mir immer großen Spaß gemacht. Zudem ermöglicht die Arbeit einen Blick über den Tellerrand: Man erhält wertvolle Einblicke in aktuelle Themen und Entwicklungen in anderen Bereichen der Geodäsie und fördert gleichzeitig das Verständnis für die Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen.

Wie wichtig ist interdisziplinäres Arbeiten in der Hydrographie – und wo funktioniert es gut, wo weniger?

Das interdisziplinäre Arbeiten ist sehr wichtig. Als Hydrographen fungieren wir häufig als Datenlieferanten, während die eigentliche Interpretation im Anschluss durch andere Fachdisziplinen erfolgt. Bereits während meines Studiums hatte ich auf den großen Forschungsschiffen wie *Polarstern* und *Sonne* die Möglichkeit, zu erleben, wie Geologinnen und Geologen sowie Geophysikerinnen und Geophysiker arbeiten und welche Rolle die Hydrographie dabei einnimmt. So konnten wir beispielsweise mit Hilfe der Hydroakustik an Bord geeignete Lokationen für Sedimentkerne identifizieren, aus denen die Geologen wiederum Rückschlüsse auf frühere Klimabedingungen ziehen konnten. Auch heute arbeite ich bei Fugro eng mit Geologinnen und Geologen zusammen, die unsere Daten weiter interpretieren und klassifizieren.

In diesem geowissenschaftlichen Bereich funktioniert die interdisziplinäre Zusammenarbeit sehr gut. Zu den anderen Fachdisziplinen der Geodäsie besteht dagegen noch Entwicklungspotenzial. Mit der aktiven Beteiligung im DVW-Arbeitskreis und der Ausrichtung der gemeinschaftlichen Fachtagung wie hier in Lübeck-Travemünde bemühen wir uns, die Sichtbarkeit der Hydrographie zu erhöhen und mit Interessierten aus benachbarten Disziplinen in den Austausch zu treten.

Neben deiner Tätigkeit im DVW bist du auch in der DHyG aktiv. Vor sechs Jahren wurdest du in den Vorstand gewählt. Dort bist du bisher verantwortlich für die Koordination der Arbeitskreise. Wie ist dein Eindruck von der Arbeit in den Arbeitskreisen der DHyG?

Um ehrlich zu sein, habe ich da nicht viel zu tun, da die jeweiligen Leitungen in sehr guten Händen



Dr. Tanja Dufek

sind. Alle Mitwirkenden sind sehr engagiert und die Arbeitskreise leisten hervorragende Arbeit. Für mich bleibt vor allem die Aufgabe, im Rahmen der DHyG-Mitgliederversammlung über die Aktivitäten der Arbeitskreise zu berichten.

Wie wichtig sind solche Netzwerke für eine Karriere in der Hydrographie?

Netzwerke sind auf jeden Fall wichtig. Sie erleichtern den fachlichen Austausch, halten einen auf dem aktuellen Stand und eröffnen neue Perspektiven. Für den eigenen Werdegang können sie auch helfen, neue berufliche Möglichkeiten zu entdecken.

»Forschung hält die Lehre aktuell, während Lehrerfahrung dabei hilft, auch komplexere Inhalte im Forschungskontext klar und verständlich darzulegen«

Tanja Dufek

Wenn irgendwo Unterstützung benötigt wird, wirst du gefragt. Du engagierst dich überall. Man sagt über dich, du seist hilfsbereit und absolut zuverlässig. Fühlst du dich eigentlich mal ausgenutzt?

Ich hatte bisher nie das Gefühl, ausgenutzt zu werden – eher im Gegenteil.

Besonders zu Beginn an der HCU habe ich viel Unterstützung erfahren. Ob spontane Hilfe bei der Organisation von Messübungen oder das kurzfristige Ausleihen von Equipment: Es gab immer jemanden, der mir ausgeholfen hat. Für mich ist das immer ein Geben und Nehmen. Gerade weil man beide Seiten kennt, ist es umso schöner, wenn man selbst unterstützen kann. Auch sehe ich das so, dass jede Anfrage eine Chance ist, neue Erfahrungen zu sammeln und dazuzulernen.

Du hast fast zehn Jahre lang als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der HCU in Hamburg gearbeitet. Die Hälfte der Zeit solltest du dich um die Lehre kümmern, die andere Hälfte war für deine Promotion vorgesehen. Klingt ganz einfach und ganz vernünftig. Doch klappt das auch so einfach? Und wie sah dein Alltag an der Uni aus?

Zu Beginn meiner Zeit an der HCU war die Professur für Hydrographie mehrere Jahre vakant. Dadurch fielen zahlreiche zusätzliche Aufgaben an: Vertretung des Studiengangs in internen Gremien sowie beim DVW und bei der DHyG, die Rezertifizierung des IBSC Cat A, die Koordination und Unterstützung der Lehrbeauftragten, die Beschaffung eines neuen Vermessungsschiffes inklusive Ausstattung sowie zusätzliche Lehrverpflichtungen. All das war bereits für sich genommen zeitlich schwierig zu vereinen, geschweige denn, dass es möglich war, zusätzlich an meiner Promotion zu arbeiten. Aber auch nach der Besetzung der Hydrographie-Professur fiel es mir schwer, Lehre und Promotion miteinander zu vereinbaren. Lehre ist sehr zeitintensiv: Neben der Vorbereitung gehören dazu die Planung und Betreuung von Messpraktika und deren Auswertung, die Korrektur von Berichten und Prü-

fungen sowie die Beantwortung zahlreicher Anfragen von Studierenden. Dadurch verliert man leicht den Fokus auf die eigene Forschung. Erst nachdem ich mich aus der Lehre zurückgezogen habe und vollständig in das Forschungsprojekt INDEX mit der BGR eingebunden war, wurde es möglich, mich mehr auf die Forschung und damit auf die Promotion zu konzentrieren. Allerdings gelang es mir erst in einer bewusst genommenen Auszeit, nach meiner Zeit an der HCU, die Promotion abzuschließen.

Welche Rolle spielen Vorbilder und Mentoring in unserem Fach? Hattest du selbst solche Bezugspersonen?

Vorbilder und Mentoren sind in jedem Fach hilfreich und wichtig. Mir sind viele Menschen begegnet, die ich für ganz unterschiedliche Eigenschaften bewundere und die mich inspirieren.

Ein besonderes Vorbild war Volker Böder für mich. Er hat sich mit großem Engagement für die Hydrographie und die Studierenden eingesetzt, war jederzeit ansprechbar und hilfsbereit und konnte mit seiner Begeisterung andere anstecken. Damals waren die Studierendenzahlen noch deutlich niedriger als heute, und es entstand ein sehr familiäres Miteinander. Letztendlich war er auch ein wichtiger Grund dafür, dass ich später an die HCU zurückgekehrt bin. Ich hatte mich unter anderem deshalb auf die Stelle beworben, weil ich hoffte, etwas dazu beitragen zu können, dieses besondere familiäre Umfeld zumindest ein Stück weiter erhalten zu können.

Wenn du zurückdenkst an deine Zeit an der HCU: Lieber Lehre oder lieber Forschung?

Die Mischung macht's. Forschung und Lehre ergänzen sich sehr gut. Forschung hält die Lehre aktuell, während Lehrerfahrung dabei hilft, auch komplexere Inhalte im Forschungskontext klar und verständlich darzulegen.

Ganz allgemein: Lieber Praxis oder lieber Theorie?

Das gleiche gilt auch hier: Beides greift ineinander. Für die Praxis ist es wichtig, zu verstehen, wie die zugrunde liegenden Prozesse funktionieren. Gerade wenn die Messergebnisse einmal nicht plausibel erschienen, muss man Zusammenhänge erkennen und Lösungen finden. Wenn man sich hingegen zu sehr auf die Theorie konzentriert, besteht die Gefahr, die praktische Anwendung und somit den konkreten Nutzen aus den Augen zu verlieren.

Lieber trocken oder lieber nass?

Nass.

Man hört und liest immer wieder davon, mit welchen Umständen der wissenschaftliche Nachwuchs an den Universitäten und Hochschulen zu kämpfen hat. Ein wiederkehrendes Thema sind die befristeten Verträge und die damit verbundene Unsicherheit. Berichte doch mal, wie das für dich war.

Die hohe Zahl befristeter Verträge für wissenschaftliche Mitarbeitende an deutschen Hochschulen ist aus meiner Sicht schwierig und macht die Arbeit an der Universität im Allgemeinen weniger attraktiv. Ich hatte persönlich Glück: Ich war in einem Forschungsprojekt beschäftigt, bei dem es zwar ebenfalls Einjahresverträge gab, gleichzeitig war aber klar, dass das Projekt auf eine längere Laufzeit angelegt ist. Dadurch bestand zumindest eine gewisse Planungssicherheit. Allerdings war ich nicht durchgehend in Vollzeit angestellt, was ich teilweise bevorzugt hätte.

Gleichzeitig kenne ich Fälle aus dem Kollegenkreis, in denen neue Arbeitsverträge teilweise erst am letzten Tag der laufenden Anstellung unterschrieben wurden, da die rechtzeitige Verlängerung nicht klar war – das zeigt, wie unsicher die Situation auch sein kann. Aus meiner Sicht sind mehr unbefristete oder langfristig angelegte Stellen (zum Beispiel als Labormitarbeitende oder Juniorprofessuren) wichtig, um Kontinuität zu gewährleisten und Wissen zu sichern.

[Welchen Ratschlag würdest Du Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern geben?](#)

Bleibt neugierig, offen, und lasst Euch nicht unterkriegen.

[Welche technologischen Entwicklungen haben deine eigene Arbeit in den letzten Jahren am stärksten verändert?](#)

Da würde ich vor allem die Nutzung von KI nennen. Zum einen habe ich mich im Rahmen meiner Promotion mit Deep-Learning-Ansätzen beschäftigt und gesehen, welche vielversprechenden Ergebnisse sie bereits in unserem Fachbereich erzielen. Zum anderen haben aber auch Anwendungen wie ChatGPT meine Arbeitsweise im Allgemeinen verändert – etwa bei der Unterstützung bei der Python-Programmierung oder beim Überarbeiten von Texten wie diesem hier, um unter anderem Lars die Arbeit zu erleichtern.

[Was ist dein Rat, soll man sich ein Promotionsthema suchen, das einen wirklich interessiert? Oder soll man besser eine aktuelle Fragestellung bearbeiten, um am Puls der Zeit zu sein?](#)

Man sollte sich ein Thema suchen, das einen interessiert, da man sich über einen langen Zeitraum intensiv damit beschäftigt.

[Als du im letzten Jahr deine Doktorarbeit verteidigt hast, waren unglaublich viele Leute da. Der](#)

KALMAR SYSTEMS

NORBIT Multibeam Systems

Unmanned Surface Vehicles

Kalmar Systems offers integrated hydrographic solutions with a focus on integrated multibeam systems and USV.

Our scope includes planning, installation, and full system implementation.

From initial concept to operational deployment, we ensure reliable survey performance.

Your partner for seamless, end-to-end hydrographic solutions

[kalmar-systems.de](https://www.kalmar-systems.de)

ganze Hörsaal war voll. Wie hast du den Tag erlebt?

Ich erinnere mich zuerst daran, dass es unglaublich heiß war. Es war der wärmste Tag des Jahres mit teilweise über 35 °C. Umso mehr habe ich mich ge-

»In der Hydrographie wurden mobile Messplattformen mit als erstes eingesetzt«

Tanja Dufek

fremt, dass so viele den Weg auf sich genommen haben und vor Ort in Präsenz dabei waren. Vor dem Vortrag war ich sehr aufgeregt. An die anschließende Prüfung erinnere ich mich ehrlich gesagt kaum noch. Der Rest des Tages ist wie im Flug vergan-

gen – leider. Besonders gerne erinnere mich an den schönen Ausklang im Einstein und die vielen netten Gespräche. Insgesamt war es ein sehr besonderer Tag, den ich nie vergessen werde.

Im Jahr 2016 hast du den Hamburger Lehrpreis für die beste Lehre an der HCU erhalten. Doch 2024 hast du nach fast zehn Jahren die Uni verlassen. Was hat dir die Lehre bedeutet? Was bleibt dir von der Zeit? Gibt es etwas, das du vermisst?

Das Arbeiten mit den Studierenden hat mir immer viel Freude bereitet – das vermisse ich. Es war schön, sie während ihres Studiums fachlich zu begleiten, und auch gemeinsame Projektfahrten und Exkursionen durchzuführen. Besonders freue ich mich, ehemalige Studierende auf den unterschiedlichen Veranstaltungen wiederzutreffen und mich mit ihnen auszutauschen. So sind im Laufe der Zeit viele Bekanntschaften, aber auch Freundschaften mit ehemaligen Studierenden sowie HCU-Kolleginnen und -Kollegen entstanden. Darüber hinaus habe ich in dieser Zeit viel gelernt – sowohl fachlich als auch über mich selber.

Jetzt bist du bei Fugro angestellt. Dort hast du direkt nach deinem Studium auch schon einmal gearbeitet. Was machst du heute als Senior Geodata Advisor?

Seit etwa eineinhalb Jahren arbeite ich in einem Projekt, bei dem wir entlang der gesamten italienischen Küste Seegras kartieren. Dafür setzen wir eine Kombination aus Satellitendaten, bathymetrischem LiDAR sowie schiffsgestützten Echoloten und AUVs ein. Ich bin Teil des Teams, das die Fächerecholotdaten prozessiert, die finale Qualitätskontrolle durchführt und dann die Daten anschließend in den geforderten Formaten für den Kunden aufbereitet. Neben dem Tagesgeschäft habe ich die Möglichkeit, mich fachlich auch weiter zu vertiefen – zum Beispiel in Themen wie der Normalisierung von MBES-Backscatter-Daten oder der Harmonisierung von MBES- und LiDAR-Daten. Darüber hinaus bin ich auch in die Seegras-Klassifizierung eingebunden.

Du hast sowohl akademische als auch industrielle Erfahrung gesammelt – was hat dich persönlich am meisten wachsen lassen?

Jeder berufliche Wechsel hat mich persönlich weitergebracht. Neue Aufgaben und ein neues Umfeld bringen immer Herausforderungen mit sich, aber genau dadurch sammelt man wertvolle Erfahrungen. Ob nun in der Industrie oder an der HCU.

Du warst mehrmals mit der Polarstern unterwegs, hast mir einmal begeistert von der Nordpolartaufe berichtet. Was hat dir die Zeit auf einem Schiff bedeutet? Möchtest du wieder mal für längere Zeit auf dem Meer unterwegs sein?

Mir gefällt vor allem das sehr fokussierte Arbeiten an Bord und der starke Teamgeist. Auf dem Schiff ziehen alle an einem Strang. Gerade wenn Probleme auftreten, die die Datensammlung beeinträchtigen, oder wenn einfach mal eine zusätzliche Hand gebraucht wird, hält man zusammen und unterstützt sich gegenseitig. Ich werde voraussichtlich im kommenden Jahr auch wieder für eine Rotation an Bord gehen. Und wenn es passt, vielleicht auch regelmäßiger, so ein- bis zweimal pro Jahr. Die Büroarbeit hat auch ihre Vorteile, vor allem in Bezug auf Planbarkeit. Aber das Arbeiten an Bord und das direkte »Am-Geschehen-Sein« haben einfach einen besonderen Reiz.

Gibt es ein Projekt oder Thema, an dem du unbedingt noch arbeiten möchtest, sobald sich die Gelegenheit ergibt?

Das Thema MBES-Backscatter-Daten verfolgt mich im Grunde schon seit meiner Masterarbeit. Damit möchte ich mich gerne noch vertiefter auseinandersetzen.

Geodäsie und Hydrographie sind keine Studienfächer, die die Massen anziehen. Wie kann die Community sichtbarer werden?

Daran arbeiten wir bereits seit vielen Jahren. Zunächst halte ich die stärkere Bewerbung der Geodäsie für besonders wichtig. Da gibt es ein großes Ausbildungs- und Studienangebot. Seit meinem Studienbeginn von vor 20 Jahren ist die Geodäsie deutlich »moderner« und auch »cooler« geworden. Neben den klassischeren Themen wie der Liegenschaftsvermessung lassen sich heute mit Low-Cost-UAVs Orthofotos erstellen, mit Satelliten Effekte des Klimawandels erfassen, Beiträge zur Autonomie von Fahrzeugen beisteuern oder auch durch verbesserte Visualisierung die Navigation auf dem Handy verbessern. Damit lassen sich Schülerinnen und Schüler gut ansprechen und näher an die Geodäsie heranführen. Die DHyG beziehungsweise die HCU und andere Universitäten machen dies bereits verstärkt bei Studienmessen, durch Aktionen wie den »Tag der Geodäsie« oder auch durch Social-Media-Kampagnen wie »Weltvermesserer«. Die Werbung für die Hydrographie richtet sich vor allem an Geodäsiestudierende. Hier versuchen wir, beispielsweise bei der Kon-Geos (Treffen der Geodäsiestudierenden), beim

»Tag der Technik«, in Ringvorlesungen an Hochschulen oder auch auf der Intergeo, Präsenz zu zeigen. Wir suchen aber jederzeit nach neuen Ideen und freuen uns über Vorschläge.

Warum sollten sich junge Leute nach der Schule für ein Studium der Hydrographie entscheiden? Mit welcher Erzählung würdest du den Nachwuchs locken?

Als Hydrogräfin und Hydrograph ist man im Grunde Entdeckerin und Entdecker. Man macht sichtbar, was für das menschliche Auge sonst verborgen bleibt. Dies können Unterwasserlandschaften sein, die bisher noch nie jemand zuvor gesehen hat. Die letzten »weißen Flecken« unserer Erde liegen unter Wasser. Bis heute sind über 70 Prozent der Ozeane nicht detailliert vermessen.

Auf den großen Forschungsschiffen kann man teilweise die hydroakustischen Messungen im tiefen Frequenzbereich direkt an Bord mit dem menschlichen Ohr wahrnehmen. Für mich ist es immer noch faszinierend, wie durch diese Klickgeräusche die letzten unentdeckten Landschaften hier auf der Erde kartiert werden können.

Was treibt dich heute an, wenn du morgens zur Arbeit gehst?

Das Wissen, an einem spannenden Projekt mitzuarbeiten ... und Kaffee.

Was möchtest du gerne besser können?

Tauchen.

Was weißt du, ohne es beweisen zu können?

Es gibt immer etwas, das man noch lernen kann. Das gilt auch für die Hydrographie. //



HYPACK
a xylem brand



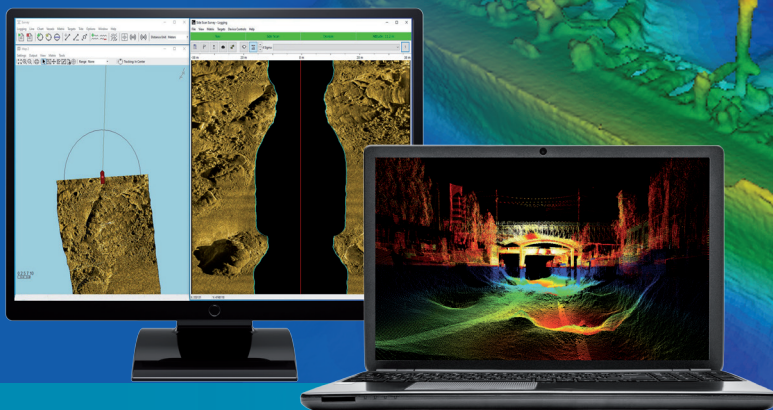
HYPACK® & HYSWEEP®

Survey and map your waters to collect and deliver high-resolution bathymetry and topography data.



HYPACK® GEOPHYSICS

Software package designed for the acquisition and processing of sub-bottom profiling, side scan, and magnetometer data.



Your Sensors,
Our Software.
Survey the World!



sales@hypack.com



Hydrographie als Schlüsseltechnologie

Beiträge zu Sicherheit, Nachhaltigkeit und maritimer Infrastruktur

Ein Beitrag von HARALD STERNBERG

Hydrographie | Klimawandel | Meeresspiegelanstieg | digitaler Zwilling
hydrography | climate change | sea level rise | digital twin

Autor

Prof. Dr. Harald Sternberg lehrt Hydrographie und Geodäsie an der HafenCity Universität Hamburg.

harald.sternberg@hcu-hamburg.de

Einleitung

Hydrographie ist weit mehr als die ›Vermessung‹ der Meere, auch wenn das immer noch eine sehr wichtige Aufgabe ist. Lediglich 27,3 % des globalen Meeresbodens wurden bis Juni 2025 mit moderner hochauflösender Technologie (Multibeam-Sonarsystemen) kartografiert (Seabed 2030). Gleichzeitig steigt aber der Bedarf an genauen und aktuellen Vermessungen in lokalen Bereichen aufgrund des zunehmenden Schiffsverkehrs und des Ausbaus der Offshore-Anlagen (Wind, Kabel, Pipelines). Auf der anderen Seite gibt es aber auch einen erhöhten Bedarf an globalen Daten zur Erfassung des Klimawandels und des Meeresspiegelanstiegs. In beiden Fällen stellt die Hydrographie eine wesentliche Informationsquelle für staatliche Akteure, die Wirtschaft sowie die Forschung dar.

Grundlagen der Hydrographie

Die Hydrographie erstellt in direkter Weise die Tiefeninformation von Gewässern, die Bathymetrie. Darüber hinaus werden aber auch weitere Informationen über die Konsistenz und Zusammensetzung des Gewässerbodens sowie der Bestandteile in der Wassersäule, wie beispielsweise Fischeschwärme und Vegetation, erfasst. Außerdem sind die Beobachtung und Vermessung der Wasserstände der Flüsse und Meere von Interesse, da diese auch im Kontext des Klimawandels eine neue Bedeutung erlangen. So ist es essenziell, die Schiffbarkeit auf den Flüssen trotz extremen Niedrig- oder Hochwassers möglichst lange zu gewährleisten. Genauso wichtig ist die Erfassung von Strömungen in Flüssen und Meeren, um die Veränderungen des Bodens prognostizieren zu können. Dies erfolgt mit Hilfe von Modellen, die von künstlicher Intelligenz (KI) unterstützt werden.

Das klassische Mehrstrahlecholot ist der Hauptsensor, mit dem die Tiefen akustisch bestimmt werden. Diese Sensoren durchlaufen einen Entwicklungsprozess. Aufgrund ihrer Funktionalität und Bauweise mit mehreren Frequenzen, mehre-

ren Schallköpfen und mehreren Schallstrahlen sind sie in der Lage, eine größere Anzahl an Informationen über den Boden aufgrund der Rückstreuwerte zu liefern. Auch die optischen Systeme entwickeln sich weiter und reichen von Fernerkundungssystemen für globale Anwendungen wie die Satellite-Derived Bathymetry (SDB) über bathymetrische Laserscanner oder Kamerasysteme an Drohnen bis hin zur Unterwasserphotogrammetrie und Unterwasserlaserscanner für hochgenaue Objektvermessungen. Für die Multisensoraufnahmen von einem oder mehreren Trägersystemen ist die exakte räumliche Positionierung, Orientierung und Synchronisierung von entscheidender Bedeutung. Diese erfolgt häufig über GNSS- bzw. GNSS/INS-Systeme. Die Weiterentwicklung der Precise-Point-Positioning-Verfahren (PPP) hat die Möglichkeit eröffnet, auch hochgenaue Positionsbestimmungen abseits der GNSS-Referenzsysteme durchzuführen. Die Sensorkombination von Positionsbestimmern mit Objekterfassern ermöglicht die Integration der Daten und die Einhaltung der Qualitätsstandards (zum Beispiel IHO). Unterstützt durch lernende Algorithmen der künstlichen Intelligenz werden die Daten schnell und richtig ausgewertet.

Gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Nutzen durch die Hydrographie

Die Hydrographie kann durch ihre Messtechnik und -verfahren die Sicherheit in der Navigation erhöhen, auch durch neue kompakte Messsysteme, die eine schnelle Erfassung der Situation und der Veränderungen vor Ort ermöglichen. Die daraus resultierende Gewährleistung einer sicheren Schifffahrt in Häfen, Flüssen und auf dem Meer sowie die Unfallvermeidung sind signifikante Vorteile. Die Seekarten werden gemäß den IHO-Standards weltweit mit einer konsistent hohen Qualität erstellt. Der Einsatz moderner Geoinformationssysteme ermöglicht zudem die Verarbeitung von Echtzeitdaten. Die maritime Sicherheit wird in ihrer Gesamtheit gestärkt, wobei beide Aspekte ›Safety‹ und ›Security‹ berücksichtigt werden.

Der Klimawandel stellt einen bedeutenden Treiber hydrographischer Tätigkeiten dar. So werden hydrographische Planungsdaten benötigt, um neue Anlagen im Meer errichten zu können. Diese werden in der Regel durch hydroakustische Messdaten gewonnen. Darüber hinaus werden für den Betrieb und die Überwachung der Off-shore-Anlagen deutlich höherauflösende Sensoren der Hydrographie eingesetzt, wie Seitensichtsonare oder auch Unterwasserlaserscanner. Ein weiterer immer wichtiger werdender Bereich ist die Überwachung kritischer Infrastruktur, wie zum Beispiel die Kabel- und Pipelinetrassen. Hierfür werden meist hydroakustische, aber auch elektromagnetische Systeme genutzt, die auf autonomen Unterwassersystemen eingesetzt werden können. Diese Systeme können auch bei anderen kritischen Arbeiten in Häfen, beim Küstenbau oder bei Baggerarbeiten zum Einsatz kommen.

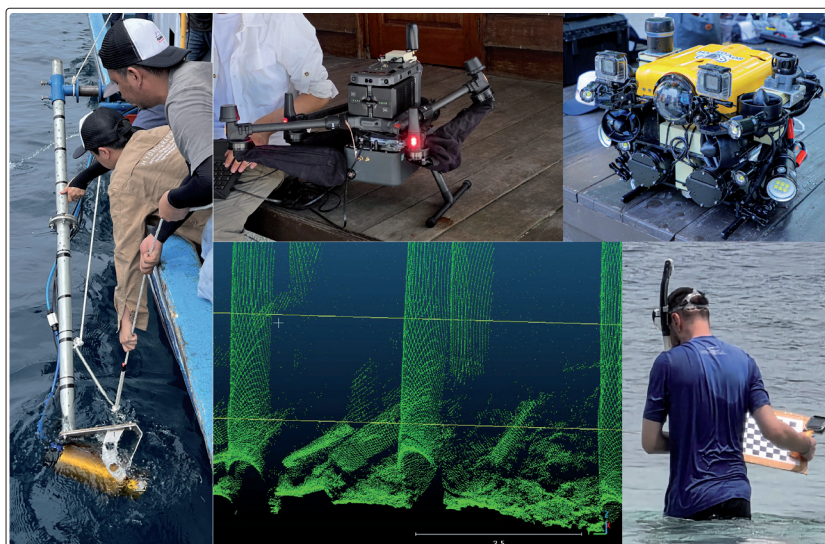
Die Hydrographie leistet ebenfalls einen direkten Beitrag zur Erforschung des Klimawandels. Dies erfolgt durch die Überwachung aquatischer Lebensräume, wie die Zählung von Meerespopulationen unter Zuhilfenahme künstlicher Intelligenz sowie die Durchführung von Habitat-Mapping-Maßnahmen unter Einsatz globaler und lokaler Methoden der satellitengestützten Verfahren bis hin zu photogrammetrischen Low-Cost-Systemen der Schnorchler. Der Fokus liegt auf der Unterstützung und Überwachung von Maßnahmen, die dem Klima- und Küstenschutz dienen.

Automatisierung der Systeme und Auswertungen

Alle diese Entwicklungen sind noch lange nicht abgeschlossen, sondern werden zu kleineren Messsystemen führen, die dann über verschiedene Stufen der Automatisierung schließlich zu un-

bemannten, autonomen Systemen mit einer Echtzeitdatenverarbeitung auch mit Hilfe künstlicher Intelligenz (wie neuronaler Netze) führen. Diese kleineren Messeinheiten werden dann in einem Schwarmverbund mit anderen Messsystemen für die Erfassung und anderen Trägersystemen, wie schwimmenden oder fliegenden Einheiten, sich austauschen. Ziel dieser Maßnahmen ist es, die Erfassungsaufträge schnell, vollständig und präzise auszuführen. Unter der Prämisse, dass eine hinlängliche Anzahl an Daten zur Verfügung steht, besteht die Möglichkeit, einen digitalen Zwilling des Meeres zu erschaffen und damit weitere Forschungsfragen zu beantworten. All dies wird vor allem dann möglich sein, wenn die internationale Zusammenarbeit tatsächlich auch intensiviert wird und ein effektiver Austausch der Methoden und Daten gewährleistet ist.

Ohne hochwertige hydrographische Daten gibt es auch in Zukunft keine sichere, nachhaltige und effiziente Nutzung der Meere. //



AI-driven detection of quartzite blocks in the River Rhine using CNN U-Net with backscatter and bathymetric data

An article by ERIC IDUN

Submerged quartzite blocks in shallow inland waterways present a significant hazard to navigation, particularly in high-traffic rivers such as the River Rhine. Conventional detection methods rely on manual interpretation of multibeam echo sounder (MBES) data, which is time-consuming, subjective and difficult to scale. This study evaluates the application of deep learning for automated detection of submerged rock features using bathymetric and backscatter data. A U-Net convolutional neural network with a ResNet-50 encoder was trained on a dataset comprising over 8,000 manually digitised rock features from a 7.5 km section of the Rhine. In addition to single bathymetry and backscatter inputs, derivative features were generated and combined using a principal component analysis to form composite datasets. Model performance was assessed using Intersection over Union (IoU), precision, recall and F1-score. The best results were achieved using a composite dataset integrating backscatter, slope and roughness, yielding an IoU of 0.492 and an F1-score of 0.659. The model demonstrated strong agreement with manual annotations and identified additional potential features not previously mapped. The results highlight the value of combining acoustic intensity and terrain derivatives in deep-learning workflows. This study demonstrates a scalable and objective approach to submerged hazard detection, with implications for improving hydrographic survey efficiency and navigational safety.

boulder detection | inland water mapping | autonomous data processing | backscatter data | CNN | PCA
Quarzitblockerkennung | Binnengewässerkartierung | autonome Datenverarbeitung | Rückstreudaten | CNN | PCA

Untergetauchte Quarzitblöcke in flachen Binnengewässern stellen eine erhebliche Gefahr für die Schifffahrt dar, insbesondere in stark befahrenen Flüssen wie dem Rhein. Herkömmliche Detektionsmethoden basieren auf der manuellen Auswertung von Fächerecholotdaten (MBES), was zeitaufwendig, subjektiv und schwer skalierbar ist. Diese Studie evaluiert die Anwendung von Deep Learning zur automatisierten Detektion untergetauchter Felsformationen mit Hilfe bathymetrischer Daten und Rückstreudaten. Ein U-Net-Faltungsnetzwerk mit einem ResNet-50-Encoder wurde mit einem Datensatz trainiert, der über 8000 manuell digitalisierte Felsformationen eines 7,5 km langen Rheinabschnitts umfasst. Zusätzlich zu den Rohdaten aus Bathymetrie und Rückstreuung wurden abgeleitete Merkmale generiert und mittels Hauptkomponentenanalyse zu zusammengesetzten Datensätzen kombiniert. Die Modellleistung wurde anhand von Intersection over Union (IoU), Präzision, Trefferquote und F1-Score bewertet. Die besten Ergebnisse wurden mit einem kombinierten Datensatz erzielt, der Rückstreuung, Neigung und Rauheit integrierte und einen IoU-Wert von 0,492 sowie einen F1-Score von 0,659 ergab. Das Modell zeigte eine hohe Übereinstimmung mit manuellen Annotationen und identifizierte zusätzliche, bisher nicht kartierte potenzielle Merkmale. Die Ergebnisse unterstreichen den Nutzen der Kombination von akustischer Intensität und Geländederivaten in Deep-Learning-Workflows. Diese Studie demonstriert einen skalierbaren und objektiven Ansatz zur Erkennung von Unterwassergefahren mit Implikationen für die Verbesserung der Effizienz hydrographischer Vermessungen und der Sicherheit der Schifffahrt.

Author

Eric Idun completed the Master programme Geodesy and Geoinformatics with specialisation in Hydrography at HafenCity University Hamburg.

ericidun92@gmail.com

Introduction

Safe navigation in inland waterways is critical to global trade, and rivers such as the Rhine play a central role in European transport networks. However, the dynamic nature of fluvial systems presents ongoing challenges for hydrographic surveying. Sediment transport, erosion and morphological changes continuously reshape the

riverbed, leading to the exposure of submerged hazards. Quartzite blocks are among the most significant hazards in the Rhine (Boenigk 2021). Due to their high resistance to erosion, these rocks persist while surrounding sediments are removed, gradually becoming exposed. In shallow sections, they pose a direct risk to vessels, potentially causing hull damage or grounding.

Accurate and timely detection is therefore essential for maintaining navigational safety and updating nautical charts. Modern hydrographic surveys provide high-resolution bathymetric and backscatter data using MBES systems. However, interpretation of these datasets remains largely manual. This process is labour-intensive, time-consuming and subject to variability between operators. With increasing data volumes, manual workflows are becoming inefficient and difficult to sustain. Recent advances in artificial intelligence, particularly deep learning, offer new opportunities for automation. Convolutional neural networks (CNNs), and specifically U-Net architectures, have proven highly effective for image segmentation tasks (Cai et al. 2020; LeCun et al. 2015). Their ability to perform pixel-level classification makes them well suited for identifying complex patterns in geospatial data. This study investigates the use of a CNN-based approach to detect submerged quartzite blocks. The objectives are to evaluate model performance, assess the benefit of integrating bathymetric and backscatter features, and determine the most effective dataset configuration. The study contributes to hydrography by demonstrating a data-driven method for improving detection accuracy and efficiency in fluvial environments.

Data and study area

The study area (see Fig. 1) is situated in the lower Rhine region of Germany, specifically in Düsseldorf, and forms part of the W27 project area. This area extends between Rhine kilometres 722.5 (Düsseldorf) and 769.5 (Krefeld). It is divided into four legs (see Fig. 1) corresponding to prospective construction sites. The leg designated TA3, referred to as »Steinerne Bänke«, is located in the northern section of Düsseldorf and spans approximately 10 km (Kraft et al. 2025). This section was selected due to the notable concentration of rocks, making it particularly suitable for a detailed analysis. For the purposes of this study, the survey focused on the area between Rhine kilometres 747.0 and 754.5, located between the Theodor-Heuss-Brücke and the Langst-Kaiserswerth ferry.

Methodology

Data acquisition and processing

The dataset used in this study was acquired through hydrographic surveys conducted along a 7.5 km stretch of the River Rhine. Data acquisition was performed using a multibeam echo sounder (MBES) system capable of capturing high-resolution bathymetric measurements and co-registered backscatter intensity data. The MBES survey, conducted aboard the *DVocean* vessel, took place between 24 and 31 July 2024 during periods of mean

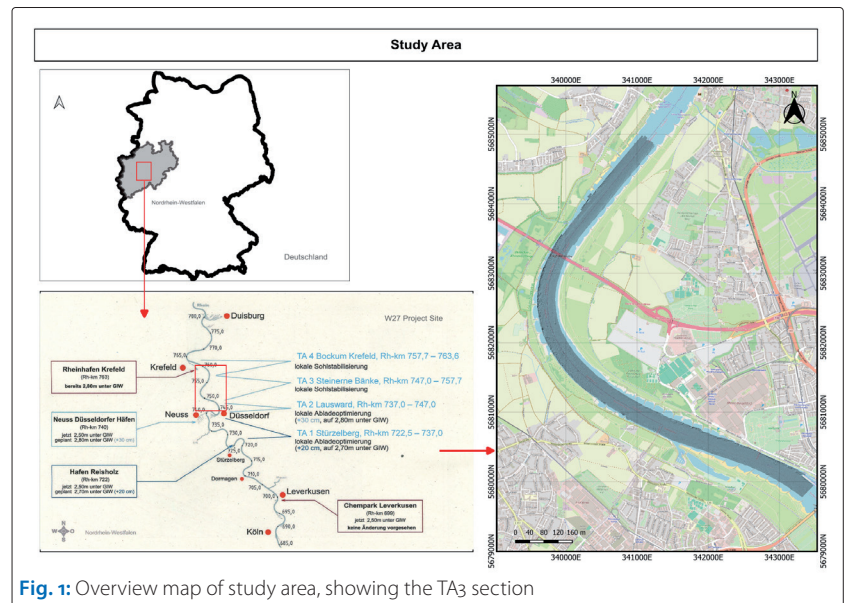


Fig. 1: Overview map of study area, showing the TA3 section

water level to optimise acquisition conditions. Data acquisition was carried out using QPS Qinsy and Kongsberg SIS software. The multibeam echo sounder operated at a frequency of 300 kHz with a swath opening angle of 120°.

Bathymetric data was processed to remove noise, correct for motion, sound velocity and positioning errors, and gridded into DTMs. Backscatter data underwent radiometric corrections to account for transmission loss, beam pattern effects and angular dependency. In addition to the primary datasets, bathymetric derivatives such as slope and roughness were generated to capture terrain characteristics, while texture features such as contrast and dissimilarity were derived from backscatter data using Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM) methods. Features that visibly enhanced the detectability of rocky substrates were prioritised.

Manual digitising

Manual digitisation was conducted to create ground truth data for supervised learning. Rock features were identified through visual interpretation of both bathymetric and backscatter datasets. Characteristic indicators included elevated structures in bathymetry, high backscatter intensity, and associated morphological features such as scour marks. A total of over 8,000 rock features were digitised across the study area. These features were converted into binary masks, where each pixel was labelled as either rock or background. The resulting dataset provided a reference for model training and evaluation. While manual digitisation is essential for supervised learning, it introduces potential sources of uncertainty, including operator subjectivity and inconsistencies in feature delineation. These factors are considered in the interpretation of the model performance.

ID	Dataset	Training	Validation	Test	Total tiles	Channel
Ba	Bathymetry	279	163	23	465	Single band image
Bs	Backscatter	281	164	24	469	Single band image
BCD	Bathymetry + contrast + dissimilarity	253	148	21	422	Three band image
BsRS	Backscatter + roughness + slope	259	151	21	431	Three band image

Table 1: Number of tiles generated after pre-processing for each dataset

Dataset pre-processing and preparation

Pre-processing was performed to prepare the dataset for model training. Principal component analysis (PCA) was applied as a feature selection approach to identify variables that best discriminate between rock formations. Rather than performing dimensionality reduction, PCA was used to evaluate feature importance based on component loadings. Variables with consistently high contributions to dominant components were retained. This process led to the construction of composite feature sets (see Table 1), including bathymetry–contrast–dissimilarity (BCD) and backscatter–roughness–slope (BsRS). Raster datasets were partitioned into tiles of 256 × 256 pixels to facilitate efficient training and capture local spatial patterns. All input features were normalised to ensure consistent scaling, and no-data regions were masked to avoid bias. Data augmentation techniques were applied to increase dataset diversity and improve generalisation. Class imbalance, due to the predominance of background pixels, was mitigated through sampling and training strategies.

Model training

The dataset comprised greyscale and multiband raster images with corresponding binary semantic segmentation masks. Model development was conducted using TensorFlow and the Keras API with the Segmentation Models library, and training was performed on Google Colab Pro with GPU acceleration. Models were trained using the Adam optimiser with an initial learning rate of 0.001 for up to 100 epochs and a batch size of 16. Binary cross-entropy loss was employed, given its suitability for pixel-wise binary classification tasks. Hyperparameters were selected based on empirical experimentation. Model performance was evaluated after each epoch using validation metrics.

Dataset	Validation Set Performance Metrics				Test Set Performance Metrics			
	IoU	Precision	Recall	F1 score	IoU	Precision	Recall	F1 score
Ba	0.3235	0.5174	0.4632	0.4888	0.3796	0.5470	0.5537	0.5503
Bs	0.2598	0.438	0.3897	0.4124	0.1141	0.2732	0.1639	0.2049
BCD	0.3841	0.5334	0.5785	0.5550	0.3875	0.5135	0.6122	0.5586
BsRS	0.4459	0.6044	0.6296	0.6167	0.4916	0.6148	0.7104	0.6592

Table 2: Comparative evaluation of model performance across datasets

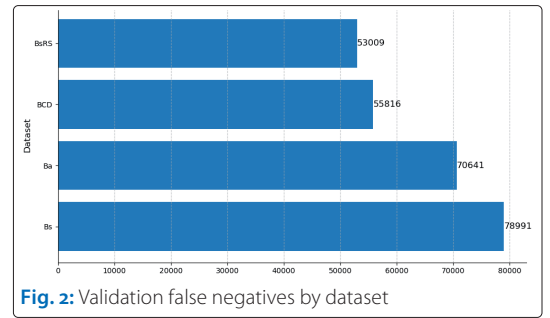


Fig. 2: Validation false negatives by dataset

Results

Across all datasets, models showed rapid initial convergence followed by stabilisation. However, generalisation performance varied significantly depending on input features. The BsRS dataset demonstrated the most stable training behaviour, with minimal overfitting and consistent validation loss.

The quantitative evaluation (see Table 2) shows that BsRS achieved the best overall performance (IoU: 0.4916, F1: 0.6592), followed by BCD and Ba. The Bs dataset performed poorly, particularly on the test set, indicating weak generalisation.

Error analysis

Confusion matrix analysis revealed that all models performed well in identifying background pixels, but detection of rock features varied. BsRS achieved the highest true positive rates and lowest false negatives (see Fig. 2), indicating strong sensitivity. In contrast, Bs exhibited high false negatives, suggesting difficulty in distinguishing rock features using backscatter alone.

Best performing dataset

The BsRS dataset (see Fig. 3) consistently outperformed all other inputs across training behaviour, quantitative metrics and qualitative assessment. Its superior performance is attributed to the integration of structural (slope, roughness) and radiometric (backscatter) features, enabling improved discrimination of rock features. In contrast, the Bs dataset showed limited performance due to ambiguity in backscatter signals, which can represent both rock and non-rock surfaces. Overall, BsRS was

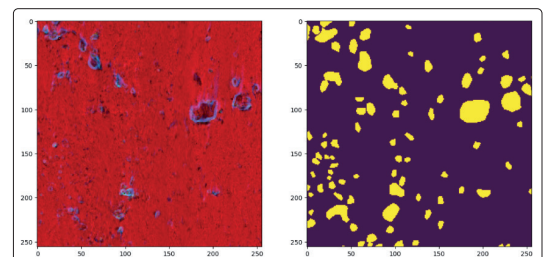


Fig. 3: Final composite image of slope, roughness and backscatter (left) with corresponding labels (right). The X and Y-axes are in pixel units

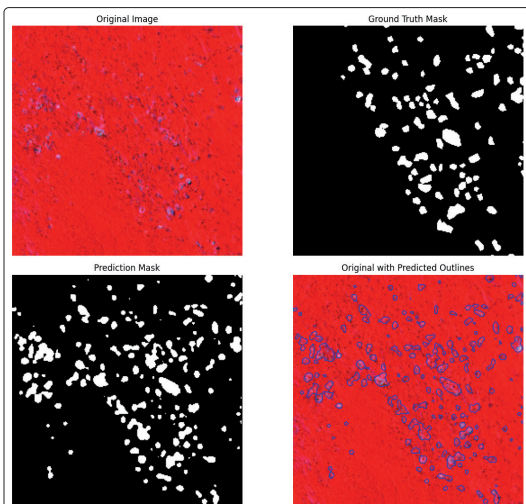


Fig. 4: Model-predicted rock boundaries overlaid on the original data, showing strong alignment with known features and some potential new detections

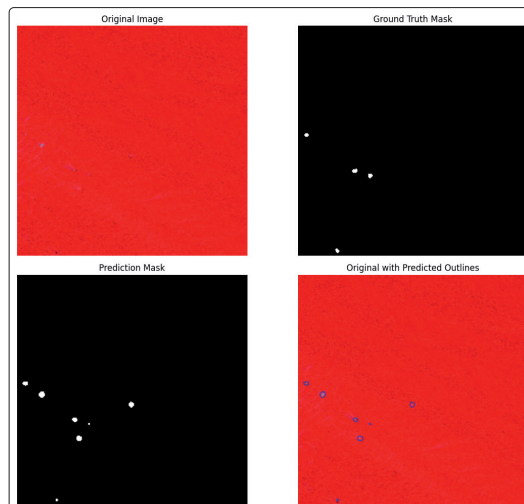


Fig. 5: Detection results in a low-density area, showing high precision and minimal over-prediction

identified as the most reliable configuration for rock detection in this study and was used for further detection.

Discussion

Interpretation of detection results

The model predictions show good spatial agreement with known rock formations, capturing key structural patterns. The integration of slope, roughness and backscatter data enabled the model to combine morphological and acoustic information, resulting in a richer representation of substrate characteristics. Detection confidence was highest in areas where rocks protruded clearly from surrounding sediments, highlighting the importance of elevation gradients and textural contrast. Across Fig. 4 and Fig. 5, the model consistently identified major rock features, particularly in densely populated zones, while also detecting smaller structures. Some of these additional detections may represent previously unmapped quartzite blocks, although others could be false positives caused by local texture variations or sedimentary features. In a few cases, the model segmented contiguous features differently from manual annotations, either splitting single units or merging adjacent ones, reflecting differences in boundary interpretation. In lower-density areas, the model maintained good detection performance while limiting false positives, indicating a relatively conservative response under low signal conditions.

Comparison with manual mapping

The model achieved a spatial accuracy comparable to manual mapping while offering substantially improved efficiency. To quantify performance, predicted rock areas were compared with manually delineated features using two representative

test images. Analysis focused on overlapping regions to ensure direct comparability. Scatter plots and Bland-Altman analyses were used to evaluate agreement and assess potential bias in size estimation. Fig. 6 and Fig. 7 illustrate the segmentation results, showing overall strong agreement between predicted and manual masks, with localised discrepancies primarily along feature boundaries.



Fig. 6: Segmentation results for the first test image, showing manual ground truth (left), predicted mask (right), and colour-coded overlap (bottom)

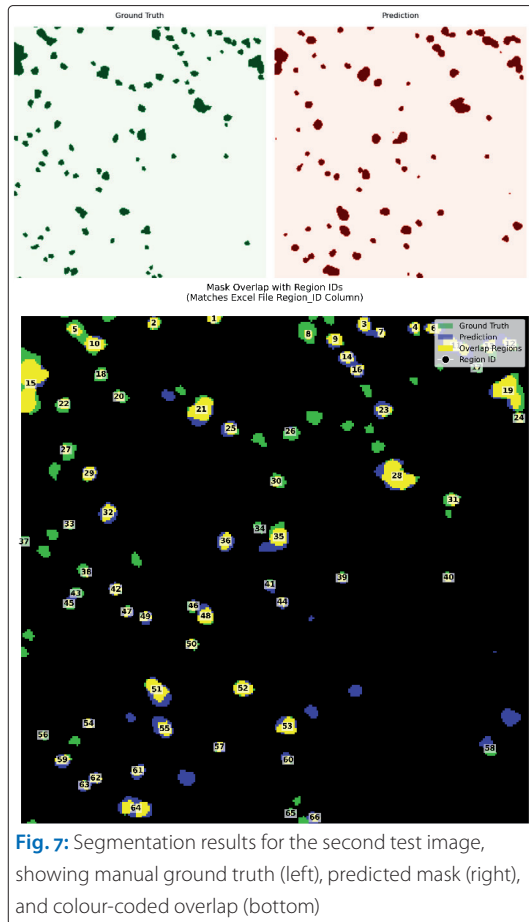


Fig. 7: Segmentation results for the second test image, showing manual ground truth (left), predicted mask (right), and colour-coded overlap (bottom)

Scatter plot analysis

Scatter plots (Fig. 8 and Fig. 9) show a strong linear relationship between predicted and ground truth rock areas, with coefficients of determination of $R^2 = 0.87$ and $R^2 = 0.80$, respectively. Most values cluster near the 1:1 line, indicating good agreement across a range of feature sizes. However, both cases show a tendency to underestimate larger rock areas, as indicated by the regression

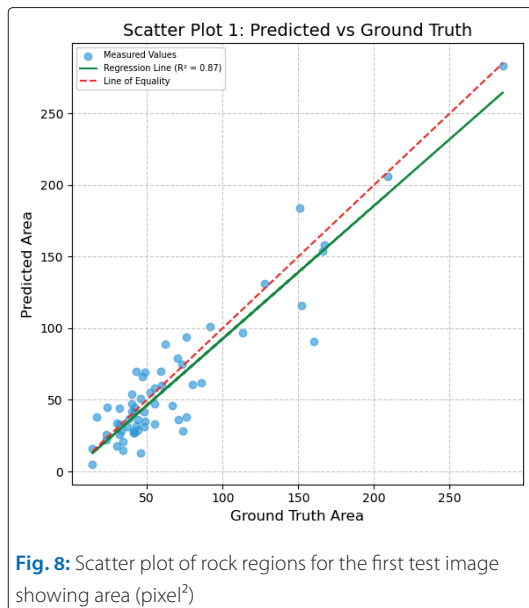


Fig. 8: Scatter plot of rock regions for the first test image showing area (pixel²)

lines falling below the line of equality. This likely reflects smoothing effects or challenges in fully delineating complex, irregular geometries. Despite this limitation, the model performs reliably for small to medium-sized features.

Bland-Altman analysis

Bland-Altman plots (Fig. 10 and Fig. 11) further demonstrate reasonable agreement between predicted and manual measurements. In these plots, the average rock area (pixel²) is shown on the X-axis, while the difference between predicted and manual rock area is shown on the Y-axis. For the first test image, a small negative bias (-4.90) indicates slight underestimation, with most values falling within the 95 % limits of agreement (-40.87 to +31.07). The second image shows a small positive bias (+3.15) and slightly wider limits of agreement (-46.61 to +52.91), reflecting greater variability. In both cases, variability increases with feature size, suggesting reduced accuracy for larger and more complex rock formations. A small number of outliers are present, likely due to segmentation challenges or irregular object shapes.

General interpretation

Overall, the CNN U-Net model demonstrates good agreement with manual mapping, as reflected by high R^2 values and relatively small biases. The absence of a consistent over- or underestimation trend suggests that errors are image-dependent and influenced by local conditions such as feature complexity and data quality. This variability indicates a degree of adaptability, which may be advantageous in heterogeneous fluvial environments. Manual mapping is time-intensive and subject to interpreter variability, particularly in ambiguous areas. In contrast, the model provides a consistent and reproducible approach to feature

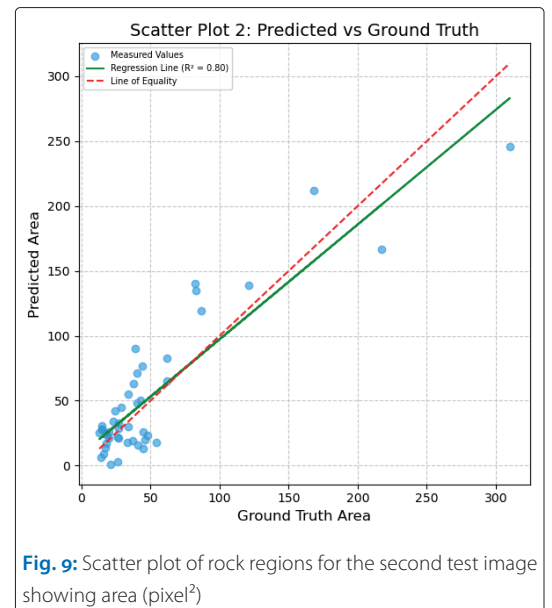
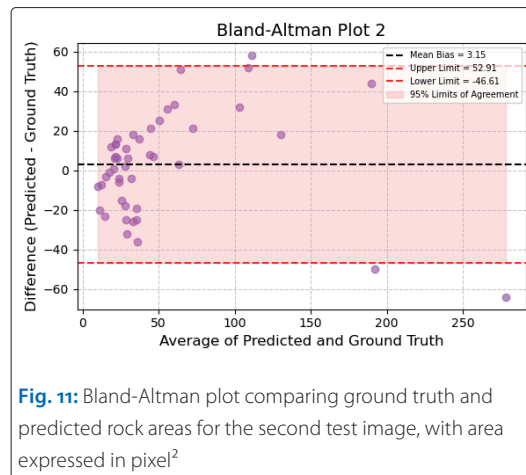
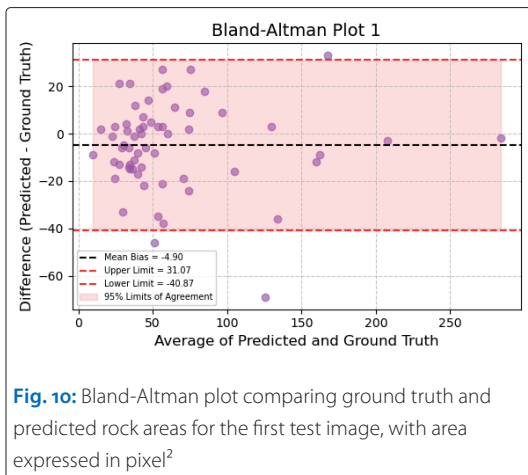


Fig. 9: Scatter plot of rock regions for the second test image showing area (pixel²)



detection. Some discrepancies between the two methods likely reflect both the subjectivity of manual interpretation and limitations in the training data. In addition to improving efficiency and scalability, it demonstrates the capability to detect subtle or previously unrecognised features, thereby complementing traditional mapping approaches.

Conclusion

The study highlights the value of integrating multi-source geophysical data, which significantly improved detection accuracy and robustness. The approach has clear potential to enhance hydrographic workflows by reducing reliance on manual interpretation, increasing consistency and

enabling more efficient large-scale data processing. Despite these promising results, some limitations remain. The relatively small dataset and focus on a single study area may limit model generalisation. In addition, the use of non-expert annotations introduces potential label uncertainty, particularly for subtle or partially obscured features. Future work should prioritise expanding datasets with high-quality expert annotations and greater environmental diversity. Incorporating temporal data could also enable monitoring of riverbed dynamics over time. Overall, AI-driven approaches offer significant potential to improve navigational safety, optimise hydrographic survey workflows, and support sustainable management of inland waterways. //

References

Boenigk, Wolfgang (2021): Fluvial development of the Lower Rhine Basin during the late Tertiary and early Quaternary. DEUQUA Special Publications, DOI: 10.5194/deuquasp-3-125-2021

Cai, Lei; Jingyang Gao; Di Zhao (2020): A review of the application of deep learning in medical image classification and segmentation. *Annals of Translational Medicine*, DOI: 10.21037/atm.2020.02.44

Kraft, Markus; Nils Hollman; Kelly Torres et al. (2025): Detection of quartzite blocks in the River Rhine – Development of semi-automatic and automatic approaches for the detection of boulders. *Journal of Applied Hydrography*, DOI: 10.23784/HN130-04

LeCun, Yann; Yoshua Bengio; Geoffrey Hinton (2015): Deep learning. *Nature*, DOI: 10.1038/nature14539

A healthy ocean with all

Transdisciplinary approaches to ocean sustainability

An article by *TOSTE TANHUA* and *STEFFEN KNODT*

ocean | transdisciplinarity | sustainability | blue economy | citizen science
Ozean | Transdisziplinarität | Nachhaltigkeit | Blue Economy | Bürgerwissenschaft

Authors

Dr. Toste Tanhua is Senior Scientist at Geomar Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel.

Dr. Steffen Knodt is member of the German Ocean Decade Committee.

ttanhua@geomar.de

The ocean affects humans in many ways, regardless of where we live. It is the primary controller of the global climate that makes this planet habitable. It provides humans with food, materials, energy, transportation and recreation. The ocean is also a source of many potential hazards, both natural and anthropogenic, including increasingly strong hurricanes and severe coastal flooding, tsunamis, storm surges, sea level rise, harmful algal blooms and other man-made pollution. The ocean is facing many stressors such as warming, heat waves, overfishing, changing circulation, ocean acidification and pollution that all compromises the ocean as a healthy ecosystem and key regulator of Earth's climate and health.

As our oceans and seas are under significant human and anthropogenic pressure, with large and often accelerating changes in both the physical properties, as well as in chemistry and biodiversity. Addressing such complex marine challenges as compound effects of climate change, biodiversity loss and pollution requires collaboration across disciplines and sectors. More importantly, it also requires collaboration between science and industry, as well with civil society and policy makers. The role of science is to provide fact-based information on the state and projection of the state of the ocean and to suggest solutions. Transdisciplinary approaches are necessary to be able to capture the different aspects of ocean understanding and solutions for society. This presentation highlights the role of transdisciplinary approaches in developing integrated solutions by bringing together science, policy, industry and society.

We also highlight the role of the blue economy in shaping a sustainable ocean. The blue economy has a large potential role in supporting the monitoring and sustained observation of the ocean. Currently, vast parts of the ocean are not monitored at all and are widely unknown, and there is a significant need for more fit-for-purpose in-situ

observations. Ocean observation systems are a market where standardisation and economies of scale are not always achievable. Science alone cannot observe the ocean, and thus provide adequate ocean information to the needed extent.

By placing the ocean observing value chain in an ocean enterprise context, we can see the interconnection and feedback between the different activities and how value is generated. Private and public organisations as well as public-private partnerships can contribute to these elements through commercial products, public services, data collection and provision and philanthropy. There is an element of innovation as well as business opportunities within all of these elements. Return can be gained from investments both within and across components. As the demand for ocean information increases, new business models can emerge, making the blue economy a profitable area for future investment.

In this context, marine citizen science is a growing potential for engagement and knowledge gathering. Citizen science enables the co-generation of knowledge and understanding of the current health of ocean systems, how these are being impacted and how they can be protected. It also promotes education of the general public regarding these issues and also makes the ocean seem more accessible, including in the context of its importance to human health. Here we will showcase one local marine citizen science project, Sailin4oxygen, that engages boaters in better understanding the oxygen conditions in the south-west Baltic.

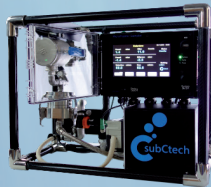
Through selected project examples, it illustrates how co-creation of knowledge, stakeholder engagement and the integration of natural and social sciences can support sustainable ocean management. The talk also emphasises the importance of ocean literacy, capacity development and inclusive participation in line with the UN Ocean Decade's vision to »leave no one behind«. //

Ocean Power & Monitoring

Transform into the cost-efficient and sustainable future



OceanPack™
Underway



Racing

SOCAT
ready



pCO₂ optical Analyzer

GHG Monitoring

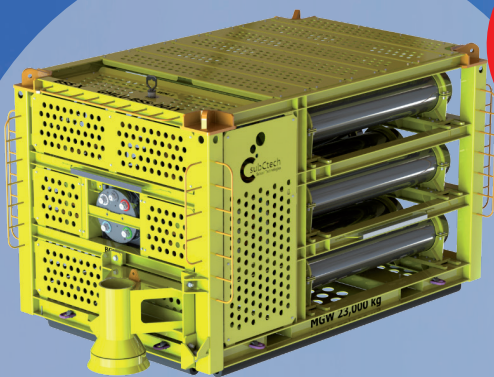
Modular, easy to use and reliable
monitoring incl. pCO₂ and Microplastic

Subsea Li-Ion Batteries

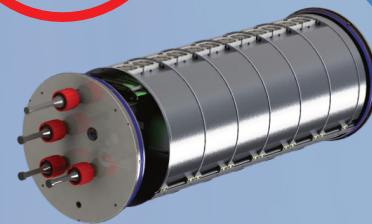
Highly reliable, efficient and safe underwater
power solutions for DC + AC



Standard Batteries



Energy Storage &
UPS Systems



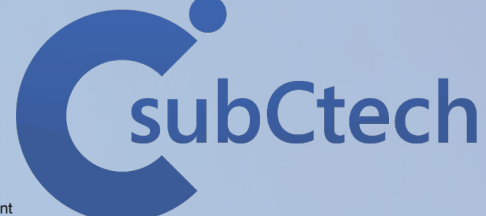
Vehicles

API17F
Offshore
certified

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



2021
2030 United Nations Decade
of Ocean Science
for Sustainable Development



Alles open! – Immer richtig?

Geoinformationen im Spannungsfeld zwischen der Open-Data-Philosophie und den aktuellen Sicherheitsanforderungen

Ein Beitrag von PAUL BECKER

Geoinformationssicherheit | Open-Data | digitaler Zwilling | NGIS 2.0 | kritische Infrastruktur
geoinformation security | open data | digital twin | NGIS 2.0 | critical infrastructure

Autor

Prof. Dr. Paul Becker war bis 2026 Präsident des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (BKG) in Frankfurt.

paul.becker@bkg.bund.de

Geoinformationen spielen in unserer zunehmend vernetzten und digitalisierten Welt eine immer wichtigere Rolle. Nicht selten bilden sie sogar die maßgebliche Entscheidungsgrundlage. Geoinformationen werden in immer größerer Zahl durch Messungen gewonnen bzw. durch Analysen und Simulationen bestimmt. Hier ist eine beträchtliche Dynamik zu beobachten. Verantwortlich hierfür sind vor allem Entwicklungsfortschritte sowohl im Bereich der Beobachtungsplattformen als auch bei der Sensorik. Von großer Bedeutung ist dabei das luftgestützte Laserscanning. Damit können hochgenaue digitale Gelände- und Oberflächenmodelle geschaffen werden. Auch die für die Analyse und Simulation verfügbare Rechentechnik entwickelt sich rasant weiter. Dies führt dazu, dass die räumliche und zeitliche Auflösung der Daten stetig steigt. Entsprechendes gilt für die Frequenz, also die Häufigkeit der Produktion des jeweiligen Datensatzes. Bei der räumlichen Auflösung sind wenige Zentimeter für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland für einige Datensätze bereits möglich. Künstliche Intelligenz wird vermehrt eingesetzt, um die häufig anfallenden großen Datenmengen zu verarbeiten.

Eine der Spitzen der Entwicklung im Bereich der Geoinformation wird durch die sogenannten »digitalen Zwillinge« repräsentiert. Mit ihnen wird die Bearbeitung einer Fülle von komplexen und häufig interdisziplinären Fragestellungen möglich. Vielfältige Handlungsalternativen können durchgespielt werden, bevor eine Entscheidung über eine Realisierung getroffen wird. Dabei werden Zusammenarbeitsbeziehungen der verschiedenen Akteure auf nationaler, aber auch internationaler Ebene zunehmend wichtiger und auch immer häufiger realisiert. Begleitet wird die Entwicklung im Geoinformationswesen durch rasche Fortschritte bei der Entwicklung von grafischen Informationssystemen, 3D-Brillen und Digitallaboren. Letztere werden derzeit teilweise zu

»Decision-Theatern« weiterentwickelt, bei denen unter anderem eine virtuelle Anwesenheit am Ort des Geschehens möglich sein wird.

Ein grundsätzlich guter Zugang zu den vielfältigen Geoinformationen ist von entscheidender Bedeutung, um den Nutzen der Informationen möglichst vollständig ausschöpfen zu können. Offene Geoinformationen fördern Innovationen und helfen, Entscheidungsprozesse in den unterschiedlichsten Bereichen effizienter zu gestalten. Dementsprechend gibt es viele Ansätze und Initiativen, um den Zugang zu den Geoinformationen zu verbessern. Sie ergeben sich unter anderem aus europäischen Vorgaben, wie der Verpflichtung zur Bereitstellung hochwertiger Datensätze (HVD) durch öffentliche Stellen, aber auch aus Bemühungen auf nationaler Ebene, wie zum Beispiel durch die nationale Geoinformationsstrategie 2.0 (NGIS 2.0). Mit der NGIS 2.0 soll vor allem die Weiterentwicklung der Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE) vorangetrieben werden.

Es ist allerdings zu beachten, dass Geoinformationen bei unbefugtem Zugriff die staatliche Sicherheit in erheblicher Weise gefährden können. Dies gilt im besonderen Maße vor dem Hintergrund der sich derzeit verschärfenden Sicherheitslage. Bei der Erhebung, der Speicherung und der Nutzung von räumlichen Informationen ist daher zu prüfen und zu entscheiden, ob die Informationen diesbezüglich relevant sind.

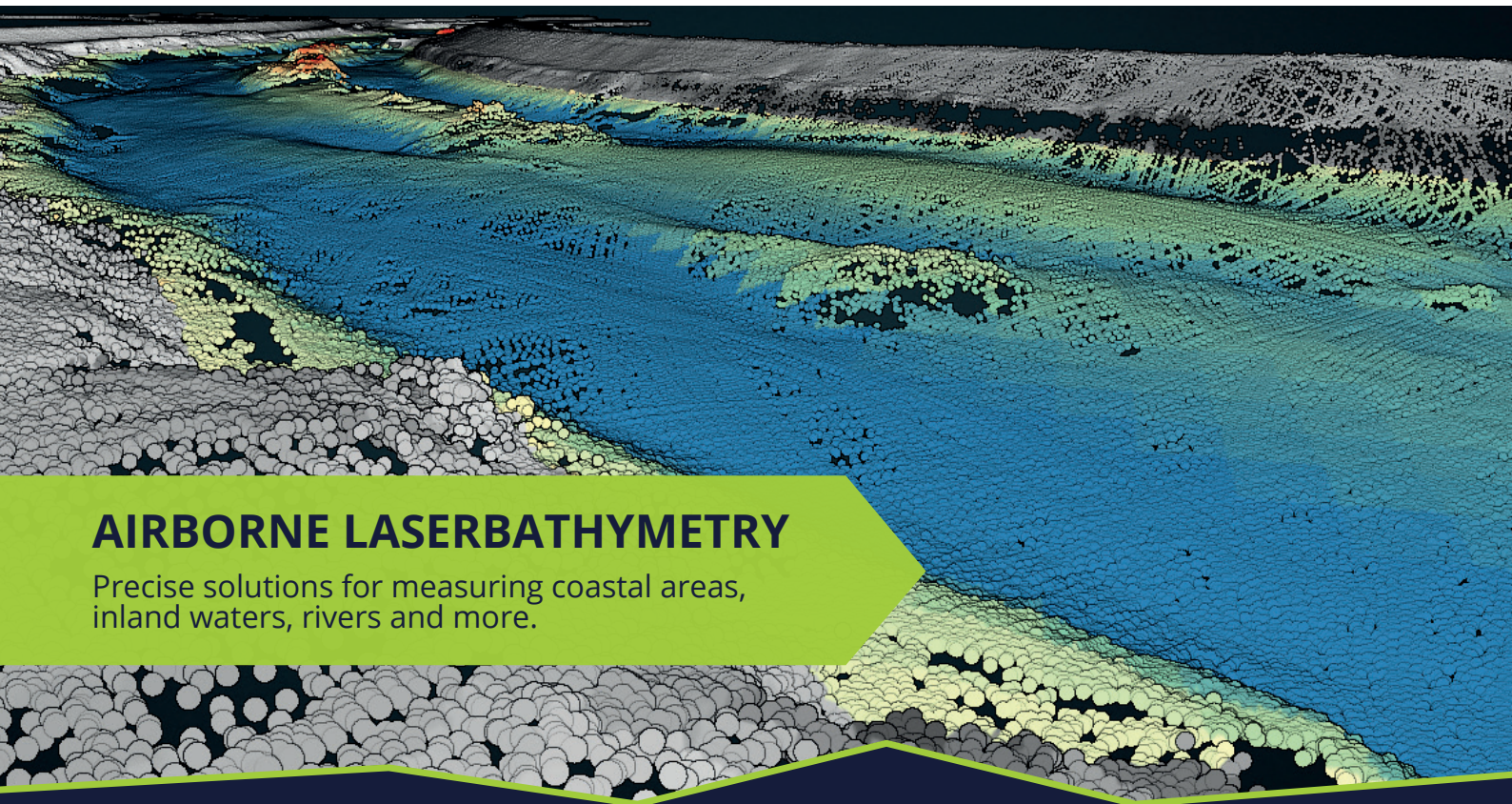
Ist die Relevanz zu bejahen, ist es erforderlich, eine abgestufte Zugänglichkeit für die infrage stehenden Geoinformationen sicherzustellen, um Ausspäh- oder Sabotageaktionen zu verhindern und damit die staatliche Sicherheit und die Verteidigungsfähigkeit zu gewährleisten. Die Gestaltung des Abwägungsprozesses bezüglich der Zugangsbeschränkungen ist komplex. Entsprechende Überlegungen finden derzeit in vielen europäischen Ländern statt.

Wesentliche Aspekte bezüglich der Zugänglichkeit von Geoinformationen ergeben sich gerade

auch bei der Betrachtung der kritischen Infrastrukturen. Geoinformationen können wichtige Beiträge für den Schutz dieser Infrastrukturen leisten. Mit Hilfe von digitalen Zwillingen gewonnene Geoinformationen können zum Beispiel bei Risiko- und Managementbetrachtungen für kritische Infrastrukturen äußerst nützlich sein. Sicherheits-erwägungen können jedoch dazu führen, dass der

Zugang zu Informationen über die Position und Funktion von bestimmten kritischen Infrastrukturen eingeschränkt werden muss.

Geoinformationssicherheit ist ein vielschichtiges Themenfeld! Daher ist ein intensiver Austausch zwischen den Produzenten von Geoinformationen und den für die Sicherheit verantwortlichen Stellen auf jeden Fall unerlässlich. //



AIRBORNE LASERBATHYMETRY

Precise solutions for measuring coastal areas, inland waters, rivers and more.

skyability

UAV, AIRBORNE & TERRESTRIAL SERVICES

✉ office@skyability.com

🌐 www.skyability.com



Cost-effective seafloor geodesy with GNSS-acoustic measurements from a wave glider

An article by JAMES FOSTER

subduction zones | seafloor observations | wave glider | sound speed
Subduktionszonen | Meeresbodenbeobachtung | Wellengleiter | Schallgeschwindigkeit

Author

Prof. Dr. James Foster is Chair of Geodetic Space Techniques at the University of Stuttgart.

james.foster@gis.uni-stuttgart.de

Over 70 % of Earth's surface and 90 % of plate boundaries are under water and inaccessible using standard geodetic observing techniques. In particular, subduction zones generate earthquakes and tsunamis that represent some of the most destructive natural hazards. Critical science questions for subduction zones include: How are stresses transferred within the structures? What are the roles played by secular slip, earthquakes and slow slip events? Understanding these structures and the hazard that each represents requires accurate observations of the ground motions above the portions of these systems where these active processes are taking place. Land-only observation systems suffer from fundamental geometric limitations for observing processes occurring under the ocean. Without seafloor observations, there will always be significant uncertainty in our abil-

ity to model and interpret the processes operating at these and similar structures. To address these science questions, we must acquire cost-effective geodetic observations of the horizontal and vertical motions of the seafloor. At the University of Stuttgart, we have constructed an autonomous seafloor geodetic system that has equipped a Liquid Robotics SV3 wave glider with a GNSS-acoustic ranging system from Sonardyne. The wave glider is an extremely cost-effective platform from which to perform seafloor geodetic measurements: it uses wave motions for propulsion and solar panels and batteries to provide power for its control systems and its science payload. It is able to operate at sea for months at a time for a fraction of the cost of a traditional research vessel. The GNSS-acoustic seafloor geodetic technique employs standard kinematic positioning using a GNSS+IMU system for a sea-surface vehicle, and pairs it with precisely timed acoustic ranging capability. The acoustic portion of the system ranges to a set of transponders deployed to the seafloor and determines the »centroid« position of those transponders to cm-level accuracy.

For our system we have chosen a GNSS-acoustic module that is able to interrogate transponders down to 6,000 m water depth, rather than the more commonly used module that is only able to reach to 3,000 m. This allows us to access the deepest portions of the subduction zones where the megathrust fault approaches the seafloor, and is the portion of the system from which dangerous tsunamis are most likely to be generated. We are working closely with the seafloor geodesy group at Geomar, and they have built a similar system equipped with the 3,000-m acoustic module. Between us we will be able to acquire accurate positions of seafloor stations over the entire range of depths at subduction zones.

The primary source of error for GNSS-acoustic are changes in the ocean sound speed field. Our observing strategy, using the slow-moving wave glider to perform ranging from above the centre



point of the seafloor transponder array, is designed to mitigate vertical changes in the sound speed profile. The impacts of lateral variations in sound speed, however, are only somewhat reduced through this observing geometry. Sound speed variations will particularly impact the long ranges involved in making measurements down to 6,000 m, and we will need to implement strategies to effectively identify and mitigate errors due to sound speed lateral variations. The acoustic ranging error structure reflects the contribution of many different oceanographic processes. For 10 to 60 minute time periods, perturbations from internal waves are the dominant feature.

Longer period perturbations are generated by tidal currents, transient events such as eddies and seasonal processes. We will define an approach that combines analysis of the recorded time delays themselves to identify short-period perturbations, along with sampling of high-resolution numerical ocean models to explore the lateral variations of the sound speed field at longer spatial and temporal scales. Combining these strategies will allow us to generate full a-priori variance-covariance matrices for modelling our positions, and the resulting time-series, as well as extracting representative confidence levels on our results. //



Leica CoastalMapper bathymetric airborne system

Map land and water in one flight: capture seamless bathymetric & topographic data from shoreline to shallow water.

Faster data acquisition.
Fewer flights.
Better decisions.



Find out more:



Erweiterte Perspektive

Einsatz von Fernerkundung in der maritimen Notfallvorsorge

Ein Beitrag von BJÖRN BASCHEK und ALINA ERMERTZ

Aktuell setzt das Havariekommando als operationelles Fernerkundungssystem zur Erkennung von Ölverschmutzungen auf dem Meer bzw. allgemeiner zur Unterstützung der maritimen Notfallvorsorge eine Kombination aus zwei Sensorflugzeugen vom Typ Do228 und einen Satellitendienst der europäischen Agentur für die Sicherheit des Seeverkehrs ein. So ist eine großflächige, effiziente Überwachung der Meere auf Oberflächenverschmutzungen möglich. Bei komplexen Schadenslagen liefern diese zudem wertvolle Überblicks- und Detailinformationen zur Bewertung und Bewältigung der Lage. Gerade live übertragene Video- und Sensorbilder zusammen mit Beobachtungen der erfahrenen Operateure haben sich als besonders wertvoll erwiesen. Die neue Generation der Mehrzweckschiffe der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung wird ergänzend mit weiteren Fernerkundungssystemen ausgestattet: neben einem Ölradar und einer stabilisierten Kamera mit optischem und thermalem Kanal werden unbemannte Flugsysteme (UAS bzw. Drohnen) wichtige Zusatzinformationen liefern.

Fernerkundung | maritime Notfallvorsorge | Ölverschmutzung | Drohne
remote sensing | maritime emergency preparedness | oil pollution | drone

The Central Command for Maritime Emergencies (in German: Havariekommando) currently employs a combination of two Do228 sensor aircraft and a satellite service provided by the European Maritime Safety Agency as an operational remote sensing system for detecting oil spills at sea and, more generally, to support maritime emergency preparedness. This enables large-scale, efficient monitoring of the seas for surface pollution. In complex emergency situations, these also provide valuable overview and detailed information for assessing and managing the situation. Live video and sensor images, in particular, combined with observations by experienced operators, have proven to be particularly valuable. The new generation of multi-purpose vessels operated by the Federal Waterways and Shipping Administration will be equipped with additional remote sensing systems: alongside an oil radar and a stabilised camera with optical and thermal channels, unmanned aerial systems (UAS or drones) will provide important supplementary information.

Autoren

Dr. Björn Baschek und Alina Ermertz arbeiten bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz.

baschek@bafg.de

1 Einleitung

Die operationelle Überwachung der deutschen Meeresgebiete auf Oberflächenverschmutzungen – insbesondere, wenn durch Öl verursacht – ist wichtiger Teil der Verantwortungen und Aufgaben des Havariekommandos. Das Havariekommando ist eine gemeinsame Einrichtung des Bundes und der Küstenländer. Es gewährleistet ein gemeinsames Unfallmanagement auf Nord- und Ostsee. Das Havariekommando bündelt die Verantwortung für die Planung, Vorbereitung, Übung und Durchführung von Maßnahmen zur Verletztenversorgung, zur Schadstoffunfallbekämpfung, zur Brandbekämpfung, zur Hilfeleistung und zur Gefahrenabwehr bezogenen Bergung bei komplexen Schadenslagen auf See (Havariekommando 2026).

Die Küstengewässer und die Ausschließliche Wirtschaftszone sowie in Kooperation mit den Nachbarstaaten angrenzende Gebiete werden

regelmäßig für das Havariekommando durch das Marinefliegergeschwader 3 »Graf Zeppelin« mit zwei Sensorflugzeugen vom Typ Do228 überflogen. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ist zuständig für die Sensorik der Ölüberwachungsflugzeuge und berät das Havariekommando darüber hinaus zu Fragen der Fernerkundung in der maritimen Notfallvorsorge.

Das Sensorsystem der Ölüberwachungsflugzeuge ist auf die Erkennung von Ölverschmutzungen auf dem Meer optimiert, bietet aber gleichzeitig eine wesentliche Informationsquelle für verschiedenste Arten von Schadenslagen. Es wird in Kapitel 2.2 zusammen mit Beispieldaten vorgestellt. In Kapitel 2.1 erfolgt eine Vorstellung des auf Satellitendaten beruhenden CleanSeaNet-Dienstes zum großflächigen Monitoring von Nord- und Ostsee und zur Erzeugung von Vorwarnungen. Der Fokus von Kapitel 3 liegt dann auf der Vorstel-

lung der Möglichkeiten und Einsatzbereiche von UAS (unbemannte Flugsysteme bzw. Drohnen), die zukünftig für verschiedene Anwendungen der maritimen Notfallvorsorge (Kapitel 3.1 und 3.2.) als »erweiterte Perspektive« wertvolle, zusätzliche Informationen liefern werden.

2 Das heutige kombinierte Fernerkundungssystem mit Fokus auf der Erkennung von Ölverschmutzung

Beim Ablauf des operationellen Monitorings liefert oft ein großflächiges Satellitenbild eine erste Vorwarnung, wo sich eine mögliche Verschmutzung befindet. Diese wird dann je nach Ausprägung und Lage nach Möglichkeit von den Sensorflugzeugen gezielt kontrolliert. Letztere haben zudem den großen Vorteil, dass sie zusätzlich zeitlich unabhängige Flüge durchführen können. Dieses Zusammenspiel ermöglicht eine effektive großflächige Überwachung. Die Flexibilität und Mehrinformation durch das Sensorsystem und die Operateure der Flugzeuge sind insbesondere während und nach einer Schadenslage von entscheidender Bedeutung.

2.1 Großflächiges Monitoring durch Radarsatelliten

Großflächige Radarsatellitenbilder können typischerweise einen guten Überblick über eine Fläche von bis zu 400 km × 400 km Meeresfläche und eine weitgehend automatisierte Vorwarnung

auf mögliche Verschmutzungen bieten – und das unabhängig von Bewölkung (Gade und Baschek 2012). Über den CleanSeaNet-Dienst (Carpenter 2015; Diavidnia und Del Rio Vera 2012) der Europäischen Agentur für die Sicherheit des Seeverkehrs steht den zuständigen Behörden dank einer performanten Prozessierungskette in der Regel innerhalb weniger als einer halben Stunde nach Satellitenüberflug ein ausführlicher Bericht mit möglichen Verschmutzungen und relevanten Metadaten zur Verfügung. Die Radaraufnahmen visualisieren Glättungsbereiche von der sonst bei entsprechenden Windbedingungen aufgerauten Wasseroberfläche. Es finden Abschätzungen der Wahrscheinlichkeiten statt, dass die beobachteten Effekte durch Verschmutzungen von Öl oder anderen Substanzen hervorgerufen wurden. Aufgrund der Gefahr von Fehlmeldungen (zum Beispiel ausgehend von falsch beurteilten windstillen Bereichen oder natürlichen Oberflächenfilmen) wird bis zu einer Überprüfung durch die Sensorflugzeuge in der Regel von »möglichen« Verschmutzungen geredet.

2.2 Sensorik der Ölüberwachungsflugzeuge mit Beispieldaten

Die beiden Sensorflugzeuge des Typs Dornier 228 (Do228) sind mit Sensorsystemen ausgestattet, die speziell für die Detektion und Charakterisierung von Öl entwickelt wurden (siehe [Tabelle 1](#);

Sensorik	Anwendung	Vorteil	
Side Looking Airborne Radar (SLAR) Auflösung: ca. 60 m × 40 m	Lokalisierung und Ausdehnung möglicher Verschmutzung auf der Wasseroberfläche im Fernbereich (ca. 25 km)	Aktives System: Monitoring durch Bewölkung hindurch und bei Nacht	
VIS (RGB) Auflösung: wenige Meter bei Standardflughöhe	Schichtdickenabschätzung im Nahbereich (ca. 250 m)	Schichtdickeninformation über Farbcode (BAOAC)	
IR (8 bis 12 µm) Auflösung: wenige Meter bei Standardflughöhe	Hotspots, dickere Bereiche im Nahbereich (ca. 250 m)	Einsatz auch bei Nacht	
UV (0,28 bis 0,38 µm) Auflösung: wenige Meter bei Standardflughöhe	Ausdehnung im Nahbereich (ca. 250 m)	Auch dünne Ölfilme sichtbar	
EO/IR (elektro-optisches/Infrarot)	Detaillierte Foto- und Videoaufnahmen mit hohem Zoomfaktor und hoher Stabilität	Schneller Überblick und Flexibilität, hohe Auflösung. Infrarotkanal auch bei Nacht	
Fotokamera Nikon D5	Optischer Eindruck	Details sichtbar, zum Beispiel kleine Objekte, Schriftzüge	

Tabelle 1: Hauptsensorik zur Detektion und Charakterisierung von Ölverschmutzungen auf dem Meer. Der Bonn Agreement Oil Appearance Code (BAOAC) ist ein standardisiertes visuelles Klassifikationssystem, das anhand von Farb- und Erscheinungsmerkmalen die Dicke von Ölfilmen auf Wasser aus der Luft abschätzt (Bonn Agreement 2022)

Baschek et al. 2015; Gade und Baschek 2012). Dabei hat jeder Sensor seinen eigenen vorteilhaften Einsatzbereich, sodass das Zusammenspiel entscheidend ist. Die Kombination aus spezieller Sensorik und erfahrenen Operateuren an Bord der Flugzeuge sorgt in den meisten Fällen für eine zuverlässige Unterscheidung zwischen Öl bzw. ähnlichen Substanzen und natürlichen Effekten. Neben den hochauflösenden Routineüberwachungen ermöglicht das System ein Monitoring im Schadensfall – speziell als Hilfsinstrument bei der Bekämpfung von austretendem Öl oder Bränden an Bord von havarierten Schiffen. Die Fähigkeit eines Livestreams der aufgenommenen Daten in den Stab des Havariekommandos ist ein wertvolles Mittel, um dem Krisenstab in Schadenslagen entscheidende Informationen in Echtzeit zur Verfügung zu stellen.

Die Daten der Sensoren stehen den geschulten und erfahrenen Operateuren im Flugzeug unmittelbar zur Begutachtung zur Verfügung. Für Bedienung und Auswertung steht hierbei eine zentrale Auswertestation zur Verfügung. Die integrierte Seekarte ermöglicht eine georeferenzierte Darstellung der Daten der Zeilenscanner. Mit Hilfe von Satellitenkommunikation können zudem ausgewähl-

te Lagebilddarstellungen oder auch Livebilder und -videos an den Havariestab übertragen werden.

3 Erweiterte Perspektiven – Möglichkeiten für den Mehrzweck Einsatz von UAS für die maritime Notfallvorsorge

Unbemannte Flugsysteme (UAS), das heißt Drohnen mit verschiedener Sensorik, haben in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung vollzogen. Dies betrifft sowohl die technische Weiterentwicklung und Reife von Fluggeräten und Sensorik als auch die Benutzerfreundlichkeit und eingeführte Regularien zum Einsatz. Über das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) Weser-Jade-Nordsee wurde eine erste Drohne zu Erprobung für das Mehrzweckschiff *Mellum* beschafft. Gerade das Umfeld auf einem Schiff in Bewegung bringt eine Reihe von Herausforderungen mit sich, bietet aber auch große Chancen für die Anwendung. UAS ergänzen den alltäglichen Einsatz von Satellitendiensten und den Überwachungsflugzeugen Do228 um neue Fähigkeiten und vor allem erweiterte Verfügbarkeiten. So liefern die UAS eine erweiterte Perspektive und eine verbesserte Entscheidungsgrundlage bei verschiedensten Schadenslagen.



Quelle: MZS Mellum/WSV

Abb. 1: Beispielbilder von UAS-Einsätzen von dem Mehrzweckschiff *Mellum* aus.
 Oben: Thermalaufnahme und Foto von der *Mellum*.
 Unten links: Erfolgreiche Suche und Begutachtung eines losgerissenen Seezeichens.
 Unten rechts: Zustandskontrolle einer Verankerung und Notschleppereinrichtung



Abb. 2: Aufnahme von einem UAS bei einer deutsch-niederländischen Übung auf der Ems, die unter anderem dem Erfahrungsaustausch zum Einsatz von UAS diente (siehe auch Havariekommando 2023)

3.1 Anwendungsszenarien für die maritime Notfallvorsorge (MNV)

Im Falle einer komplexen Schadenslage ist ein Einsatzleiter des Havariekommandos an Bord des im Einsatz befindlichen Mehrzweckschiffes (MZZ) und kann somit auf das UAS als Hilfsmittel zur Aufklärung der Lage zurückgreifen. Zum Beispiel sind sehr detaillierte Nahaufnahmen mit verschiedener Sensorik mit langen Einsatzzeiten und eine direkte Verfügbarkeit an – gegebenenfalls mehreren – Orten möglich. Im Laufe eines Einsatzes ist eine wiederholte, auch kurzfristige Aufklärung möglich. Die gewonnenen Ergebnisse der Aufklärung bzw. Beobachtung vor Ort werden vom Havariestab als Handlungs- und Entscheidungsgrundlage genutzt. Anwendungsszenarien in der MNV sind vor allem:

- Schadstoffunfallbekämpfung Öl und Chemie,
- Bergung zur Gefahrenabwehr (und Notschleppen),
- Brandbekämpfung,
- Verletztenversorgung.

3.2 Alltagsaufgaben

Die Verfügbarkeit von UAS auf den Mehrzweckschiffen kommt nicht nur in komplexen Schadenslagen zum Tragen. Sie hat auch ein hohes Nutzungspotenzial für Einsätze im Kontext mit Alltagsaufgaben der Mehrzweckschiffe oder bei Such- und Rettungsaktionen. Somit werden wechselseitige Synergien geschaffen: Ein häufiger Einsatz sorgt dafür, dass Personal in Übung und der Zustand der Technik regelmäßig begutachtet wird und so eine verbesserte Einsatzfähigkeit im Falle einer Schadenslage gegeben ist.

Beispiele für Einsatzbereiche von UAS mit optischer und thermaler Kamera für Alltagsaufgaben:

- Nahaufnahmen und Inspektion von Seezeichen, Wracks und ähnlichen interessanten Objekten mit sicherem Abstand des Schiffes auch in Flachwasser- oder Uferbereichen,
- Auffinden und Identifizieren von (potenziell

gefährlichen) treibenden Hindernissen wie verlorener Ladung – auch bei Dunkelheit,

- Unterstützung von Arbeits-, Such- und Rettungseinsätzen,
- Reduktion gefährlicher Einsätze für Personal,
- Lageerkundung für schiffahrtspolizeiliche Einsätze.

3.3 Testphase auf dem Mehrzweckschiff *Mellum*

Zur Evaluierung des Potenzials und für die Erprobung praktischer Aspekte des Alltagsbetriebs an Bord (siehe [Abb. 1](#) und [Abb. 2](#)) wurde über das WSA Weser-Jade-Nordsee für das Mehrzweckschiff *Mellum* als Einstiegsmodell eine DJI M30T beschafft. Dieses UAS hat weniger als 4 kg Abflugmasse, verfügt über eine Zoomkamera (Weitwinkel bis Tele) und eine Wärmebildkamera sowie einen Laserrange-Entfernungsmesser (DJI 2022). Zusatzmaterial wie ein Fallschirm zur Erhöhung der Sicherheit ist verfügbar und die Position zur automatischen Rückkehr (Return to Home) lässt sich vom Startpunkt auf die sich mit dem Schiff verlagernde Fernbedienungsposition umstellen (wiederholte Betätigung notwendig). Über eine zweite Fernbedienung lässt sich das Display per HDMI direkt auf einen Computer übertragen und dort anzeigen oder zum Beispiel über eine Standardvideokonferenzsoftware flexibel weltweit übertragen.

Allerdings ist das Modell nicht für den Einsatz auf See und vom Schiff aus konzipiert, sodass vorhandene Automaten nicht auf zum Beispiel Verlagerung oder Kippung des Startplatzes abgestimmt sind. Entsprechende Automaten werden daher zumindest bei Start und Landung deaktiviert, was deutlich erhöhte Anforderungen an die Piloten stellt. Schlechte Sicht, viel Wind und unruhige See erschweren zudem die Einsätze.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben das kombinierte Monitoringsystem aus einem Satellitendienst und zwei Überwachungs-

Danksagung

Das geschilderte aktuelle Monitoringsystem wird vom Havariekommando koordiniert. Das Marinefliegergeschwader 3 »Graf Zeppelin« betreibt die Sensorflugzeuge Do228. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde berät das Havariekommando zur Fernerkundung und ist zuständig für die Missionsausrüstung der Do228. Unser Dank gilt zudem der Arbeitsgruppe unbemannte Flugsysteme in der maritimen Notfallvorsorge mit Beteiligten von Bundesanstalt für Gewässerkunde, Havariekommando, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, dem Reedereizentrum, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie den UAS-Piloten des Mehrzweckschiffs *Mellum* sowie dem Wasserstraßen und Schifffahrtsamt Weser-Jade-Nordsee für die konstruktive Zusammenarbeit und die wertvollen Beiträge und Diskussionen zu den Konzepten, die in diesen Beitrag mit eingeflossen sind.

flugzeugen für Erkennung von Ölverschmutzungen auf dem Meer mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der maritimen Notfallvorsorge vorgestellt. Der UAS-Betrieb durch die Besatzungen der Mehrzweckschiffe sorgt für eine schnelle Verfügbarkeit von Bild- und Videodaten im Schadensfall sowie eine weitere Perspektive mit großem Zukunftspotenzial. Die bisherigen Erprobungen haben demonstriert, dass Schiffe unter anderem bei einer mechanischen Ölbekämpfung oder bei Schiffsbränden (zum Beispiel erfolgreicher Einsatz bei der Kollision des Containerschiffs *Solong* mit dem Öltanker *Stena Immaculate*, siehe

Video unter WSV 2025) durch regelmäßige Lagebilder aus der Luft durch UAS zielführender eingesetzt werden können.

Der Mehrwert besteht verallgemeinert bei der Einschätzung von Lagen durch eine verbesserte Übersicht, für die Dokumentation, bei der Kommunikation und zur Erzeugung von Bildmaterial zum Beispiel zur Lagebilderfassung und bei der Live-Übertragung. Zudem gibt es einen Nutzen für vielfältige Alltagsaufgaben.

In der fortlaufenden Erprobung werden weitere UAS-Modelle evaluiert, die speziell für den Einsatz von Schiffen aus angepasst sind. //

Literatur

Baschek, Björn; Martin Gade; Karl-Heinz van Bernem;

Fabian Schwichtenberg (2015): The German operational monitoring system in the North Sea: sensors, methods and example data. In: Oil Pollution in the North Sea, DOI: 10.1007/698_2015_399

Bonn Agreement (2022): Aerial Operations Handbook: Part 3 – Guidelines for Oil Pollution Detection, Investigation and Evaluation (Annex A: The Bonn Agreement Oil Appearance Code)

Carpenter, Angela (2015): European maritime safety agency CleanSeaNet activities in the North Sea. In: Oil Pollution in the North Sea, DOI: 10.1007/698_2015_429

Djavidnia, Samuel; Jorge Del Rio Vera (2012): European maritime safety agency cleanseanet activities in the baltic sea. In: Oil Pollution in the Baltic Sea, DOI: 10.1007/698_2012_198

DJI (2022): DJI Matrice 30 Series User Manual. <https://enterprise.dji.com/de/matrice-30/downloads>

Gade, Martin; Björn Baschek (2012): The German operational monitoring system in the Baltic Sea: sensors, methods and example data. In: Oil Pollution in the Baltic Sea, DOI: 10.1007/698_2011_130

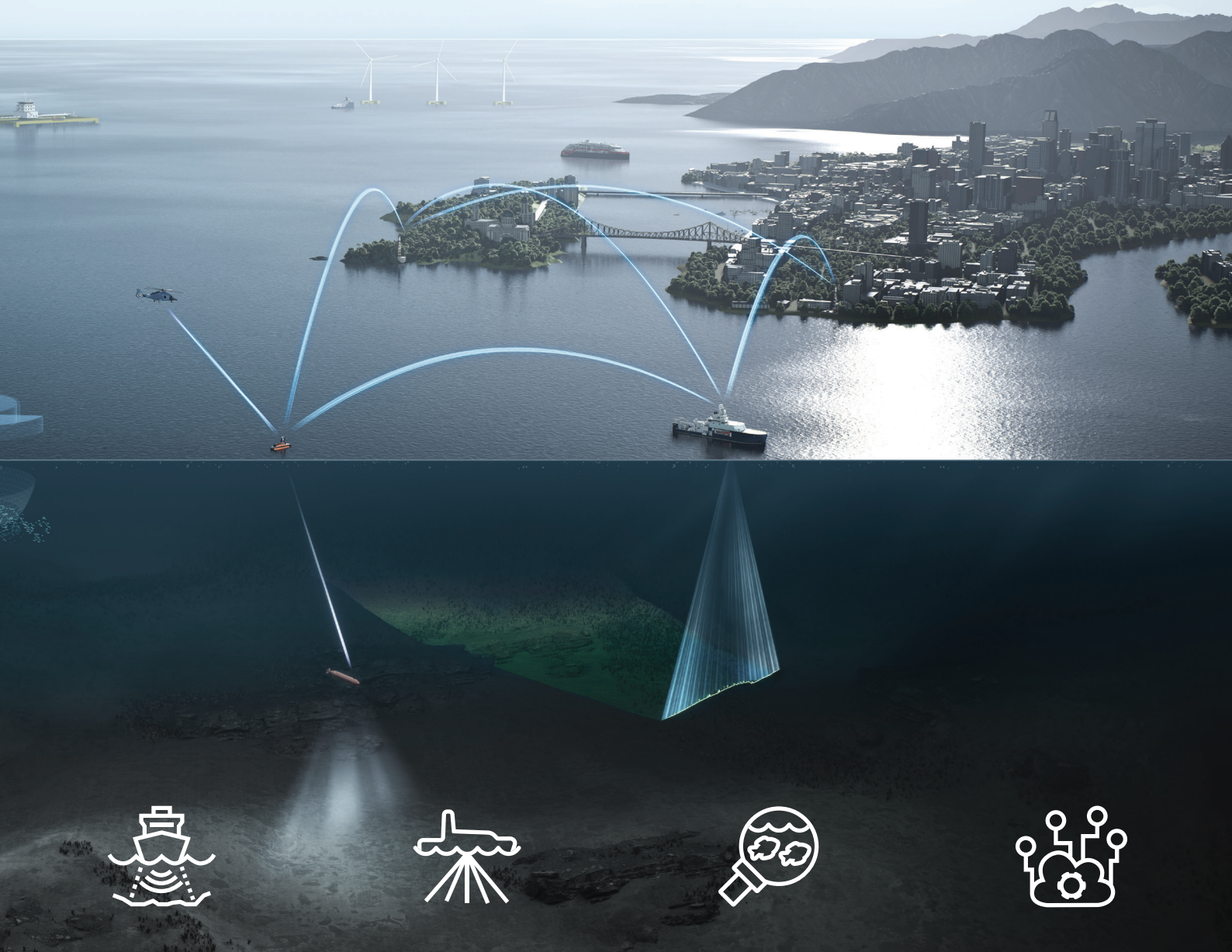
Havariekommando (2023): Niederlande und Deutschland trainieren Ölbekämpfung und erproben Drohneneinsatz. www.havariekommando.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/20230622_Uebung_Ems.pdf

Havariekommando (2026): Havariekommando – Gemeinsame Einrichtung des Bundes und der Küstenländer. www.havariekommando.de/DE/wir-ueber-uns/wir-ueber-uns-node.html

WSV (2025): Mehr Sicherheit auf See dank Drohnen. www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/2025/20250922_Drohnen_auf_See.html



KONGSBERG



Discovering
the secrets
of the ocean



kongsberg.com/discovery

Sensoren in Bewegung: MoBo als mobile Plattform für marines Monitoring

Entwicklung, Stand und Perspektive

Ein Beitrag von JENS FISCHER, KAI HERKLOTZ, KEVIN HETT und DENNIS KÜHNEL

Offshore-Windenergie | MARNET | Meeresumweltüberwachung | Monitoringboje
offshore wind energy | MARNET | marine environmental monitoring | monitoring buoy

Autoren

Jens Fischer, Kai Herklotz, Kevin Hett und Dennis Kühnel arbeiten beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Hamburg und Rostock.

jens.fischer@bsh.de

Die zuverlässige Erfassung von meteorologischen und ozeanografischen Parametern durch autarke Messsysteme wie Messbojen und Messpfähle wird insbesondere durch den weiteren Ausbau der Offshore-Windenergie immer wichtiger. So betreibt das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) im Rahmen von MARNET (Marines Meeresumweltsmessnetz) aktuell neun Messstationen in der Deutschen Bucht und der Ostsee. Ergänzend hierzu liefern drei FINO-Plattformen weitere relevante Messdaten, indem sie langfristig Wind- und Umweltparameter erfassen und so den Ausbau der Offshore-Windenergie wissenschaftlich begleiten und gezielt unterstützen. Der Ausbau der Offshore-Windenergie in Deutschland führt zu einem stark steigenden Bedarf an hochaufgelösten, verlässlichen Umwelt- und Winddaten auf See. Für die Planung, Genehmigung und den Betrieb von Offshore-Windparks sind insbesondere präzise Informationen über Windverhältnisse in Höhen von 100 bis 200 Metern sowie über ozeanografische Bedingungen wie Seegang, Strömungen und weitere Umweltparameter essenziell. Gleichzeitig gewinnt die Meeresumweltüberwachung zunehmend an Bedeutung – sowohl im Hinblick auf die von der EU vorgegebene Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) als auch im Kontext des Klimawandels und der zunehmenden anthropogenen Nutzung der Meeresräume.

Bestehende Messsysteme – wie feste Messmasten, Feuerschiffe oder Messbojen – liefern wichtige Daten, sind jedoch entweder räumlich begrenzt, kostenintensiv oder nicht in der Lage, umfassende vertikale Profile meteorologischer und ozeanografischer Parameter bereitzustellen. Insbesondere in weiter von der Küste entfernten Gebieten bestehen erhebliche Datenlücken, die bislang häufig nur durch Modellierungen mit ent-

sprechenden Unsicherheiten geschlossen werden können. Parallel dazu haben technologische Entwicklungen, insbesondere im Bereich der LiDAR-Fernerkundung (Light Detection and Ranging), neue Möglichkeiten zur Windmessung eröffnet. Floating-LiDAR-Systeme erlauben Messungen auf schwimmenden Plattformen und bieten damit eine flexible und kosteneffiziente Alternative zu festen Installationen. Dennoch fehlt es bislang an integrierten Systemen, die sowohl hochaufgelöste Windprofile als auch ozeanografische Tiefenprofile langfristig und autonom erfassen können. Vor diesem Hintergrund wurden spezielle Monitoringbojen (MoBo) als mobile, flexible und vergleichsweise kostenoptimierte Plattformen für ozeanografische und meteorologische Messungen entwickelt. Gleichzeitig rückt die Frage der zuverlässigen Energieversorgung dieser autonomen Systeme in den Fokus. Insbesondere der Einsatz von Wasserstoffhydridspeichern als kompakte, sichere und langfristige Energiequelle eröffnet neue Perspektiven für den Betrieb solcher Systeme unter marinen Bedingungen.

Gemeinsam mit dem Fraunhofer IWES verfolgte das BSH im Rahmen des MoBo-Projekts das Ziel, eine neue Generation von Monitoringbojen zu entwickeln, die sowohl meteorologische als auch ozeanografische Parameter erfassen können. Ein wesentlicher Innovationsschritt bestand in der Integration von LiDAR-Technologie zur Windmessung sowie der Erweiterung um Messketten zur Erfassung von Datenprofilen in der Wassersäule. Diese Kombination ermöglichte erstmals eine umfassende, vertikale Datenerhebung in der marinen Umgebung.

Ein zentrales Problem bei der Entwicklung solcher Systeme stellte jedoch die Energieversorgung dar. Herkömmliche Bojen nutzen meist eine Kombination von Batterien, Solar-/Windenergie oder Dieselgeneratoren, wobei letztere aufgrund von

Emissionen und Wartungsaufwand zunehmend kritisch gesehen werden. Bei den erneuerbaren Energiequellen sind die begrenzte Energiedichte und die Abhängigkeit von Umweltbedingungen (zum Beispiel Sonneneinstrahlung) als Lösungen für langfristige autonome Einsätze nur bedingt geeignet.

Hier setzt die Entwicklung von wasserstoffbasierten Energiesystemen an. Im Rahmen des HydrASys-Projekts wird ein innovativer Ansatz verfolgt, bei dem Wasserstoff in Metallhydriden gespeichert wird. Diese Speichertechnologie erlaubt es, Wasserstoff bei vergleichsweise niedrigen Drücken (<100 bar) sicher und mit hoher volumetrischer Energiedichte zu speichern. Im Vergleich zu klassischen Druckspeichern kann etwa die doppelte Menge an Wasserstoff pro Volumen gespeichert werden.

Ein weiterer entscheidender Entwicklungsschritt liegt in der Integration des Speichers in die Struktur der Boje selbst, insbesondere im Unterwasserbereich. Dadurch wird nicht nur Platz gespart, sondern auch die Sicherheit erhöht, da Wasserstoff im gebundenen Zustand vorliegt. Gleichzeitig nutzt das System das umgebende Meerwasser als Wärmequelle für die Desorption des Wasserstoffs, wodurch ein weitgehend selbstregulierender Betrieb ermöglicht wird.

Die im MoBo-Projekt entwickelten Systeme stellen hier einen bedeutenden Fortschritt dar. Sie kombinieren modulare Sensorik, robuste mechanische Konstruktion und verbesserte Datenmanagementsysteme mit der Fähigkeit zur autonomen Langzeitmessung. Dennoch bleibt die Energieversorgung der limitierende Faktor für die Einsatzdauer und Funktionalität.

Metallhydridspeicher bieten in diesem Kontext mehrere Vorteile: Neben der hohen Speicherdichte und Sicherheit zeichnen sie sich durch ihre Robustheit und Eignung für raue Offshore-Bedingungen aus. Der Wasserstoff ist chemisch im Metall gebunden, wodurch Explosionsrisiken im Vergleich zu gasförmigen Speichern deutlich reduziert werden. Zudem kann die notwendige Wärme für die Freisetzung des Wasserstoffs aus der Umgebung, insbesondere aus dem Meerwasser, gewonnen werden, was den Gesamtwirkungsgrad erhöht.

Das HydrASys-System sieht darüber hinaus die Kopplung des Speichers mit einer Brennstoffzelle vor, die elektrische Energie für die Boje bereitstellt. Ein typisches System kann etwa 7 bis 8 kg Wasserstoff speichern, was einer Energiemenge von rund

250 kWh entspricht und einen autonomen Betrieb über mehrere Monate ermöglicht. Ergänzt wird das System durch Sensorik zur Überwachung von Druck, Temperatur und Füllstand sowie durch eine skalierbare Architektur, die von kleinen Messbojen und zukünftig bis hin zu Offshore-Plattformen reichen soll.

Trotz dieser Fortschritte bestehen weiterhin Herausforderungen. Dazu gehören die Optimierung der Hydridmaterialien hinsichtlich Temperaturverhalten und Wasserstofffreisetzung, die mechanische Stabilität bei zyklischer Belastung sowie die Sicherstellung der »Schwarzstartfähigkeit«, also der Fähigkeit, das System ohne externe Energiezufuhr »kalt« zu starten.

Die Kombination aus Monitoringbojen und Wasserstoffhydridspeichern eröffnet weitreichende Perspektiven für das marine Monitoring und darüber hinaus. Durch die Möglichkeit, Bojen über lange Zeiträume autark zu betreiben, können Messnetze deutlich erweitert und auch in entlegenen oder schwer zugänglichen Gebieten etabliert werden. Dies verbessert nicht nur die Datenbasis für Wettervorhersagen und Klimamodelle, sondern auch für die Bewertung ökologischer Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf die Meeresumwelt.

Langfristig könnten solche Systeme eine Schlüsselrolle in der Dekarbonisierung maritimer Infrastrukturen spielen. Der Ersatz von Dieselgeneratoren durch wasserstoffbasierte Energiesysteme würde die Emissionen erheblich reduzieren und gleichzeitig die Betriebskosten senken.

Dennoch sind für eine breite Implementierung weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich. Insbesondere die Kostenreduktion, die Standardisierung von Systemkomponenten sowie die Zertifizierung für den Offshore-Einsatz sind entscheidende Faktoren. Auch die industrielle Fertigung von Hydridmaterialien in großen Stückzahlen stellt eine Herausforderung dar, bietet jedoch gleichzeitig erhebliche Skalierungspotenziale.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Monitoringbojen in Kombination mit Wasserstoffhydridspeichern einen vielversprechenden Ansatz für die Zukunft des marinen Monitorings darstellen. Sie verbinden innovative Sensortechnologie mit nachhaltiger Energieversorgung und ermöglichen so eine neue Qualität der Datenerhebung auf See. Die weitere Entwicklung dieser Systeme wird maßgeblich dazu beitragen, die Meeresforschung, die Offshore-Industrie und den Umweltschutz effizienter und nachhaltiger zu gestalten. //

Elektronische Seekarte im Wandel

Ein Beitrag von JENS SCHRÖDER-FÜRSTENBERG

elektronische Seekarte | ECDIS | S-52 | S-57 | S-100 | S-101 | Dual Fuel
 electronic navigational chart | ECDIS | S-52 | S-57 | S-100 | S-101 | Dual Fuel

Autor

Jens Schröder-Fürstenberg arbeitet beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Hamburg.

jens.schroeder-fuerstenberg@bsh.de

1 Einleitung

Seekarten unterstützen die Navigation schon seit vielen Jahrhunderten. Anfangs ergänzten sie lediglich schriftliche Segelanweisungen, doch im 19. Jahrhundert wurden sie zur Hauptquelle für eine sichere Navigation. Die Darstellung der Karteninhalte basiert seit nunmehr gut 200 Jahren auf wissenschaftlichen Grundlagen. Das betrifft sowohl die Navigation auf See als auch in der Binnenschifffahrt.

Im Jahr 1919 trafen sich Vertreter aus 24 Nationen in London zu einer Hydrographischen Konferenz und beschlossen die Gründung einer dauerhaften Organisation, welche die weltweiten hydrographischen Aktivitäten standardisieren sollte. Zwei Jahre später entstand daraus die International Hydrographic Organization (IHO) mit damals 19 Mitgliedsstaaten. Heute gehören der IHO 104 Mitgliedsstaaten an (IHO 2026).

Während es in der Binnenschifffahrt Wasserstraßenkarten gab und gibt (WSA 2026), richteten sich elektronische Binnenschifffahrtskarten (WSV 2026) weitestgehend an den Standards der elektronischen Seekarten der IHO aus.

Um Standardisierungsarbeiten effizient und koordiniert durchführen zu können, ist die Arbeit der IHO in zwei Komitees aufgeteilt. Während sich ein Komitee hauptsächlich mit der Koordinierung der internationalen Zusammenarbeit beschäftigt, fokussiert sich das zweite auf die Entwicklung technischer Standards für hydrographische Produkte und Dienste.

Die IHO initiierte die Entwicklung elektronischer Seekarten Ende der 1980er-Jahre. Dabei setzte sie konsequent auf Aufgabenteilung zwischen der Bereitstellung von Daten und deren Darstellung.

2 Aktuelle Standards

Die nationalen Hydrographischen Dienste (wie beispielsweise das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Deutschland) produzieren Datenpakete, deren Inhalte auf einem standardisierten Datenaustauschformat (S-57) basieren (IHO 2000). Jedes Datenpaket ist eine einzelne Datenbank. Das S-57-Datenaustauschformat besteht im Wesentlichen aus der Zweiteilung von Geometrie und deren kartografischen Merkmalen (Features) nebst zugehörigen Attributen. Attribute können verschiedene Attributwerte enthalten. Durch diese Struktur ist es möglich, mit einer relativ begrenzten Anzahl von Datenmodellelementen die

reale Welt umfassend abzubilden. Dazu müssen gegebenenfalls kartografische Merkmale aggregiert oder Assoziationen gebildet werden.

Für die Darstellung auf speziell dafür entwickelten Elektronischen Seekartenanzeige- und Informationssystemen (ECDIS) gibt es einen gesonderten Standard (S-52) (IHO 2014). Dieser ist in den ECDIS an Bord integriert. Alle über den reinen Karteninhalt hinausgehenden zusätzlichen Informationen überlagern den Karteninhalt. ECDIS verhindert Manipulationen am Karteninhalt und blendet die elektronische Seekarte bei Bedarf allein ein.

3 Grenzen aktueller Standards

Über die Jahre zeigte sich, dass die Teilung von Daten und Datenanzeige nicht optimal ist. Die Welt ändert sich fortwährend, und mit diesen Änderungen sind auch Anpassungen an kartografischen Darstellungen beziehungsweise an Informationsbereitstellungen notwendig. Während die Anpassung des S-57-Standards relativ unproblematisch realisierbar wäre, würde die damit notwendige Aktualisierung der Datenanzeige (S-52) teilweise unmöglich. Anpassungen der Darstellung scheiterten oft an der technischen Ausstattung der Schiffe. Manche ECDIS-Geräte stammen von Herstellern, die nicht mehr existieren, was Updates unmöglich macht.

Die Regularien für die Installation von ECDIS an Bord werden von der Internationalen Schifffahrtsorganisation (IMO) festgelegt. Dort ist geregelt, dass alle Schiffe eine einheitliche Information über das befahrene Seegebiet haben müssen. Unterschiedliche Informationsstände als Konsequenz von S-57- und S-52-Änderungen und deren Implementierung in den an Bord vorhandenen Anlagen sind nicht erlaubt. Als Konsequenz hat die IHO den S-57-Standard seit nunmehr 25 Jahren eingefroren und erlaubt nur Änderungen und Klarstellungen in den beiden Standards, die keine Auswirkungen auf die Kartendarstellung haben.

4 Der neue Standard: S-101

Um diese Einschränkungen zu überwinden, führte die IHO den neuen Standard S-101 ein (IHO 2024a).

Dieser neue Seekartenstandard basiert auf einem neuen Datenrahmen namens S-100. S-100 basiert auf den 19100er-ISO-Geodatenstandards (ISO 2002). Das Datenmodell umfasst, im Gegensatz zum S-57-Standard, eine viel größere Auswahl

an Datenformaten, Geometrieoptionen, kartografischen Merkmalen, ergänzenden Informationsmerkmalen und -beziehungen. Zusätzlich ist die Codierung ausgewählter Attributinformationen als komplexes Modell möglich. Diese neuen Möglichkeiten des S-100-Standards entfalten ein völlig neues Potenzial der Informationsdarstellung.

Im S-57-Standard werden ausschließlich unidirektionale Beziehungen zwischen kartografischen Merkmalen und ergänzenden Beschreibungen genutzt. Das heißt, ein kartografisches Merkmal hat eine Beziehung zu einer oder mehreren ergänzenden Beschreibungen. Wenn jetzt eine Datenbankabfrage initiiert werden würde, dann wäre es möglich, zu erfahren, welche Beschreibung zu welchem kartografischen Merkmal passt. Es ist jedoch nicht möglich, zu erfahren, welche kartografischen Merkmale zu einer ergänzenden Beschreibung passen würden. Mit anderen Worten: Ein kartografisches Merkmal weiß, dass es eine ergänzende Beschreibung hat. Die ergänzende Beschreibung weiß aber nicht, zu welchem kartografischen Merkmal sie gehört.

Um diesem Missstand zu begegnen, wird im neuen S-101-Standard die bidirektionale Beziehung zwischen einem kartografischen Merkmal und einer ergänzenden Beschreibung genutzt. Diese Änderung der Beziehungen zwischen zwei Datenbankelementen hat signifikante Auswirkungen in der Nutzung der Datenbankeinträge. In der neuen S-101 (ENC) sind also zwei Abfragen möglich: Welches kartografische Merkmal hat welche ergänzende Beschreibung? Und welche ergänzende Beschreibung passt zu welchen kartografischen Merkmalen?

5 Interoperabilität

Eine weitere Entwicklung, welche durchaus Potenzial hat, die Nutzung von Karten zu revolutionieren, ist die Einführung von Interoperabilitätsmechanismen. Diese reichen von der einfachen Überlagerung oder dem einfachen Austausch von kartografischen Merkmalen bis hin zur komplexen Hybridisierung der Attribute eines kartografischen Merkmals oder gar der Änderung des geometrischen Ausmaßes eines kartografischen Merkmals. So entstehen aktuellere und detailliertere Darstellungen. Allerdings bergen diese Mechanismen Risiken: Benachbarte Kartenbereiche könnten je nach Datenverfügbarkeit dasselbe Merkmal unterschiedlich darstellen.

Die Idee, Karteninhalte elektronischer Seekarten mit zusätzlichen Inhalten anzureichern, ist nicht neu. Schon in der S-57-Welt gab es technische Anwendungen, die Höhe der Gezeit bezogen auf einer Zeitachse so zu integrieren, dass es zu Änderungen im Tiefenbild kommt. Zudem gab es Bemühungen, den Karteninhalt mit zusätzlichen Informationslagen anzureichern. Die Lösungen, die direkt in die Darstellung des Karteninhalts eingriffen, sind über Prototypen und Anwendungen in inoffiziellen See-

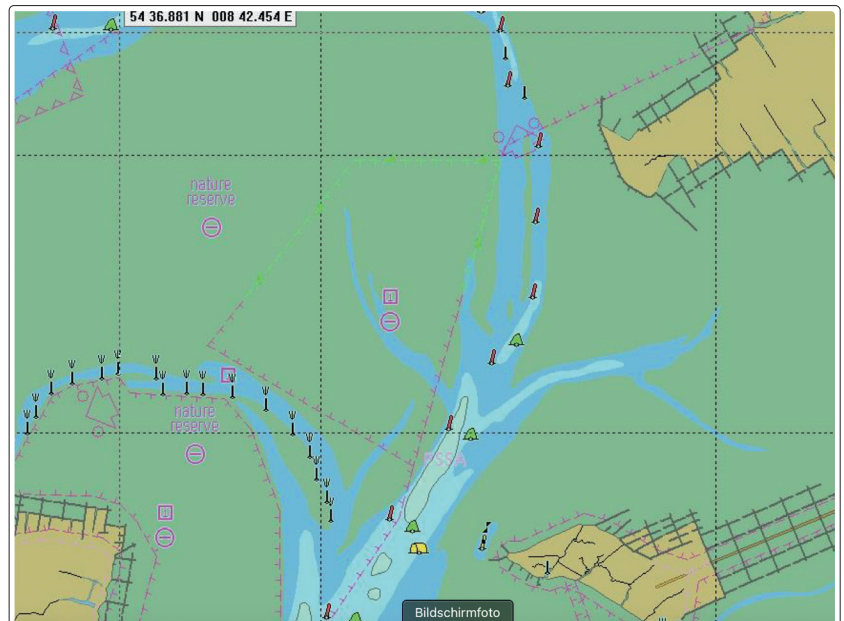


Abb. 1: Darstellung eines Robbenschutzgebiets in S-101 (ENC) und S-122 (Marine Protected Area)

kartensystemen nicht hinausgekommen. Einzig die Überlagerung des Kartenbilds mit zusätzlichen Informationslagen hat bei vielen Anwendungen eine bemerkenswerte Stabilität erreicht (Abb. 1). Diese Dienste wurden meistens von den Herstellern der ECDIS-Anlagen oder speziellen Dienstleistern angeboten. Offiziellen Einzug in die Herstellung von ENC hatten diese Dienste jedoch nie.

6 Vorteile von S-101

Die neue S-101 (ENC) ist ein Vektordatenprodukt unter dem S-100-Datenrahmen. Der S-100-Datenrahmen erlaubt zurzeit folgende Datenformate:

- Vektordaten nach dem ISO 8211-Standard,
- Vektordaten nach dem OGC GML-Standard,
- Rasterdaten im OGC hdf5-Standard.

Neben der elektronischen Seekarte gibt es also unter dem S-100-Datenrahmen andere Informationselemente, welche von der IMO als ENDS (Electronic Navigation Data Services) definiert wurden (IHO 2024b). Die ENDS korrelieren mit navigatorischen Diensten, die von der IMO im Rahmen ihres E-Navigation-Konzepts entworfen wurden.

7 S-101 Seekarten im Detail

Es gilt der Grundsatz, dass bei elektronischen Seekarten Detaildeutlichkeit und eine hohe Verlässlichkeit Voraussetzungen für eine sichere Nutzung sind.

Die mit der S-100-Einführung verbundenen Möglichkeiten der besseren Textplatzierung in der elektronischen Seekarte führen zu besserer Lesbarkeit und Erfassung des S-101-ENC-Karteninhalts. Informationsüberlagerungen gehören damit in die Vergangenheit. Die Notwendigkeit, zeitweise den Text zur besseren Erfassung des Kartenbilds auszublenken, entfällt.

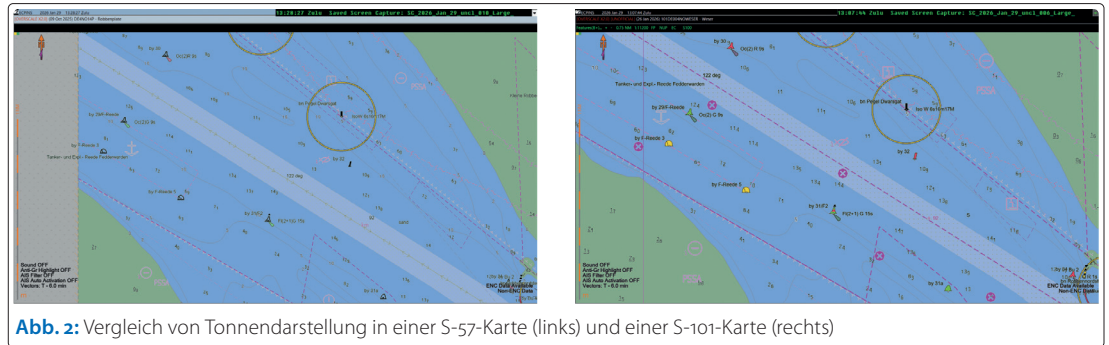


Abb. 2: Vergleich von Tonnendarstellung in einer S-57-Karte (links) und einer S-101-Karte (rechts)

Gleichzeitig sind die Tonnensymbole jetzt farblich dargestellt. Damit ist ein besserer Abgleich zwischen Angaben in der Seekarte und der Realität möglich. Die Aussage mag zunächst unspektakulär wirken, doch die präzise Übertragung optischer Wahrnehmung in die Kartenwelt erfordert erhebliche mentale Leistung. Gerade in Revieren wie der Weser oder auf stark befahrenen Flüssen wie Rhein, Donau oder Elbe, wo hoher Verkehr, komplexe Umwelteinflüsse und volle Konzentration auf die Schiffsführung zusammentreffen, ist jede Verringerung des notwendigen »Abgleichs« zwischen Realität und Karte ein Gewinn.

Mit der S-101-Karte sieht das nautische Personal auf dem Display genau das, was es auch draußen wahrnimmt, ohne Interpretationsspielräume, ohne »Übersetzungsfehler«. Das Ergebnis ist ein deutlich entspannteres und sichereres Navigieren. Es sind die vielen kleinen Stellschrauben im Detail, die die S-101-Karte in der praktischen Nutzung spürbar einfacher machen. Sie erleichtert die Navigation und verschafft dem Nautiker wertvolle Zeit für die eigentliche Schiffsführung (Abb. 2).

Zudem unterstützt S-101 die Möglichkeiten autonomer Navigation, indem es die Daten in maschinenlesbarem Format bereitstellt. So kann ein Seegebiet in Go-/No-Go-Bereiche unterteilt werden. Eine grafische Darstellung dieser Bereiche ist auf unbemannten Schiffen nicht notwendig.

Die IMO hat in den Mindestanforderungen für S-100-fähige ECDIS festgelegt, dass die elektronische Seekarte im S-101-Format immer die Grundlage für alle zusätzlichen Informationen sein muss. Sie dient als Rückfalloption, falls die Datenvielfalt auf dem Bildschirm zu komplex wird. Die S-101-

ENC definiert damit auch den Mindestinformationsumfang, der allen Schiffen zur Verfügung gestellt werden muss, um der genannten IMO-Anforderung nach einer einheitlichen Information über das befahrene Seegebiet zu entsprechen.

Andere S-100-Datenprodukte können den S-101-Inhalt überlagern, mit ihm interagieren oder austauschen. Welcher Inhalt bereitgestellt wird, entscheidet letztendlich der Schiffseigner beziehungsweise der Charterer. Dabei werden sicherlich auch finanzielle Aspekte eine Rolle spielen.

8 Praktische Anwendungen

Ein sehr gutes Beispiel für den Wandel der elektronischen Seekarten ist die Bereitstellung aktueller Wassertiefen unter Nutzung der S-100-Rasterdatenprodukte für hochaufgelöste Bathymetrie und aktuelle Wasserstände. Diese Daten können genutzt werden, um eine tiefgangsspezifische Sicherheitswassertiefenlinie auf die Karte zu projizieren. Damit besteht jetzt die Möglichkeit, den Navigationsraum eines Schiffes passgenau zu bestimmen (Abb. 3).

Das S-100-Datenmodell stellt auch Möglichkeiten bereit, Handbuchinformationen umfassend und gut strukturiert sowie schiffsspezifisch aufbereitet abzurufen. Das S-57-Datenmodell bietet folgende Möglichkeiten, Handbuchinformationen bereitzustellen:

- M_PUB: Metainformation über die Existenz einer nautischen Publikation für das Seegebiet,
- TXTDSC: Referenz zu einer unstrukturierten Textdatei beliebiger Länge,
- INFORM: Kleine Textdatei, welche auf dem Bildschirm dargestellt wird,
- PUBREF: Referenz zu einem Handbucheintrag.

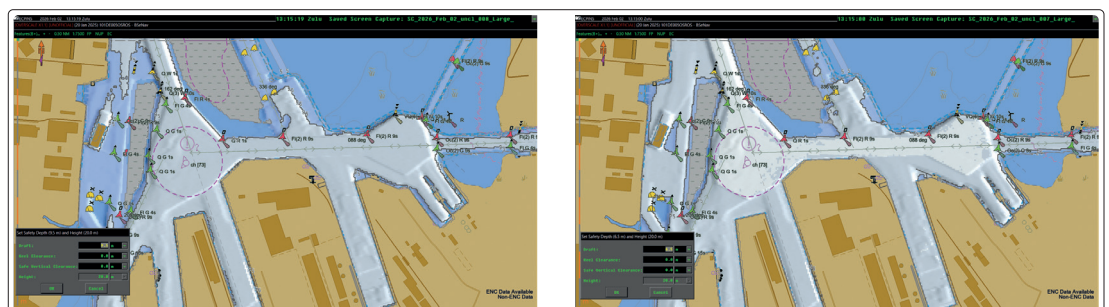


Abb. 3: Änderung des navigierbaren Seeraums auf Basis unterschiedlicher Safety-Contour-Werte (links: 9,5 m; rechts: 6,5 m)

Im Gegensatz dazu bieten alle S-100-basierten Vektordatenprodukte die Möglichkeit, Texte umfangreich und vor allem strukturiert bereitzustellen. Das Datenmodell bietet dafür vier Optionen, um Handbuchinformationen thematisch einzuordnen.

Zusätzlich ist es möglich, die Informationen so aufzubereiten, dass die Schiffparameter Beachtung finden und die Information für genau einen definierten Schiffstyp, Schiffparameter und Ladung aufbereitet wird. Das ist auch für die Datennutzung in der autonomen Navigation von großer Bedeutung.

9 Übergang zur S-100-Welt

Der Übergang von der derzeitigen flächendeckenden S-57-Abdeckung zu einer Abdeckung mit S-100-basierten Produkten passiert nicht über Nacht. Die globale hydrographische Gemeinschaft ist gefordert. Es wird damit gerechnet, dass der vollständige Übergang in die S-100-Welt mindestens zehn Jahre dauern wird. In der Übergangszeit wird es Gebiete geben, in denen sowohl Daten im S-57- als auch im S-101-Standard vorhanden sind und parallel genutzt werden. Diese Dual-Fuel-Situation erfordert, dass ECDIS-Geräte beide Welten strikt voneinander trennen können (Abb. 4).

Es wird möglich sein, dass in nicht offiziell zugelassenen elektronischen Kartensystemen (ECS) S-100-Datenprodukte die S-57-Karte überlagern. Das ist insbesondere für Nutzer von Bedeutung, die auf individuelle Softwarelösungen setzen und in der Vermischung von beiden Welten einen Mehrwert sehen.

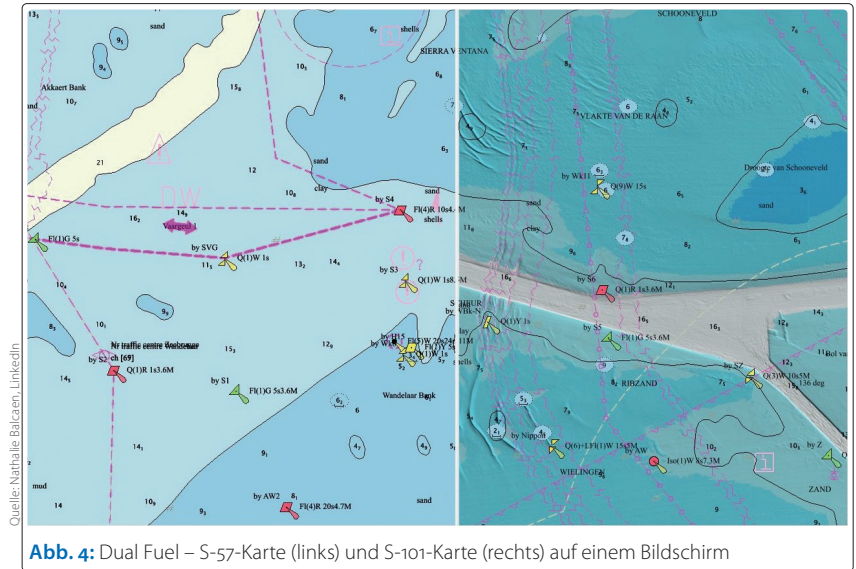


Abb. 4: Dual Fuel – S-57-Karte (links) und S-101-Karte (rechts) auf einem Bildschirm

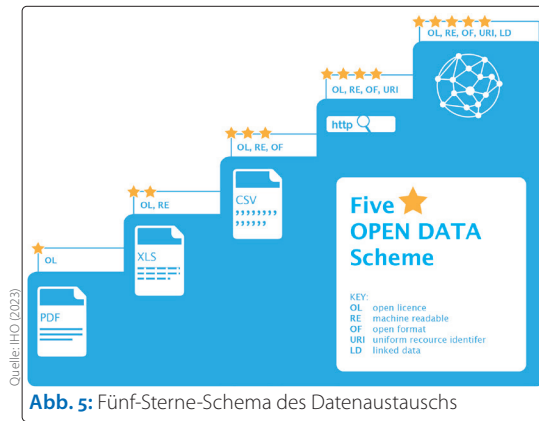


Abb. 5: Fünf-Sterne-Schema des Datenaustauschs

10 Ausblick

Obwohl S-101-Karten noch nicht flächendeckend verfügbar sind, zeichnet sich bereits die nächste Revolution ab: die Integration von Datendiensten. Das betrifft nicht so sehr den Karteninhalt und die Komplexität der Inhaltsmenge, sondern eher den Bereich der Datenlieferung. Zurzeit werden die für die Herstellung von S-101-ENC notwendigen Informationen bei den Hydrographischen Diensten gesammelt, ausgewertet, modelliert und in die

jeweiligen Produktionsumgebungen eingeladen (IHO 2023). Zukünftig könnten Kartenherstellung, Aktualisierung und Lieferung schneller, präziser und nutzungsorientierter werden. Die maritime Geodateninfrastruktur wird ihr volles Potenzial entfalten (Abb. 5).

Wir als BSH gehen von Daten aus, welche die Hydrographischen Dienste vorprozessieren, und Daten, welche als Dienste in die vorprozessierte Seekarte integriert werden. //

Literatur

IHO (2000): IHO transfer standard for digital hydrographic data, S-57. <https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-57/31Main.pdf>

IHO (2014): Specifications for chart content and display aspects of ECDIS, S-52. <https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-52/S-52%20Edition%206.1%20-%20June%202015.pdf>

IHO (2023): Spatial Data Infrastructures »The Marine Dimension«, C-17. https://iho.int/uploads/user/pubs/cb/c-17/C-17%20Ed%203.0.o_October%202023_Final.pdf

IHO (2024a): Electronic Navigational Chart, S-101 Standard. https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=214&product_ID=S-101&statusS=5&domainS=ALL&category=-product_ID&searchValue=

IHO (2024b): ENDS Tree Diagram. https://iho.int/uploads/user/Services%20and%20Standards/HSSC/HSSC16/HSSC16_S-100%20ENDS%20Tree%20diagram.pdf

IHO (2026): IHO Member States. <https://iho.int/en/map-of-member-states>

ISO (2002): Geographic information – Reference model. www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19101:ed-1:v1:en

WSA (2026): Bundeswasserstraßenkarten und Geoinformationen. www.wsa-main.wsv.de/Webs/WSA/Main/DE/Service/Karten/karten_node.html

WSV (2026): Inland ENC der WSV. www.elwis.de/DE/Service/Inland-ENC-der-WSV/Inland-ENC-der-WSV-page.html

Aktuelle Tiefen auf den Bundeswasserstraßen nutzbar machen

Ein Beitrag von ALISA YAKHONTOVA und WOLFRAM BAHN

ENC | IENC | bIENC | S-57 | S-100 | S-401 | S-402 | Tiefenlinien | Fahrrinnenkasten
ENC | IENC | bIENC | S-57 | S-100 | S-401 | S-402 | depth contours | fairway box

Autoren

Alisa Yakhontova arbeitet bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz.

Wolfram Bahn ist beim Fachbereich Geodäsie der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (FGewWSV) beschäftigt.

yakhontova@bafg.de

1 Einleitung

Für die Gewährleistung von Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs sind Navigationskarten von essenzieller Bedeutung. Sie unterstützen unter anderem bei der Navigation, ermöglichen die Routenplanung oder dienen der Kollisionsvermeidung.

Für die Seeschifffahrt wird die Electronic Navigational Chart (ENC) als amtliche elektronische Seekarte von den staatlichen Hydrographischen Diensten – in Deutschland vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) – erstellt und entspricht internationalen Standards der International Hydrographic Organization (IHO). Das Pendant für den Binnenbereich stellt die Inland Electronic Navigational Chart (IENC) dar, die von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) herausgegeben wird (Kastenholz 2023).

Seit 1992 wurden Navigationskarten im von der IHO definierten Datenübertragungsformat S-57 bereitgestellt, das jedoch nach rund 30 Jahren die heutigen Anforderungen der Schifffahrt, insbesondere hinsichtlich Flexibilität sowie der Unterstützung von Gitterdaten und zeitabhängigen Informationen, nicht mehr erfüllt. Als Nachfolger wurde das universelle Datenmodell S-100 entwickelt, das eine flexible Modellierung und Bereitstellung un-

terschiedlichster hydrographischer und maritimer Informationen ermöglicht, einschließlich bathymetrischer Gitterdaten (S-102) sowie weiterer Anwendungen über die klassische Hydrographie hinaus (IHO 2025a). Die Einführung von S-100 erfolgt schrittweise, mit einer Übergangsphase ab dem 01.01.2026 und einer verpflichtenden Nutzung für die See- und Küstennavigation ab dem 01.01.2029, wobei S-57- und S-100-Datenformate parallel koexistieren können. Für den Binnenbereich werden derzeit die Produktspezifikationen S-401 für elektronische Binnenschifffahrtskarten sowie S-402 für bathymetrische Informationen entwickelt (IHO 2025b).

Die aktuell von der WSV herausgegebenen IENCs im S-57-Format enthalten keine Information über die vorhandene Wassertiefe, sondern bilden lediglich die Begrenzung der freigegebenen Fahrrinne ab. Eine Erweiterung der Navigationskarten um Tiefeninformationen kann nach den Inland ENC Product Specifications (IENC 2.4/2.5) (ES-RIS 2025) über den optionalen Bathymetrie-Layer (bIENC) erfolgen. Dieser ermöglicht es der Schiffsführung, die vorhandenen Tiefenreserven des Fahrrinnenkastens, besonders in Niedrigwassersituationen, für die Navigation besser zu nutzen (Abb. 1). Politisch wird dieses Vorhaben durch das

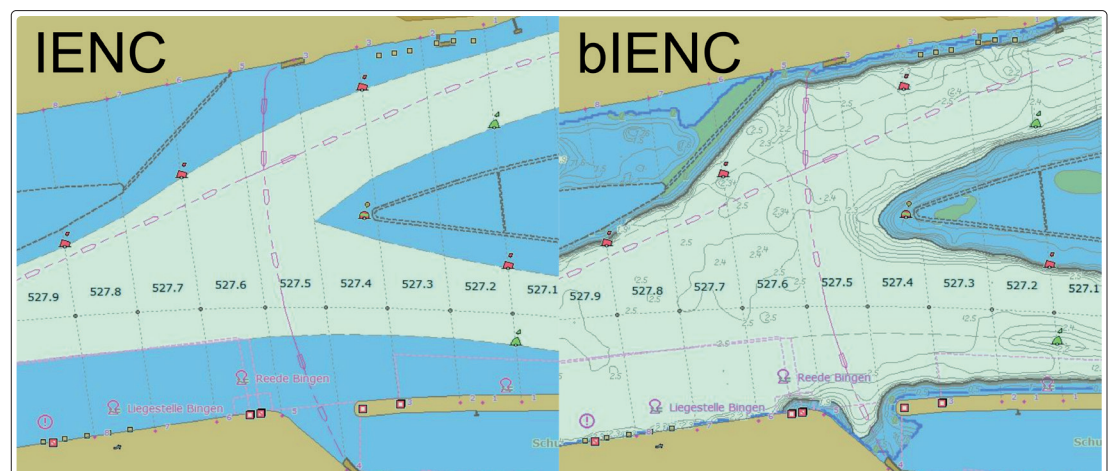


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung einer IENC (weiße Fläche markiert die Fahrrinne) und einer bIENC mit Tiefeninformationen (blaue und weiße Flächen entsprechen unterschiedlichen Tiefenschichten, zusätzlich sind Tiefenlinien dargestellt; schwarz für die Fahrrinnenkastentiefe und grau für weitere Tiefen)

Handlungsfeld 3 »Bereitstellung aktueller Tiefeninformationen für die Schiffsführung« des Aktionsplans »Niedrigwasser Rhein« unterstützt. Für die Umsetzung wurde von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) in Zusammenarbeit mit den Wasserstraßen- und Schifffahrtsämtern (WSÄ) Rhein und Oberrhein sowie der Fachstelle Geodäsie und Geoinformatik der WSV (FGeoWSV) eine Konzeptskizze zur Untersuchung, Erstellung und Bereitstellung der bIENC erstellt. Derzeit wird die Nutzung von bIENC am Rhein erprobt (Kastenholz und Artz 2025).

Umsetzung

Damit die Tiefeninformationen in Form von bIENC von der Schifffahrt an Bord benutzt werden können, müssen sie den Vorgaben des ECDIS-Standards für IENC entsprechen. Im Vergleich zu Messungen im Küstenbereich und zu Verkehrssicherungszwecken bestehen strengere Anforderungen an die Modellierung der Gewässersohle aus den rohen und in hohem Maße von Messrauschen behafteten Punktwolken. Maßgeblich sind dabei zum einen die Topografie des Flussbetts von Binnenwasserstraßen, zum Beispiel mit engen tiefen Tälern, und zum anderen die hohe Morphodynamik in der verhältnismäßig schmalen Fahrrinne (von ca. 120 m am Rhein).

Die Wahl der Modelltypen ist essenziell für das gesamte Mess- und Auswertekonzept. Zunächst wird ein hochaufgelöstes Modell des Gewässerbodens mit einer Maschenweite von 0,5 m erstellt, bei dem das Messrauschen eliminiert wird, gleichzeitig aber die Struktur des Gewässerbodens in ausreichendem Maße erhalten bleibt. Hieraus ergeben sich konkrete Anforderungen an die Messung. Aus dem hochaufgelösten Modell wird anschließend ein Minimamodell mit einer Maschenweite von 3 m abgeleitet, welches eine erste nautisch korrekte Generalisierung ermöglicht und zur Berechnung der Tiefenlinien genutzt wird.

Die notwendigen Schritte für die Erstellung von bIENC-Produkten werden in diesem Abschnitt beschrieben. Dabei werden die Anforderungen an die fächerecholotgestützte Erfassung der Gewässersohle, die Verarbeitung der Messdaten sowie die Modellierung und die Bereitstellung auf den Schiffen betrachtet.

Messung

Für die zuverlässige Berechnung von hochaufgelösten Modellen ist eine möglichst homogene und isotrope Verteilung der Messpunkte notwendig. Aufgrund der Messgeometrie in Verbindung mit Effizienzanforderungen ist diese Anforderung bei Fächerecholotmessungen nur bedingt zu erfüllen. Als Minimalanforderung wurde daher für die bIENC-Erstellung am Rhein eine Messpunkt-

dichte von mindestens 40 bis 50 Messwerten pro m^2 bei einem maximalen Messpunktabstand in Fahrtrichtung von 23 cm definiert.

Die kritische Messpunktdichte in Fahrtrichtung (Along Track) wird durch die Pingrate und die Fahrgeschwindigkeit des Schiffes bedingt. Die Pingrate ist daher zu maximieren, um unter den gegebenen Randbedingungen eine möglichst große Flächenleistung zu erreichen.

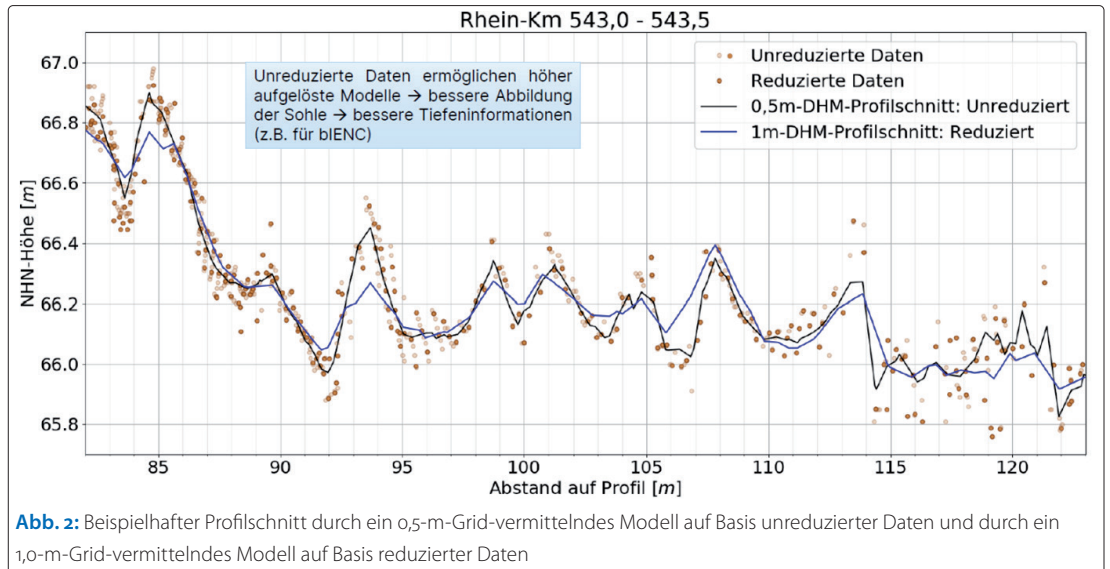
Aufgrund der groben Diskretisierung Along Track ist für eine größtmögliche Redundanz eine maximale Punktdichte im Fächer (Across Track) umso wichtiger. Je mehr Messwerte in Across Track erfasst werden, desto zuverlässiger können Ausreißer detektiert und der Modellstützpunkt geschätzt werden. Dies entspricht einem Messwertebstand von mindestens 3 cm in Across Track. Um auch in den Randbereichen des Fächers eine hohe Punktdichte zu erreichen, sollte zwingend im Equidistant-Modus gemessen werden.

Auswertung

Die sorgfältige Plausibilisierung der Messdaten ist eine weitere Grundvoraussetzung, um die Übertragung von Fehlmessungen in die bIENCs zu vermeiden. Größere Datenlücken, die beispielsweise aus Ortungsdefiziten unter Brücken resultieren, müssen individuell geschlossen werden. Fehlerhafte GNSS-Trajektorien werden korrigiert, anschließend werden die Bodenpunkte neu berechnet.

Durch geeignete automatisierte und manuelle Verfahren wird im Rahmen der Punktwolken-Plausibilisierung gewährleistet, dass die Ableitung eines Geländemodells nicht durch Artefakte im Beobachtungsmaterial verzerrt wird. Wie bei Arbeiten mit Verkehrssicherungsfokus ist eine sorgfältige Messdatenplausibilisierung im Bereich der zu gewährleistenden Fahrrinntiefe notwendig, insbesondere damit keine topologischen Fehler zwischen Tiefenlinien und Fahrrinne entstehen. Zusätzlich muss die Messdatenbereinigung für eine Verlässlichkeit des bIENC-Produktes in allen Tiefen hohen Ansprüchen genügen. Damit dieser Mehraufwand bewältigt werden kann, sind möglichst automatisierte Verfahren anzuwenden. Der Erfolg dieser Verfahren steigt mit der Anzahl der zur Verfügung stehenden Messpunkte. Daher sind deutlich höhere Messpunktdichten als die oben genannten Minimalanforderungen anzustreben.

Im Anschluss an die Plausibilisierung wird die Modelloberfläche durch Approximation von ganzen rationalen Polynomen an die Messpunkte in der Umgebung der Modellstützpunkte (Einflussbereich) ermittelt (Lorenz et al. 2021), um das Messrauschen zu reduzieren und gleichzeitig die vorhandene Struktur der Gewässersohle bestmöglich abzubilden. Untersuchungen haben gezeigt, dass Modelle mit $0,5\text{ m} \times 0,5\text{ m}$ Maschen notwendig



sind, um daraus realistische und zuverlässige Tiefeninformationen abzuleiten. Eine gröbere Modellauflösung führt dazu, dass kleinere Strukturen nicht mehr aufgelöst werden können und infolgedessen unvollständige und verfälschte Tiefeninformationen entstehen. Abb. 2 verdeutlicht diesen Zusammenhang anhand eines Beispieldatensatzes. Es ist deutlich sichtbar, dass ein Standardmodell mit einer Rasterweite von 1 m nicht in der Lage ist, die feineren Strukturen der Gewässersohle abzubilden, die für die Ableitung belastbarer Tiefeninformationen von zentraler Bedeutung sind. Wird der Gewässerboden durch die Modellierung zu sehr geglättet oder generalisiert, kann das zu einer scheinbaren Einengung der Fahrrinne oder zu der Entstehung von Pseudo-Mittelgründen führen.

Um den Glättungseffekt durch die Modellierung zu minimieren und gleichzeitig alle Messpunkte zu berücksichtigen, wird bei einem hochauflösten Modell von 0,5 m × 0,5 m ein Einflussradius von 35 cm gewählt. Um dabei eine zuverlässige Schätzung eines Modellstützpunktes zu gewährleisten, sollten mindestens drei Pings im Einflussradius liegen. Daraus ergibt sich der oben genannte minimale Along-Track-Punktabstand von 23 cm.

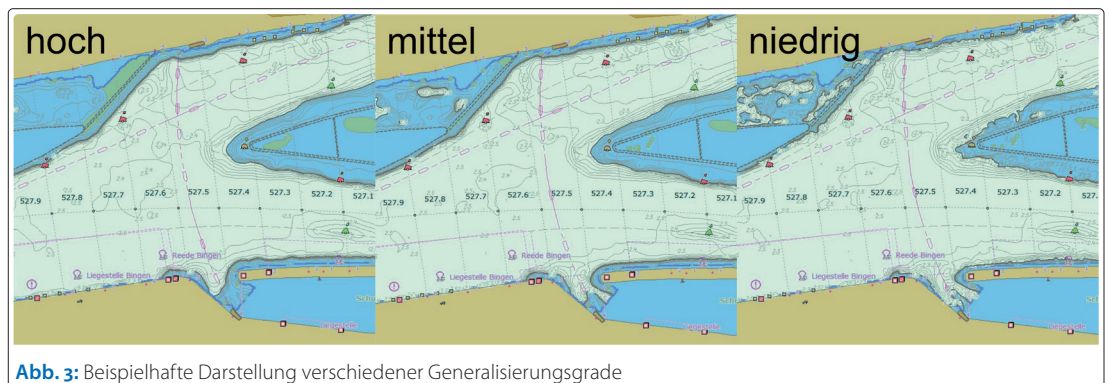
Die einzeln erzeugten Modelle der Messstreifen oder der Messtage werden im nächsten Schritt

zusammen verwendet, um pro BIENC-Blattschnitt ein generalisiertes Minimamodell von 3 m × 3 m zu erzeugen. Dieses ist ebenfalls ein regelmäßiges, nordorientiertes vermaschtes Modell, bei dem kein Punkt des Halbmetermodells oberhalb der neu vermaschten Modellfläche liegt. Damit im Grenzbereich des Modells und später bei der Erstellung der Tiefenlinien keine Lücken zwischen den BIENC-Blattschnitten entstehen, muss das Begrenzungspolygon mindestens um 10 m entlang der Flussachse erweitert werden.

Ableitung von Tiefenlinien

Solange der S-401- und S-402-Standard nicht von der Binnenschifffahrt eingesetzt wird, werden die Tiefenlinien weiterhin nach dem S-57-Standard produziert. Dafür werden aus Minimamodellen die Tiefenflächenpolygone abgeleitet und im S-57-Standard bereitgestellt.

Die Erstellung der Tiefenlinien wird primär durch zwei Parameter gesteuert: die Tiefenintervalle und den Grad der Generalisierung (Abb. 3). Diese Parameter wurden für eine 50 km lange Pilotstrecke am Rhein (Rhein-km 500 bis 550) pro BIENC-Blattschnitt festgelegt. Die Wahl der Tiefenintervalle orientiert sich insbesondere an der Tiefe des Fahrrinnenkastens. Zur Festlegung des Gene-



ralisierungsgrades wurden Rückmeldungen der Binnenschifffahrt in einem Stakeholder-Workshop gesammelt. Bei der Umsetzung wurde darauf geachtet, dass die Tiefenlinien nicht zu fein aufgelöst sind, aber trotzdem nautisch korrekt sind und der Fahrrinnenkasten nicht eingeschränkt wird, wenn die plausibilisierten Messpunkte nicht in den Fahrrinnenkasten hineinragen.

Der Zuschnitt der bIENC orientiert sich an den vorhandenen IENC-Blattschnitten. Zur Erstellung der S-57-Produkte werden die 3-m-x-3-m-Minimamodelle in der Regel in 11-km-Abschnitte zusammengefasst. Mit Hilfe der M_COVR aus der IENC erfolgt der deckungsgleiche Zuschnitt der bIENC-Zellen. Zum Abschluss der Herstellung erfolgt der Export als *.000-Datei im S-57-Format.

Zur Sicherung der Qualität erfolgt eine Validierung der erzeugten *.000-Dateien. Hierbei werden die durch die IHO gesetzten Standards abgeprüft,

etwaige Abweichungen protokolliert und behoben.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Bereitstellung von Tiefeninformationen in Form von bIENC im Binnenbereich ist anspruchsvoll, vor allem da die gewährleistete Tiefe des Fahrrinnenkastens eingehalten werden muss und keine künstlichen Einschränkungen durch den Erstellungsprozess entstehen dürfen. Die nautische Korrektheit der Tiefenlinien lässt sich durch die hochaufgelösten Modelle und die dafür erforderlichen Mindestanforderungen an die Messung sicherstellen. Die Ansprüche der Schifffahrt auf hochgeneralisierte Ergebnisse werden bei der Erstellung der S-57-Produkte berücksichtigt. Somit ergibt sich eine gesamte Prozesskette von der Datenerfassung über die Modellierung und die Generalisierung bis hin zur Bereitstellung der bIENC-Produkte. //

Literatur

ES-RIS (2025): Europäischer Standard für Binnenschifffahrtswaterinformationssysteme. Europäischer Ausschuss zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt. www.cesni.eu/wp-content/uploads/2024/11/ES-RIS25_signed_de.pdf

IHO (2025a): S-100 – Universal Hydrographic Data Model. https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=226&product_ID=S-100&status=S=5&domainS=ALL&category=product_ID&searchValue=

IHO (2025b): S-401 – Inland Electronic Navigational Chart. https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=225&product_ID=S-401&status=S=5&domainS=ALL&category=product_ID&searchValue=

Kastenholz, Reiner (2023): Tiefeninformationen in elektronischen Karten für die Schifffahrt – Eine

Aufgabe der WSV. www.bafg.de/DE/5_Informiert/3_Veranstaltungen/Veranstaltungsseiten/2023/2023_11_29/vortrag_kastenholz.pdf

Kastenholz, Reiner; Thomas Artz (2025): Gewässervermessung an den Binnenwasserstraßen des Bundes. *Journal of Applied Hydrography – Hydrographische Nachrichten*, DOI: 10.23784/HN130-03

Lorenz, Felix; Thomas Artz; Thomas Brüggemann et al. (2021): Simulation-based Evaluation of Hydrographic Data Analysis for Dune Tracking in the River Rhine. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*. DOI: 10.1007/s41064-021-00145-0

Automatisiertes und interaktives Echtzeitmonitoring des Schiffsverkehrs mit GIS

Ein Beitrag von NATASCHA JAKOBSEN und LARS BEHRENS

Die Überwachung des maritimen Schiffsverkehrs erfordert die Verarbeitung und Analyse hochfrequenter Sensordaten in Echtzeit. Dieser Beitrag stellt einen GIS-basierten Ansatz zur Integration, räumlichen Analyse und Visualisierung heterogener maritimer Echtzeitdaten vor. Anhand eines Anwendungsbeispiels soll gezeigt werden, wie im Vorfeld fusionierte AIS-basierte (Automatic Identification System) und landbasierte Radardaten in einer eventbasierten Infrastruktur innerhalb einer modernen GIS-Architektur angereichert und verarbeitet werden können. Die Kombination aus Echtzeitdatenverarbeitung, Geofencing, optimierter Speicherung von großen Datenmengen und kartenbasierter Visualisierung soll die Erzeugung eines konsistenten maritimen Echtzeitlagebildes ermöglichen. Der vorgestellte Ansatz ist auf vergleichbare Monitoring-Szenarien übertragbar und bildet eine Grundlage für weitergehende Automatisierungs- und Analyseverfahren im maritimen Kontext.

Echtzeitmonitoring | maritimes Lagebild | Echtzeitdatenverarbeitung | ArcGIS
real-time monitoring | maritime situational awareness | real-time data processing | ArcGIS

Monitoring maritime shipping traffic requires the processing and analysis of high-frequency sensor data in real time. This paper presents a GIS-based approach to the integration, spatial analysis and visualisation of heterogeneous real-time maritime data. Using an application example, we aim to demonstrate how pre-fused AIS-based (Automatic Identification System) and land-based radar data can be enriched and processed within an event-driven infrastructure as part of a modern GIS architecture. The combination of real-time data processing, geofencing, optimised storage of large data volumes and map-based visualisation is intended to enable the generation of a consistent real-time maritime situational picture. The approach presented is transferable to comparable monitoring scenarios and forms a basis for further automation and analysis procedures in a maritime context.

Autoren

Natascha Jakobsen und Lars Behrens arbeiten bei der Esri Deutschland GmbH in Kranzberg.

n.jakobsen@esri.de

1 Einleitung

Die konventionelle Überwachung des maritimen Raums (Maritime Domain Awareness) stützte sich über Jahrzehnte primär auf landgestützte Küstenfunkstationen und Radarsysteme. Das Internet of Things (IoT) hat neue Möglichkeiten für ein ganzheitliches Echtzeitmonitoring des marinen Verkehrs eröffnet (Yan et al. 2022; Nathisiya et al. 2024). Das Automatic Identification System (AIS), das seit 2002 für Schiffe an fast allen Küsten- und Offshore-Gebieten verpflichtend ist, bildet neben dem Radarverfahren eine wichtige Echtzeitdatenquelle, die Daten zu Position, Identität und Beschreibung der Schiffe in Echtzeit liefert.

Die Prozessierung und Visualisierung maritimer Echtzeitdaten in einem Geoinformationssystem (GIS) bringt viele Vorteile mit sich (Isbaex et al. 2025). Im Gegensatz zu isolierten Überwachungslösungen ermöglicht GIS neben der Integration hochfrequenter Positionsdaten eine räumliche

Analyse dieser Echtzeitdatenströme im Backend und eine ganzheitliche Visualisierung der Schiffspositionen samt Benachrichtigungen über relevante Ereignisse in einer kartenzentrischen Anwendung.

Dieser Beitrag zeigt, wie heterogene Echtzeitdatenströme in eine moderne GIS-Architektur integriert, in ihr analysiert und visualisiert werden können, um den Schiffsverkehr automatisiert zu überwachen.

2 Methodischer Ansatz für Echtzeitmonitoring des Schiffsverkehrs

2.1 Das ArcGIS-System

Das ArcGIS-System bietet eine durchgängige Plattform zur Verarbeitung von Echtzeitdatenquellen. Als End-to-End-System ermöglicht ArcGIS eine nahtlose Integration, Analyse, Speicherung und Visualisierung von verschiedenen Echtzeitdaten aus

dem maritimen Kontext (Abb. 1). Die skalierbaren Technologien sind in der Lage, hochfrequente Datenströme mit minimaler Latenz in Echtzeit räumlich zu prozessieren, zu speichern und effizient auf der Karte darzustellen. Eine interaktive Visualisierung in Form von Echtzeitkarten und -Dashboards erleichtert datenbasierte Entscheidungsprozesse (Esri o. J. a).

2.2 Datenquellen und Integration der Echtzeitdaten

Echtzeitdaten wie AIS-Signale können über unterschiedliche Messaging-Frameworks und in verschiedenen Datenformaten bereitgestellt werden. Zu den gängigen Messaging-Frameworks im maritimen Kontext gehören zum Beispiel Kafka oder RabbitMQ. Als Austauschformate dienen standardisierte Strukturen wie JSON, XML, CSV und weitere.

Ein zentraler Vorteil der ArcGIS-Plattform ist die nahtlose Integration heterogener Echtzeitdatenquellen über diverse Schnittstellen. Die Einbindung der Echtzeitdaten in ArcGIS erfolgt über die sogenannten Konnektoren, die eine direkte Verbindung zur Schnittstelle aufbauen und die Sensordaten in Echtzeit empfangen. Eine API ist häufig mit einem Authentifizierungsverfahren verschlüsselt oder befindet sich hinter einer Firewall. Durch integrierte Authentifizierungsmechanismen und erweiterte Systemeinstellungen, ist ArcGIS in der Lage, nahezu alle Arten von Echtzeitdatenquellen zu integrieren (Esri o. J. b).

2.3 Räumliche eventbasierte Echtzeitanalyse und Geofencing

Die Echtzeitdaten werden in ArcGIS in einer eventbasierten Prozesskette verarbeitet. Die Verarbeitung erfolgt mit leistungsstarken räumlichen Prozessoren, die in die Kette zwischengeschaltet werden und eine Verknüpfung, Modifizierung, Anreicherung, räumliche Auswertung eines oder mehrerer Echtzeitdatenströme ermöglichen. Dies bedeutet, dass zum Beispiel jede gesendete AIS-Position oder jedes Radarsignal als Event prozessiert und sofort an die Endnutzenden weitergeleitet wird.

Ein zentrales Instrument ist hierbei das Geofencing. Ein Geofence ist ein definierbares Polygon, das manuell oder automatisiert erstellt werden kann und zum Beispiel maritime Zonen wie Reviere, Ankerverbotzonen oder Naturschutzgebiete repräsentiert (Ballines-Barrera et al. 2023). Mit den Prozessierungswerkzeugen lassen sich die Echtzeitdaten mit den Geofences verschneiden und auswerten. Auf diese Art lassen sich verschiedene Fragestellungen in Echtzeit beantworten. Hier sind einige Beispiele:

- Identifikation, in welchem Revier sich Schiffe aktuell befinden,

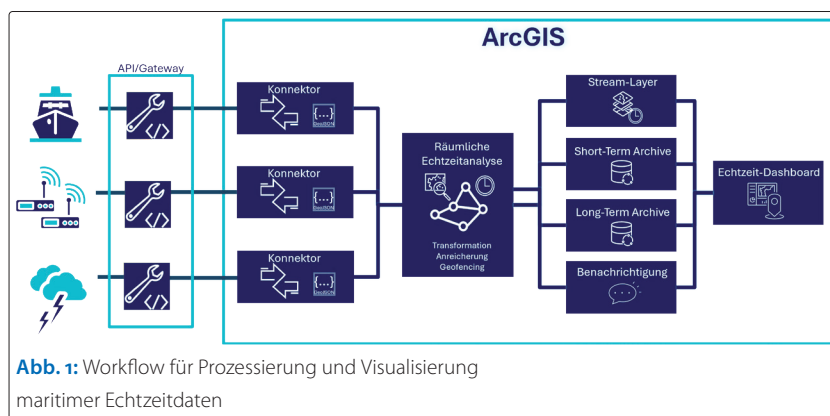


Abb. 1: Workflow für Prozessierung und Visualisierung maritimer Echtzeitdaten

- automatisierte Erkennung, in welchem Sektor und Revier sich das jeweilige Schiff gerade befindet,
- automatisierte Erkennung, ob Schiffe unautorisiert in Sperrgebiete eingedrungen sind, inklusive präziser Erfassung von Zeit und Ort des Vorfalles.

So können Vorfälle frühzeitig identifiziert werden. Mit den integrierten Benachrichtigungsfunktionen lassen sich außerdem Nachrichten per Teams, Slack, SMS und E-Mails unmittelbar nach dem Ereignis an die Endgeräte der verantwortlichen Personen schicken.

2.4 Speicherung

Bei der maritimen Überwachung ist es notwendig, die Daten zu speichern, um die vergangenen Ereignisse rekonstruieren zu können. Aufgrund der hohen Frequenz und der Menge der Echtzeitdaten ist eine Speicherung in einer relationalen Datenbank nicht ausreichend performant. Dementsprechend ist es auch wichtig, dass ein System eine effiziente Speicher- und Analysemöglichkeit für große Mengen an Geodaten zur Verfügung stellt.

Deshalb werden Echtzeitdaten in ArcGIS in einer speziellen Datenbank, dem sogenannten Spatio-temporal Big Data Store, gespeichert. Dieser ist extra für große Mengen raum-zeitlicher Daten optimiert und ermöglicht daher eine mittel- bis langfristige Archivierung. Diese Daten bilden die Grundlage für die Unfallrekonstruktion, die nachträgliche Analyse von Beinahe-Kollisionen oder die Identifizierung langfristiger Verkehrsmuster, die für das maritime Monitoring unerlässlich sind.

2.5 Visualisierung über kartenbasierte Echtzeit-Dashboards

Eine visuelle Darstellung des maritimen Echtzeitlagebildes auf einer Karte ist am anschaulichsten. Deshalb bringen interaktive Kartenanwendungen und Dashboards viele Vorteile mit sich, weil es direkt ersichtlich ist, wo ein Ereignis aufgetreten ist. Gleichzeitig können alle notwendigen Informatio-

nen über weitere Daten von Objekten abgerufen werden.

Um die Zeitverzögerungen zwischen dem Signal und der Darstellung möglichst kurz zu halten und Tausende Schiffspositionen sofort auf der Karte zu visualisieren, wird hier die Technologie eines Stream-Layers genutzt (Esri o. J. c).

Bei den herkömmlichen Feature-Layern müssen Client-Anwendungen regelmäßig den Feature-Service mit der entsprechenden Datenbank im Hintergrund abfragen, um neue und aktualisierte Features zu erhalten. Ein Stream-Layer leitet die Echtzeitdaten nach der Prozessierung an einen WebSocket weiter, welcher, ohne eine Datenbank abzufragen, diese sofort auf der Karte darstellt. Dies erhöht die Performanz der Anwendung deutlich und stellt sicher, dass die Daten fast ohne Zeitverzug visualisiert werden.

3 Use Case

In den deutschen Küstengewässern gewinnt die Überwachung und Analyse des Schiffsverkehrs mit Hilfe von maritimen Lagebildern zunehmend an Bedeutung. Ziel aktueller Entwicklungen einer Kooperation von IBM Deutschland und Esri Deutschland ist es, aktuelle und historische Schiffsbewegungen in den deutschen Küstengewässern zuverlässig darzustellen, sicherheitsrelevante Situationen frühzeitig zu erkennen und eine fundierte Entscheidungsgrundlage für operative und strategische Aufgaben bereitzustellen.

Als Echtzeitdatenquellen bilden die AIS-Positionen sowie landbasierte Radarsignale eine umfassende Datengrundlage für das maritime Lagebild. Die Architektur sieht vor, dass Echtzeitdatenströme zunächst in einem vorgelagerten, durch IBM betriebenen Apache-Kafka-Framework vorprozessiert werden. Hier werden die fusionierten Positionsdaten harmonisiert. Apache-Kafka dient

dabei als skalierbare und robuste Integrations-schicht, die einen konsistenten Echtzeitdatenfluss für jedes erkannte Schiff erzeugt und im weiteren Schritt an ArcGIS weiterleitet. Innerhalb von ArcGIS findet bewusst keine komplexe Ereignisprozessierung statt. Der Fokus liegt auf der räumlichen Anreicherung der Ereignisse mittels Geofencing und einer stabilen sowie transparenten Weiterleitung der Daten. Die Speicherung findet anschließend in einem Short-Term und Long-Term Archive statt. Eine der Herausforderungen stellt die große Menge an Schiffspositionen sowie die sehr geringe Latenz der ankommenden Daten dar. Im Durchschnitt sollen durch das System ca. 1200 bis 1500 Schiffspositionen pro Sekunde empfangen werden (Abb. 2). Durch die geplante Architektur und die Auslagerung einiger Vorprozessierungsschritte kann diese Herausforderung bewältigt werden.

Das Frontend sowie das vorgelagerte Kafka-Messaging-Framework werden von IBM entwickelt. Das Web-Frontend basiert auf dem ArcGIS Maps SDK for JavaScript und nutzt eine über ArcGIS Maritime zur Verfügung gestellte Seekarte als kartografische Grundlage. In der Anwendung werden die aktuellen Schiffspositionen in Echtzeit dargestellt. Für die effiziente Visualisierung von Echtzeitdaten werden durchgängig Stream-Layer genutzt. Die Nutzenden können einzelne Schiffe selektieren, deren Bewegungen analysieren und sicherheitsrelevante Parameter wie zum Beispiel Closest Point of Approach (CPA) berechnen, um potenzielle Annäherungen zwischen Schiffen bewerten zu können. Darüber hinaus soll die Anwendung über eine Replay-Funktion verfügen, die das Wiederherstellen historischer Verkehrssituationen auf Basis der archivierten Eventdaten ermöglicht. Dies ist insbesondere für nachträgliche Analysen und Schulungszwecke von Bedeutung.

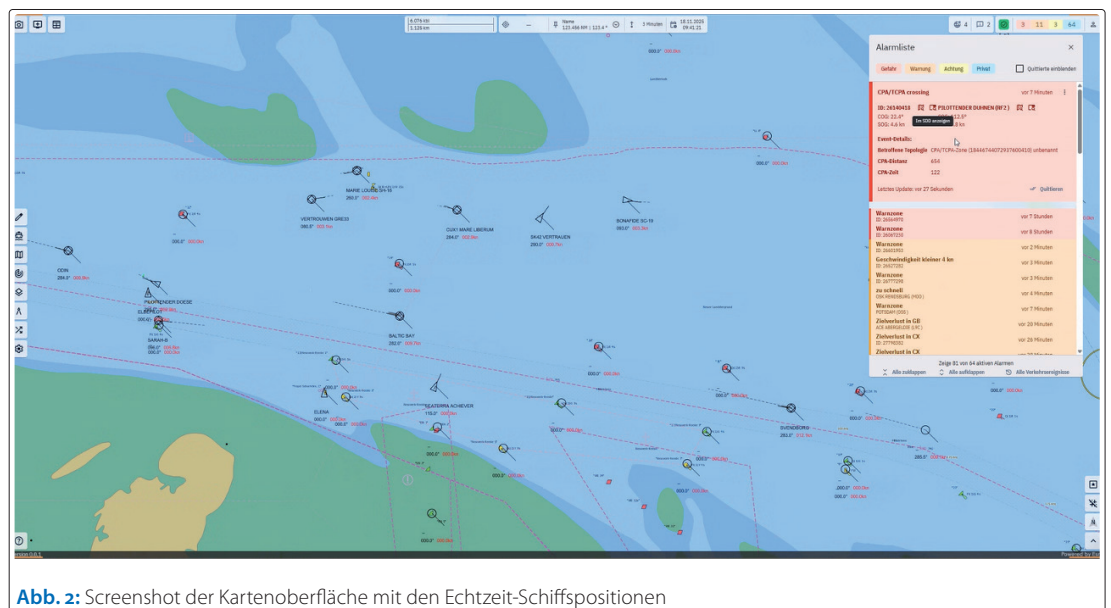


Abb. 2: Screenshot der Kartenoberfläche mit den Echtzeit-Schiffspositionen

4 Herausforderungen

Beim Einsatz von Echtzeitmonitoring im maritimen Umfeld ergeben sich bestimmte Herausforderungen, wie Datenqualität, Performance und Datensicherheit.

- **Datenqualität:** Aufgrund der Möglichkeit, das AIS-Signal manuell abzuschalten oder absichtlich falsche Identitäts- oder Positionsdaten zu senden, weisen diese Daten potenziell Lücken und Ungenauigkeiten auf. Eine Ergänzung durch weitere Datenquellen wie Radar für produktive Anwendungen ist deshalb unerlässlich.
- **Performance:** Die große Menge an Positionsmeldungen, die bis zu 2000 Events pro Sekunde allein für die deutschen Küstengewässer erreichen kann, erfordert eine stabile, auf diese Datenmengen abgestimmte Architektur.
- **Datensicherheit:** Sensible Echtzeitinformationen können durch die Integration von ArcGIS in eine Enterprise-Architektur und eine Firewall geschützt werden. Gleichzeitig wird der Zugriff auf diese Daten über Rechte und Rollen reguliert.

Durch die Integration von Echtzeitdaten aus dem maritimen Kontext in ArcGIS kann ein ganzheitliches maritimes Echtzeitlagebild geschaffen wer-

den, wenn gleichzeitig die genannten Herausforderungen berücksichtigt werden und ihnen proaktiv begegnet wird.

5 Fazit und Ausblick

Der Beitrag zeigt, dass GIS-basierte Echtzeitarchitekturen ein geeignetes methodisches Fundament für die Integration, Analyse und Visualisierung hochfrequenter maritimer Sensordaten darstellen. Im Use Case wird demonstriert, wie heterogene Datenströme aus AIS und Radar über eine Event-Streaming-Infrastruktur harmonisiert und innerhalb eines GIS räumlich kontextualisiert werden können. Insbesondere die Kombination aus ereignisbasierter Verarbeitung, Geofencing und performanter Visualisierung über Stream-Layer ermöglicht die Erzeugung eines konsistenten maritimen Echtzeitlagebildes.

Über den konkreten Anwendungsfall hinaus liefert der vorgestellte Ansatz einen übertragbaren Architekturrahmen für vergleichbare Monitoring-Szenarien im maritimen Umfeld. Das GIS-basierte Echtzeitmonitoring bietet ein hohes Potenzial für eine weitergehende Automatisierung und datengetriebene Unterstützung maritimer Entscheidungsprozesse (Isbaex et al. 2025). //

Literatur

- Ballines-Barrera, Sergio; Leopoldo López Reverón; Daniel Santana-Cedrés; Nelson Manuel Monzón López (2023): Maritime Surveillance by Multiple Data Fusion: An Application Based on Deep Learning Object Detection, AIS Data and Geofencing. Proceedings of the 18th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, DOI: 10.5220/0011670100003417
- Esri (o. J. a): ArcGIS system patterns. ArcGIS Architecture Center. <https://architecture.arcgis.com/en/framework/system-patterns/introduction.html>
- Esri (o. J. b): Introduction to ArcGIS GeoEvent Server. <https://enterprise.arcgis.com/de/geoevent/latest/get-started/what-is-arcgis-geoevent-server.htm>
- Esri (o. J. c): Stream Layer. <https://doc.arcgis.com/de/arcgis-online/reference/stream-layers.htm>
- Isbaex, Crismeire; Francisco dos Reis Fernandes Costa; Teresa Batista (2025): Application of GIS in the Maritime-Port Sector: A Systematic Review. Sustainability, DOI: 10.3390/su17083386
- Nathisiya, B. Mary; A. Radhakrishnan (2024): Leveraging IoT Technology for Transformative Impact in the Maritime Sector. Salud, Ciencia y Tecnología – Serie de Conferencias, DOI: 10.56294/sctconf2024.1253
- Yan Zhenguo; Xin Song; Hanyang Zhong; Lei Yang; Yitao Wang (2022): Ship Classification and Anomaly Detection Based on Spaceborne AIS Data Considering Behavior Characteristics. Sensors, DOI: 10.3390/s22207713

Satelliten statt Sensoren: Hebt InSAR das Monitoring auf ein neues Level?

Ein Beitrag von FLORIAN ZIMMERMANN und THOMAS ARTZ

Bauwerksüberwachung | Bundeswasserstraßen | Echtzeitdatenverarbeitung | InSAR
real-time monitoring | maritime situational awareness | real-time data processing | InSAR

Autoren

Dr. Florian Zimmermann und Dr. Thomas Artz arbeiten bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz.

zimmermann@bafg.de

1 Einleitung

Die Bauwerksüberwachung stellt eine der klassischen Aufgaben der Ingenieurgeodäsie dar (Kuhlmann et al. 2014). Insbesondere bei der Infrastruktur im Verkehrssektor wird dem Monitoring aufgrund des stetig steigenden Bedarfs ein immer höherer Stellenwert zugewiesen und der Versuch unternommen, die Potenziale der ständigen technischen Weiterentwicklungen im Bereich von Messsensorik, Automatisierung und Auswertesoftware abzuschöpfen. Neben Straßen und der Schiene trifft dies auch auf die Bundeswasserstraßen (BWaStr) und deren Infrastrukturbauwerke zu. Das zunehmende Alter der Bauwerke und die Notwendigkeit, diese weit über deren ursprünglich vorgesehene Nutzungsdauer zu betreiben, verschärft den Handlungsdruck und stellt aktuell eine der großen Herausforderungen im Betrieb der BWaStr dar.

Einer der letzten größeren Innovationsschübe im Bereich des Infrastrukturmonitorings entstand durch den vielfach zitierten Paradigmenwechsel, der den Übergang von der punkthaften zur flächenhaften Geometrieerfassung beschreibt (Kuhlmann et al. 2014). Gepaart mit der rasanten Entwicklung mobiler Erfassungssysteme und nicht zuletzt auch aufgrund der aktuellen Entwicklungen im Bereich des KI-Einsatzes in der Datenverarbeitung und -auswertung wurde es möglich, die Geometrie von Infrastrukturbauwerken effizient

und in ihrer Gesamtheit zu erfassen, und diese auch über mehrere Messepochen hinweg hochpräzise zu beobachten (Holst et al. 2026). Dies gilt nicht nur für die über Wasser gelegenen Teile von Infrastrukturbauwerken. Mittlerweile ermöglichen am Markt verfügbare Systeme auch die flächenhafte Erfassung der unter Wasser gelegenen Bauwerksbereiche und realisieren somit ein Infrastrukturmonitoring, welches wirklich das gesamte Bauwerk umfasst (Hesse et al. 2021).

Abb. 1 zeigt eine Bahnbrücke über die Mosel, deren Geometrie unter Einsatz verschiedenster Sensorik und verschiedener Trägerplattformen über und unter Wasser erfasst wurde (Witte und Zimmermann 2024). Insbesondere der Ausschnitt im linken Bereich der Abbildung verdeutlicht, dass in diesem Fall mit verschiedenen Punktwolkenqualitäten umgegangen werden muss, dennoch aber ein ganzheitliches Bild der Bauwerksstruktur, über und unter Wasser, erzeugt werden kann.

Nun stellt sich natürlich die Frage, warum überhaupt der Bedarf bestehen sollte, das Monitoring in irgendeiner Art und Weise auf ein neues Level zu heben oder, etwas defensiver ausgedrückt, weiter zu optimieren. Die vielen positiven Entwicklungen und erfolgreichen Beispiele aus der Praxis der Bauwerksüberwachung sprechen ja eigentlich dafür, dass sich die gesamten Prozesse auf dem richtigen Weg befinden und wir für die einzelnen Bauwerke genau die richtigen und bedarfsgerech-

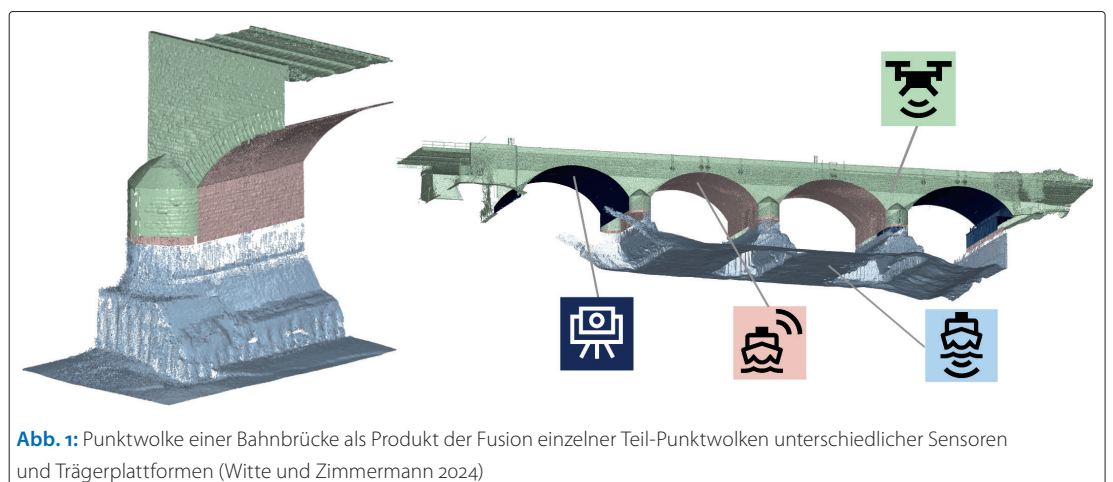


Abb. 1: Punktwolke einer Bahnbrücke als Produkt der Fusion einzelner Teil-Punktwolken unterschiedlicher Sensoren und Trägerplattformen (Witte und Zimmermann 2024)

ten Produkte generieren können. Drei Aspekte, welche insbesondere für Infrastrukturbetreibende relevant sind, liefern hier die Antwort:

- Das Monitoring fokussiert sich nicht nur auf ein einzelnes Bauwerk, sondern auf Hunderte bis Tausende Bauwerke, welche über das gesamte Bundesgebiet hinweg verteilt sind.
- Wir müssen derzeit an jedem Bauwerk aktiv etwas tun. Abgesehen von dem rein logistischen Aufwand bei der Vielzahl der Bauwerke, sind sowohl die finanziellen sowie die personellen Ressourcen ein begrenzender Faktor.
- In den meisten Fällen handelt es sich nicht um isolierte, einmalige Vermessungstätigkeiten. Das Monitoring lebt von der regelmäßigen Datenerfassung und kann auch nur so die Aufgabe der Bauwerksüberwachung bedienen.

Diese drei Aspekte zeigen, dass es einen Bedarf gibt, die lokale, bauwerksspezifische Komponente um ein großräumiges und kontinuierliches Monitoring der gesamten Verkehrsinfrastruktur zu erweitern. Und genau dieses Potenzial bietet die satellitenbasierte Radarinterferometrie (InSAR).

2 InSAR

2.1 Funktionsprinzip

Die satellitengestützte Radarinterferometrie (InSAR, Interferometric Synthetic Aperture Radar) ist in der Fernerkundung bereits seit vielen Jahren ein erprobtes und etabliertes Verfahren (Massonet und Feigl 1998), welches seit einigen Jahren auch vermehrt im Bereich des Infrastrukturmonitorings eingesetzt wird (Milillo et al. 2018). SAR-Satelliten zählen mit einer Flughöhe von etwa 500 bis 800 km zu den Low-Earth-Orbitern (LEO) und umkreisen die Erde in einem polnahen Orbit. Dabei wird die südwärts orientierte Flugrichtung (Nordpol Richtung Südpol) als absteigender (engl.: descending) Orbit und die nordwärts gerichtete (Südpol Richtung Nordpol) als aufsteigender (engl.: ascending) Orbit bezeichnet. Aufgrund der Erdrotation wird nach einer gewissen Anzahl von Tagen ein Ort auf der Erde in exakt gleicher Aufnahmekonstellation überflogen. Die Aufnahmen erfolgen dabei üblicherweise mit einem rechtsblickenden Seitensicht radar, das bedeutet, die Radarsignale werden rechtwinklig zur Flugrichtung in schräger Blickrichtung, der sogenannten Line-of-Sight (LOS), abgestrahlt und auf einen definierten Bereich am Boden, den Footprint, gebündelt (siehe [Abb. 2](#)). In diesem Bereich werden die ausgesandten Wellen an der Erdoberfläche reflektiert und wieder von der Satellitenantenne empfangen. Über die Positionen des Satelliten und die Laufzeiten der empfangenen Signale werden die Amplituden und Phasen in Radarbilder (Szenen) überführt.

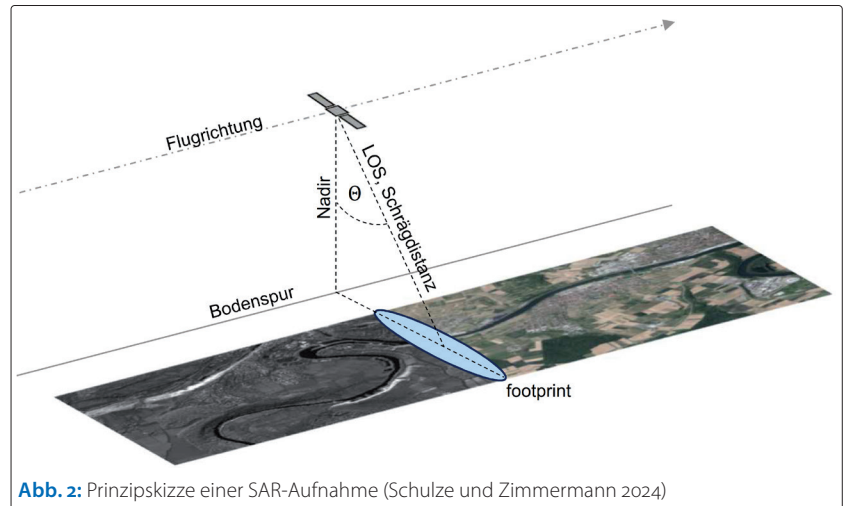


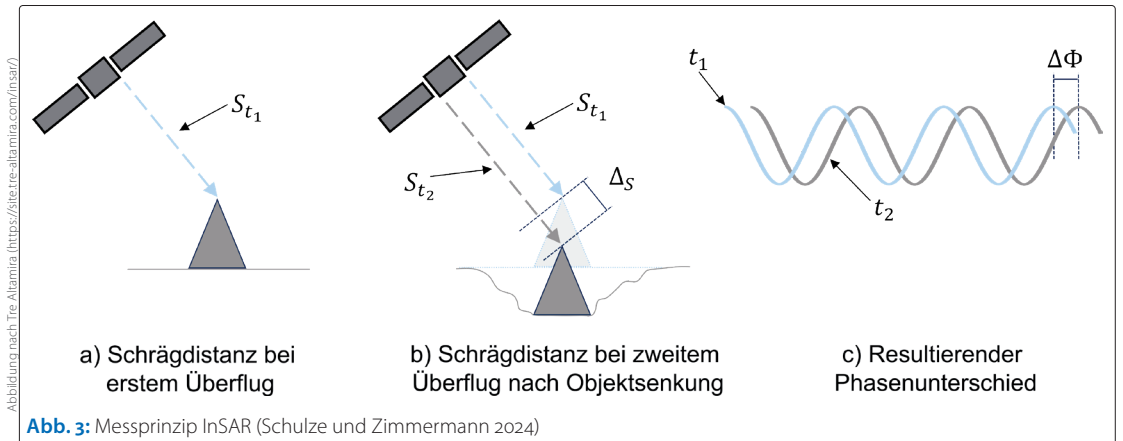
Abb. 2: Prinzipskizze einer SAR-Aufnahme (Schulze und Zimmermann 2024)

In der Radarinterferometrie wird in der Regel zwischen zwei Typen von sogenannten Rückstreuern – also den Objekten an der Erdoberfläche, an denen die Radarsignale reflektiert werden – unterschieden. Punktartige Rückstreuer, welche ein starkes und konstantes Rückstreusignal aufweisen, werden als permanente Rückstreuer (engl.: persistent scatterer) bezeichnet und treten meist an menschengemachten Objekten wie Gebäuden, Schildern oder anderen linienhaften Objekten auf. Wird dagegen in einem Bereich an der Erdoberfläche ein zwar schwaches, aber homogenes Rückstreusignal erzeugt, so wird diese Fläche als flächenhafter Rückstreuer (engl.: distributed scatterer) bezeichnet.

Diese Art von Rückstreuern kann beispielsweise im Bereich von Bruch-, Geröll- oder Wegeflächen auftreten. In Gebieten mit Vegetation werden kaum auswertbare Signale reflektiert, und über Wasserflächen werden grundsätzlich keine Rückstreuer bzw. Messpunkte bestimmt. Generell ist an dieser Stelle anzumerken, dass die Lage und die Verteilung von Rückstreuern a priori nicht bekannt ist und auch nur eingeschränkt vorhergesagt werden kann. Erst im Rahmen der InSAR-Auswertung zeigt sich, wo und wie viele Messpunkte tatsächlich gefunden werden können.

Bei jedem Überflug des Satelliten über das gleiche Gebiet werden für die Rückstreuer an der Erdoberfläche die Amplituden und Phasen gemessen. Finden Bewegungen an der Erdoberfläche statt, so ändern sich auch die gemessenen Phasenlagen, und es kann ein Phasenunterschied berechnet werden aus dem wiederum über die Wellenlänge des Signals auf die Weglängenänderung in Blickrichtung des Satelliten (LOS) geschlossen werden kann (siehe [Abb. 3](#)).

Bei der Ableitung der Weglängenänderung aus dem Phasenunterschied ist die Wellenlänge des jeweiligen Signals der limitierende Faktor, da nur eine Bewegung in der Größenordnung eines Viertels der Wellenlänge eindeutig bestimmbar ist. Bei



einem C-Band-Satelliten wie dem Sentinel-1 des europäischen Copernicus-Programms ($\lambda = 5,6 \text{ cm}$) führt dies zu einem Wert von $\pm 1,4 \text{ cm}$ und bei dem kommerziellen X-Band-Satelliten TerraSAR-X ($\lambda = 3 \text{ cm}$) zu einem Wert von $\pm 0,8 \text{ cm}$. Da sich diese Werte auf die Weglängenänderung zwischen zwei Überflügen beziehen wird deutlich, dass insbesondere langsame und kontinuierliche Prozesse gut beobachtbar sind. Laufen Bewegungsprozesse dagegen sehr schnell ab und übersteigen die genannte Größenordnung, können Bewegungen entweder zwar noch erkannt, aber nicht mehr eindeutig quantifiziert oder aber gar nicht mehr erfasst werden.

Werden Bereiche der Erdoberfläche aus beiden Orbits (ascending und descending) beobachtet und wurden im Rahmen der Auswertung für beide Satellitenorbits Rückstreuer gefunden, so lassen sich diese einem vordefinierten Gitter mit individuell festgelegter Gitterweite zuweisen. Für jede Gitterzelle können dann über Mittelbildung und zeitliche Interpolation ein Pseudomesspunkt und zugehörige LOS-Beobachtungen berechnet werden, welche im Rahmen einer sogenannten 2D-Dekomposition in eine vertikale und eine horizontale Ost-West-Komponente aufgespalten wer-

den können. Aufgrund der polnahen Umlaufbahn und der senkrecht zur Flugrichtung erfolgenden Beobachtung ist dieses Verfahren gegenüber Nord-Süd-gerichteten Bewegungsanteilen nicht sensitiv, sodass diese auch im Zuge der 2D-Dekomposition nicht bestimmbar sind.

Für eine belastbare und statistisch gut bewertbare InSAR-Auswertung werden in der Regel mindestens 20 Radarszenen über einem relevanten Untersuchungsgebiet benötigt, wobei die Größe des abgedeckten Bereichs und auch die Bodenauflösung vom gewählten Aufnahmemodus abhängen. Letztere beträgt im Fall der Sentinel-1-Satelliten ca. $20 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ und im Fall des TerraSAR-X-Satelliten im HRS-Mode etwa $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$.

2.2 Anwendungsbeispiele

In den folgenden Abschnitten wird der Einsatz von InSAR kurz an zwei Anwendungsbeispielen exemplarisch vorgestellt.

Hamburg Elbphilharmonie

Das erste Anwendungsbeispiel zeigt Daten des frei zugänglichen Bodenbewegungsdienstes Deutschland (BBD, Kalia et al. 2021) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)



Abb. 4: Rückstreuer im Bereich der Elbphilharmonie in Hamburg. Links: Rückstreuer aus dem absteigenden Orbit. Rechts: Pseudomesspunkte aus der 2D-Dekomposition (Quelle: BBD). Die Zeitreihen der schwarz eingekreisten Rückstreuer sind in Abb. 5 abgebildet

im Bereich der Elbphilharmonie in Hamburg. Hier ist in den aus dem absteigenden Orbit bestimmten Rückstreuer ein Bereich im östlichen Teil der Philharmonie zu erkennen, in welchem die Rückstreuer nach der Einfärbung der Messpunkte zu urteilen ein anderes Bewegungsverhalten aufweisen (siehe Abb. 4). Dieses kleinere Cluster zeigt deutliche Bewegungen vom Satelliten weg, was auf eine Setzung hinweist. Im rechten Teil der Abb. 4 sind zusätzlich die aus der 2D-Dekomposition resultierenden Pseudomesspunkte dargestellt.

Die Zeitreihen der in Abb. 4 schwarz markierten Rückstreuer, bzw. des Pseudomesspunktes, bestätigen den rein optischen Eindruck, wobei in der Zeitreihe des Pseudomesspunktes die Senkungsbewegung noch mit einem zyklischen Verhalten überlagert ist (siehe Abb. 5). An diesem Anwendungsbeispiel wird deutlich, dass die Analyse der InSAR-Ergebnisse nicht ganz trivial ist. Da die Rückstreuer in diesem Fall nach ihrer mittleren Geschwindigkeit pro Jahr koloriert sind, wird ein zyklisches Verhalten nicht direkt sichtbar, während reine Hebungs- oder Senkungsprozesse auch an den mittleren Geschwindigkeiten erkannt werden können.

Betrachten wir diesen Fall aus Sicht einer hypothetischen Bauwerksüberwachung, so könnte InSAR hier unter Umständen ein unbekanntes und auffälliges Bewegungsverhalten im Bereich der Elbphilharmonie aufzeigen. Nach einer Bewertung durch die zuständige Stelle könnte basierend auf diesen Daten eine gezielte Betrachtung dieses Bereichs initiiert werden. Damit sollte es dann möglich sein, ein auffälliges Bewegungsverhalten örtlich besser einzugrenzen und genauer zu untersuchen.

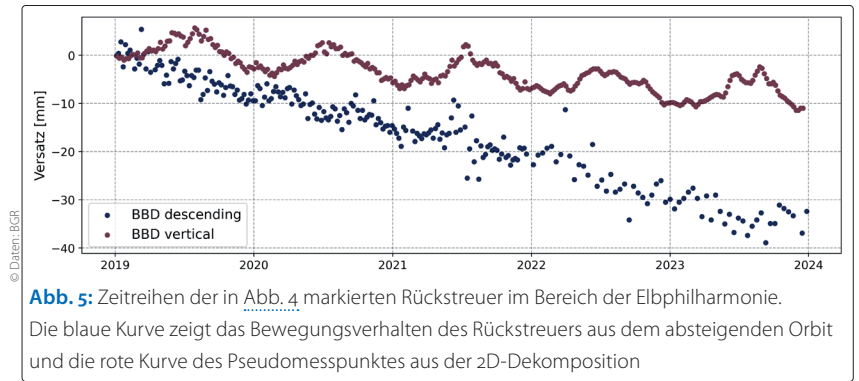


Abb. 5: Zeitreihen der in Abb. 4 markierten Rückstreuer im Bereich der Elbphilharmonie. Die blaue Kurve zeigt das Bewegungsverhalten des Rückstreuers aus dem absteigenden Orbit und die rote Kurve des Pseudomesspunktes aus der 2D-Dekomposition

Monitoring Schleusenbauwerk

Das zweite Anwendungsbeispiel stammt aus einem laufenden Projekt, welches gemeinsam mit dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau-MDK (Main-Donau-Kanal) durchgeführt wird. Das Ziel des Projektes ist es, das Bewegungsverhalten des Bauwerks zu bestimmen, und dann auf Basis dieser Erkenntnisse die existierenden Messprogramme für die Bauwerksüberwachung an die bestehende Situation anzupassen. Vor diesem Hintergrund wurde die Aufnahme hochauflöser Daten des spanischen PAZ-Satelliten beauftragt, und diese Daten wurden in verschiedenen Epochen durch die Firma Tre Altamira ausgewertet. Abb. 6 zeigt exemplarisch die Rückstreuer nach einer SqueeSAR-Auswertung (Ferretti et al. 2011) der Radarszenen des absteigenden Orbits.

An der räumlichen Verteilung der Rückstreuer wird deutlich, dass InSAR – ohne vor Ort aktiv zu sein – mit zeitlicher Konstanz eine Informationsdichte bereitstellen kann, welche mit klassischen oder auch innovativeren Messverfahren nur schwer erreichbar ist. Für alle in Abb. 6 darge-

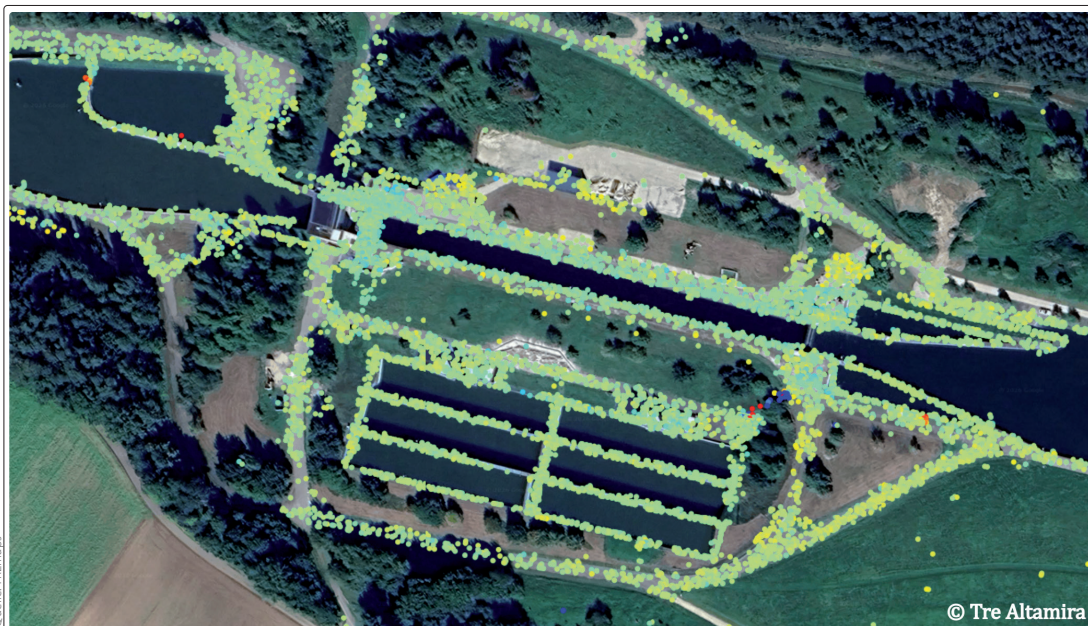


Abb. 6: Räumliche Verteilung der Rückstreuer nach der SqueeSAR-Auswertung von Radarszenen aus dem absteigenden Orbit des PAZ-Satelliten im HRS-Mode für ein Schleusenbauwerk und dessen Umfeld

stellten Rückstreuer liegen Zeitreihen vor, welche deren relatives Bewegungsverhalten mit einer zeitlichen Auflösung von elf Tagen und einer Präzision weniger Millimeter beschreiben. Mit aufwendigen Laserscans oder Befliegungen lassen sich geometrische Informationen mit dieser Qualität auch erzeugen, jedoch ist hier insbesondere eine vergleichbare zeitliche Auflösung nur mit einem Aufwand zu erreichen, welcher nicht mehr als wirtschaftlich bezeichnet werden kann. Dennoch können diese Daten die klassischen Überwachungsmessungen nicht ersetzen, da zum einen die Messpunkte in der Regel nicht eindeutig und reproduzierbar bekannt sind und somit auch bautechnische Zielgrößen nicht direkt ableitbar sind. Zum anderen liegt zwar eine hohe Informationsdichte vor, diese beschränkt sich jedoch auf die sichtbaren Bauwerksteile. Die unter Wasser gelegenen Bereiche werden nicht betrachtet und Gebiete, in denen in der InSAR-Auswertung keine Messpunkte gefunden werden können, lassen sich auch weiterhin nur mit den bekannten Verfahren überwachen.

3 Skalenübergreifendes Monitoring

Betrachtet man das große Anwendungspotenzial von InSAR stellt sich im Umkehrschluss natürlich auch die Frage, ob InSAR nicht einfach das Bauwerksmonitoring in seiner Gesamtheit bedienen kann. Und an dieser Stelle ist die Antwort sehr einfach, nämlich »Nein«. Die in Kapitel 1 genannten klassischen oder auch moderneren Messsysteme sind weiterhin das Mittel der Wahl, wenn eine bauwerksspezifische, detaillierte Erfassung das Ziel darstellt. Hier ist klar, dass InSAR im Allgemeinen kein gleichwertiges Produkt zur Verfügung stellen kann, insbesondere nicht für den unter Wasser gelegenen Bauwerksbereich. Stellt man die Vorteile und Charakteristika der beiden Ansätze allerdings gegenüber, so wird deutlich, dass eine Kombination der beiden einen enormen Benefit mit sich bringen kann. Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, sind die dort charakterisierten Erfassungssysteme auf dem besten Weg zu einem standardisierten Einsatz im Wirkbetrieb und können bereits jetzt einen Großteil der bestehenden Anforderungen bedienen. Die großen Herausforderungen bestehen hier eher im Bereich einer standardisierten Datenauswertung, einer Automatisierung der zugehörigen Prozesse und primär auch in der schieren Anzahl an Objekten, welche zu überwachen sind. Auf der anderen Seite steht die InSAR-Technik. Der große Vorteil der InSAR-Technologie ist es, dass großräumig hochpräzise Bewegungsinformationen bereitgestellt werden können, die je nach verwendetem Datentyp auch bauwerksscharf verdichtet werden können. Aus diesem Grund könnten große Infrastrukturbetreiber wie die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) davon

profitieren, die gesamte Aufgabe der Bauwerksüberwachung in einem skalenübergreifenden Ansatz zu organisieren (Zimmermann und Artz 2022). Auf der obersten Ebene könnte mit InSAR eine Art Frühwarnsystem aufgebaut werden, welches für die gesamte Infrastruktur Bewegungsdaten bereitstellt und damit auf Netzebene bereits auffällige Bewegungsbereiche identifizierbar macht. Ein solcher Überblick auf Netzebene könnte dann auf der nächsten Ebene ermöglichen, objektspezifische Überwachungsmessungen gezielt und anlassbezogen zu initiieren. Dies führt zu einem ressourcenschonenden Handeln und erzeugt hochwertige Daten – nur an der Stelle, an der sie wirklich benötigt werden. Ob die objektspezifische Verdichtung letztlich über die Initiierung geodätischer Vor-Ort-Vermessungen, oder über den Wechsel auf hochauflösende InSAR-Produkte erfolgt, muss allerdings individuell entschieden werden und hängt vom vorliegenden Anwendungsfall ab. Generell könnte es jedoch möglich sein, die derzeit vorgeschriebenen Inspektionsintervalle bauwerksspezifisch festzulegen und nach Möglichkeit deutlich zu verlängern.

Bundesweit werden bereits Bodenbewegungsinformationen kostenfrei über den BBD bereitgestellt. Da dieser aber nicht mit dem Fokus Infrastrukturmonitoring entwickelt wurde, sind dort nicht in jedem Fall die notwendigen Informationen enthalten. Aus diesem Grund wird aktuell in einem Leuchtturmprojekt der Deutschen Raumfahrtagentur in einem Konsortium aus drei Oberbehörden des Verkehrsministeriums, der BGR als Betreiber des BBD und zwei Forschungseinrichtungen ein Bodenbewegungsdienst entwickelt, welcher speziell auf die Bedarfe des Verkehrssektors ausgerichtet ist und perspektivisch die Rolle eines solchen Frühwarnsystems einnehmen könnte (BBD-V 2025).

4 Fazit

Wählt man für einen Beitrag einen Titel mit einer provokanten Frage, so sollte diese spätestens am Ende dieses Beitrags auch beantwortet werden. Daher nun zurück zum Anfang, also »Hebt InSAR das Monitoring auf ein neues Level?«. Die Antwort aus Sicht der Autoren lautet hier klar »Ja«. Aber nicht dadurch, dass InSAR bestehende und etablierte oder sich in Entwicklung befindende Ansätze ablöst oder generell infrage stellt. InSAR bietet vielmehr die Möglichkeit, bewährte Techniken zu einem ganzheitlicheren und gut skalierbaren Ansatz zu ergänzen. Gleichzeitig wird jedoch auch klar, dass noch einige technische und methodische Schritte notwendig sind – insbesondere für eine routinemäßige Verwendung unter realen Prozessbedingungen. InSAR ist kein Allheilmittel, welches unmittelbar alle bestehenden geodätischen Herausforderungen im Bereich der Infrastruktur

überwachung verschwinden lässt. Es ist aber ein bereits umfassend evaluiertes Werkzeug, dessen Anwendung einige Herausforderungen kleiner erscheinen lässt.

Schlussendlich sollten sich die Infrastrukturbe-

treiber die Frage stellen, ob die vertrauten und etablierten Routinen – so innovativ sie auch sein mögen – wirklich noch genügen, denn Optionen für eine durchgreifende Optimierung liegen klar auf dem Tisch. //

Literatur

- BBD-V (2025): Bodenbewegungsdienst für den Verkehrssektor (BBD-V). <https://bbd-v.de>
- BMV (2025): Infrastruktur. www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/infrastruktur-statistik.html
- Ferretti, Alessandro; Alfio Fumagalli; Fabrizio Novali et al. (2011): A new algorithm for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, DOI: 10.1109/TGRS.2011.2124465
- Hesse, Christian; Karsten Holste; Ingo Neumann; Ralf Esser; Michael Geist (2021): 3D-Hydromapper – Ein innovatives Messsystem für die Erfassung, Prüfung und das Management von Wasser-Infrastrukturbawerken. *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv)*, DOI: 10.12902/zfv-0371-2021
- Holst, Christoph; Volker Schwieger; Corinna Harmening; Alexander Reiterer; Jörg Blankenbach (2026): Ingenieurgeodäsie. In: Theo Kötter; Hansjörg Kutterer; Stefan Ostrau; Jens Riecken (Hrsg.): *Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen 2025*, VDE-Verlag
- Kalia, Andre C.; Michaela Frei; Thomas Lege (2021): Boden-Bewegungsdienst Deutschland (BBD): Konzept, Umsetzung und Service-Plattform. *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv)*, DOI: 10.12902/zfv-0365-2021
- Kuhlmann, Heiner; Volker Schwieger; Wolfgang Niemeier; Andreas Wieser (2014): Engineering Geodesy – Definition and Core Competencies. *Journal of Applied Geodesy*, DOI: 10.1515/jag-2014-0020
- Massonnet, Didier; Kurt L. Feigl, K. L. (1998): Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Reviews of Geophysics*, DOI: 10.1029/97rg03139
- Milillo, Pietro; Bryan Riel; Brent Minchew et al. (2016): On the synergistic use of SAR constellations' data exploitation for Earth science and natural hazard response. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2465166
- Schulze, Roland, Florian Zimmermann (2024): Detektion von Verschiebungen mittels SAR-Interferometrie. In: Joachim Stahlmann (Hrsg.): *Messen in der Geotechnik 2024: Fachseminar am 22./23. Februar 2024*, Mitteilungen des Instituts für Geomechanik und Geotechnik 116, Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, S. 295–321
- Witte, David; Florian Zimmermann (2024): Multitemporale Zustandserfassung von Verkehrsinfrastrukturbawerken. *Forschungsergebnisse kompakt*, www.bmv-forschungsnetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/Kurzberichte/TF3/Witte_Zimmermann_12-2024.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Zimmermann, Florian; Thomas Artz (2022): Empfehlungen für satelliten-fernerkundliche Monitoringsysteme Massiv- und streckenbezogener Infrastrukturbawerke. *BfG-Bericht*, DOI: 10.5675/BfG-2120

How long does a sheet pile wall actually last?

Hydrography as a tool for civil engineers to analyse remaining service life with precision

An article by **KARSTEN HOLSTE**

waterway inspection | quay wall | 3D scanning | HydroMapper
Inspektion von Wasserstraßen | Kaimauer | 3D-Scanning | HydroMapper

Author

Karsten Holste is Managing Partner of WK Consult in Hamburg.

karsten.holste@wk-consult.com

The aging of waterway infrastructure in Europe presents a critical challenge for engineers, infrastructure operators and policymakers. A large proportion of structures such as quay walls, locks and coastal protection systems – many of which were constructed after World War II – are now reaching or exceeding their intended service life. As a result, there is an urgent need for reliable assessment methods to determine whether these structures require repair, strengthening or complete replacement. In this context, digitalisation – particularly through the implementation of digital twins – offers transformative potential for lifecycle management in civil engineering (Fig. 1).

Digital twins enable the comprehensive digital representation of infrastructure assets, integrating geometric, structural and condition-related data into a unified model. This allows stakeholders to access, share and analyse inspection results without loss of information, thereby improving decision-making processes. The research pro-

jects »3D HydroMapper«, »port_AI« and »port_Evolution« are carried out in Germany between 2018 and 2027, aim to develop and implement such digital solutions by focusing on advanced data acquisition, processing and visualisation techniques.

1 Challenges in data acquisition for maritime infrastructure

While geospatial data acquisition on land – using vehicles, drones or mobile mapping systems – has become standard practice, the systematic recording of maritime infrastructure remains underdeveloped. Traditional inspection methods rely heavily on divers, who perform localised and periodic inspections. However, these inspections typically cover only about 5 to 10 % of underwater surfaces. Given that approximately 50 to 60 % of many hydraulic structures are located below the waterline, a significant portion of the structure remains unassessed.

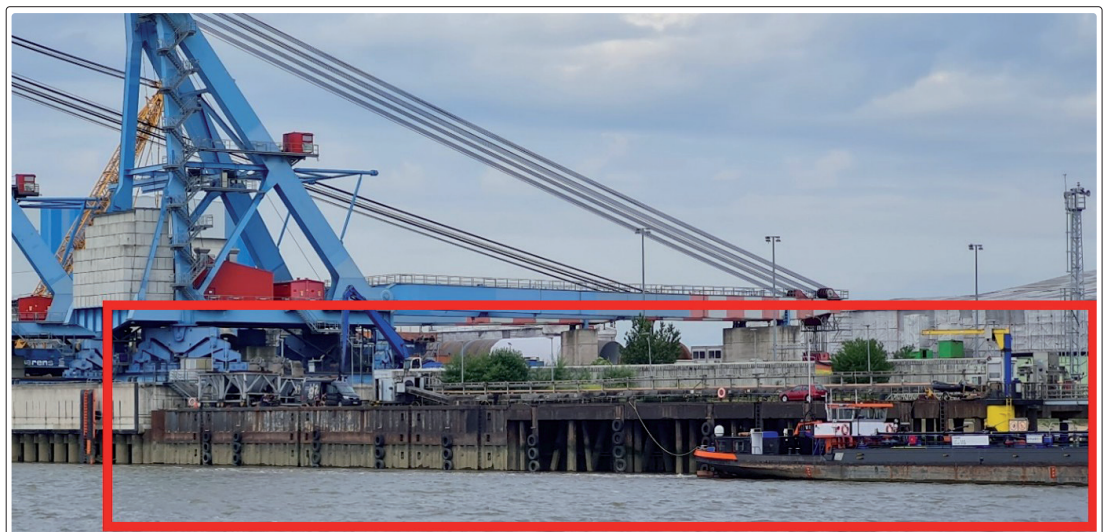


Fig. 1: Typical view of a quay wall in Bremerhaven, Germany, the structure is not recognisable under water for the inspector. Therefore, an exemplary dive by the structure diver at intervals of 150 to 300 ft is required

This lack of comprehensive data introduces considerable uncertainty in evaluating structural conditions. Infrastructure operators increasingly require complete datasets, such as high-resolution 3D »as-built« models, to support maintenance planning, lifecycle analysis and investment decisions. However, data acquisition in maritime environments is inherently challenging. External factors such as waves, wind, currents, sedimentation and ship traffic complicate measurements and affect data quality. Additionally, both above-water and underwater components must be captured with high accuracy to provide a holistic understanding of structural integrity (Fig. 2).

To address these challenges, modern measurement approaches combine multiple sensing technologies. Sonar systems, particularly multibeam echo sounders, are used for underwater mapping, while laser scanning and photogrammetry are applied above water. When integrated with inertial measurement units (IMUs) and global navigation satellite systems (GNSS), these technologies enable the generation of highly accurate, georeferenced 3D point clouds. These datasets allow engineers to detect structural damage, deformation and material loss with unprecedented detail.

2 Multibeam scanning for underwater infrastructure

A central component of the 3D HydroMapper system is the development of a specialised multibeam scanning system for underwater infrastructure assessment. This system is mounted on a floating measurement platform, where sensors can be dynamically aligned with the structure being surveyed. Such adaptive alignment is essential for achieving high-resolution data and minimising measurement errors.

Under optimal conditions, the system can survey approximately one mile (around 1.6 km) of quay wall per day. Compared to traditional diver-based inspections, the resulting datasets are significantly more complete – up to 16 times more comprehensive. This increased data density allows for detailed analyses of structural components, including complex geometries such as closely spaced pile foundations or multi-layered timber structures.

The creation of accurate 3D models requires two key steps: precise positioning of the measurement platform and optimal acquisition of the structural surface. Positioning is achieved through a combination of IMU and GNSS technologies, using multiple satellite systems (GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou) to ensure high accuracy. Additional corrections can be applied using base stations or reference data from surveying authorities. The quality of the scanning process depends heavily on sensor orientation. Adaptive alignment helps over-

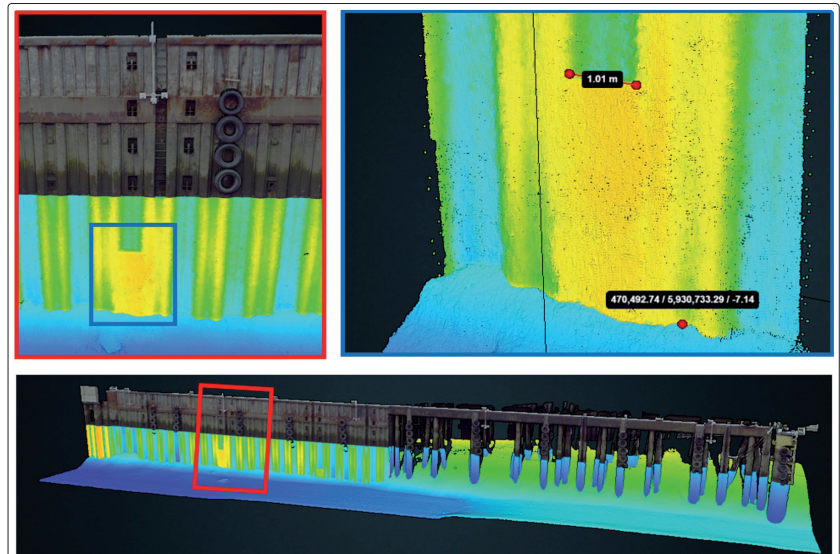


Fig. 2: Quay wall shown above after the 3D as-built survey. Perfect support for inspection to detect deformations of the combined sheet pile wall

come common issues such as object shadowing, unfavourable incidence angles and platform drift caused by environmental conditions. By maintaining optimal sensor positioning, the system ensures consistent data quality and minimises noise and systematic errors.

To achieve the required level of detail for structural inspection, specific acquisition parameters must be maintained. These include low vessel speeds (approximately 0.5 to 1 knot), short distances between sensor and object (up to 5 metres) and multiple overlapping measurement passes (typically triple coverage). The resulting point clouds can achieve densities of up to 10,000 points per square metre and accuracies of approximately ± 2 cm. Such high-resolution datasets are essential for identifying structural anomalies, including deformations and cross-sectional losses in sheet pile walls. They also support compliance with evolving standards, such as the updated DIN 1076, which increasingly recognises imaging techniques as viable alternatives to traditional inspection methods, particularly in environments with poor visibility or strong currents.

3 InfraCloud and digital lifecycle management

A key component of the digital transformation of maritime infrastructure management is the development of integrated data platforms that enable efficient access, analysis and use of large and heterogeneous datasets. Within the research project port_AI (2021 to 2025), the cloud-based data portal »InfraCloud« was developed to support infrastructure operators, engineers and construction companies throughout the entire lifecycle of port structures. The primary objective of this data portal is to provide low-threshold, user-friendly access to

complex datasets derived from multi-sensor measurements. These datasets include georeferenced point clouds, photogrammetric models, meshes and additional metadata such as inspection results or material measurements. By integrating these diverse data types into a unified platform, the system enables a holistic understanding of the structural condition and facilitates collaboration among stakeholders.

A central innovation of the InfraCloud framework lies in the fusion of measurement data with automated evaluation methods. The platform incorporates Internet of Things (IoT)-based sensor technologies and artificial intelligence (AI) algorithms to process and analyse large volumes of data efficiently. For example, pattern recognition and machine learning techniques can be applied to identify and classify structural damage within 3D datasets. This significantly reduces the need for manual inspection and accelerates the overall assessment process. Another important feature of the data portal is its modular architecture. This allows the system to be expanded with additional data sources, including stationary monitoring sensors or manual input from inspection personnel. As a result, both automated and human-generated data can be combined within a single digital environment. This integration is particularly valuable for lifecycle management, as it enables continuous updating of the structural condition based on real-time or near-real-time information.

The availability of comprehensive and up-to-date data also enables more accurate service life predictions. Traditionally, structural assessments rely on conservative assumptions and generalised models, often leading to overly cautious decisions.

In contrast, the InfraCloud platform allows engineers to base their analyses on actual measured conditions, thereby improving the reliability of recalculations and reducing uncertainties.

From an operational perspective, the implementation of such a data portal offers significant efficiency gains. The update frequency of structural condition data can be reduced from multi-year inspection intervals (e.g., six years) to near-continuous monitoring cycles. This leads to faster detection of damage, enabling timely and targeted maintenance measures. As a result, planning times can be reduced by approximately 25 to 50 %, while inspection efforts may decrease by up to 50 % (Fig. 3). In addition to time savings, the system contributes to cost reduction. By optimising the use of sensor technologies and minimising redundant data acquisition, hardware and installation costs for monitoring can be reduced by up to 60 %. Furthermore, improved coordination and data availability help avoid duplicated work and inefficiencies in multi-stakeholder projects. Finally, the integration of monitoring data and analytical models enables advanced concepts such as stress-level management and predictive maintenance. By combining measured data with structural models, it becomes possible to better estimate the actual load-bearing capacity and remaining service life of infrastructure. This can lead to a service life extension of up to 10 %, corresponding to approximately ten additional years for typical port structures.

In summary, the InfraCloud data portal represents a crucial step toward fully digitalised infrastructure management. By integrating data acquisition, analysis and decision-making processes into a single platform, it enables more efficient, ac-

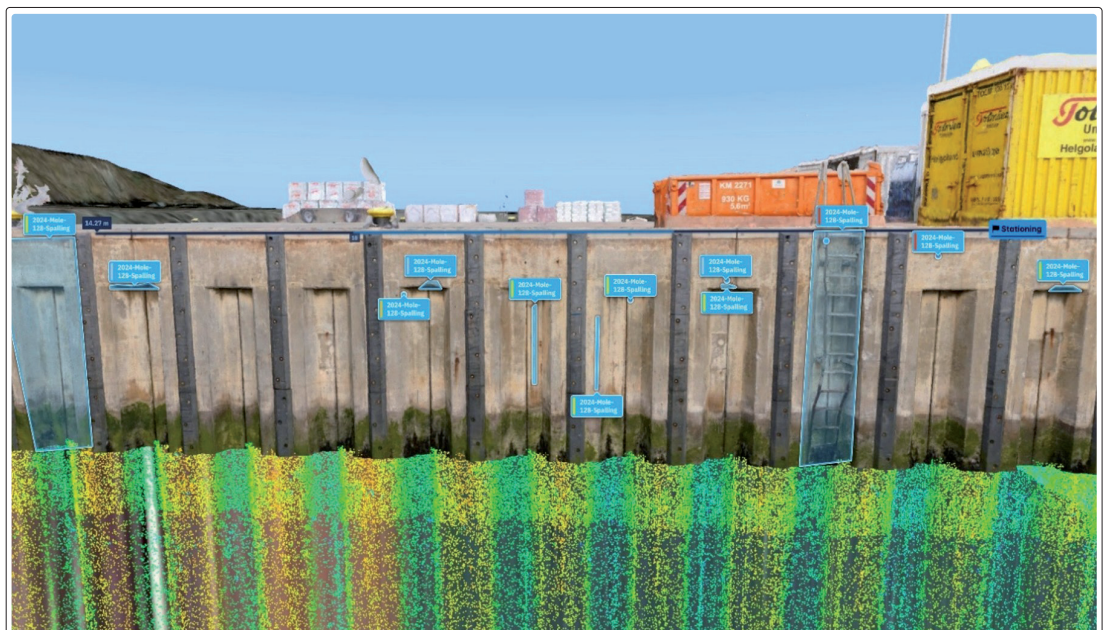


Fig. 3: 3D scene: Photogrammetry and laserscan converted to a mesh (blue: damage labels), merged with the underwater point cloud

curate and sustainable management of maritime infrastructure systems.

4 Extending the service life of quay walls

One of the most significant applications of 3D scanning technologies is the extension of the service life of quay walls. These structures, often constructed from steel sheet piles, are subject to continuous corrosion, especially in the splash zone and low-water areas. Traditionally, their condition is assessed through periodic measurements of residual wall thickness, typically conducted every six years. Based on these measurements, engineers estimate the remaining load-bearing capacity using extrapolated corrosion rates and conservative design assumptions.

However, this approach has limitations. Many older quay walls, particularly those built in the mid-20th century, were designed with minimal material usage and simplified load assumptions due to post-war resource constraints. As a result, recalculations often indicate reduced structural stability, sometimes suggesting that immediate replacement is necessary. In practice, this can lead to costly and potentially premature interventions (Fig. 4).

The integration of 3D scanning data offers a more accurate alternative. By capturing the complete geometry of the structure, including deformations and material losses, engineers can perform more realistic structural analyses. In the presented use case, a spline-based approximation method was developed to analyse the point cloud data. This method involves filtering outliers, smoothing the dataset and deriving a bending curve that reflects the actual structural behaviour.

From this bending curve, the internal stresses within the quay wall can be calculated and compared with design assumptions. In the case study of an approximately 820-metre-long quay wall, conventional analysis indicated an overload of 150 %, implying that the structure was no longer safe for operation. However, the analysis based on 3D scanning data revealed a utilisation level of only 60 %. This discrepancy highlights the limitations of traditional assessment methods and demonstrates the value of high-resolution measurement data. Based on the improved analysis, the quay wall was deemed safe for continued operation for an additional 10 to 15 years. This not only avoided unnecessary reconstruction but also resulted in substantial cost savings and more efficient resource allocation.

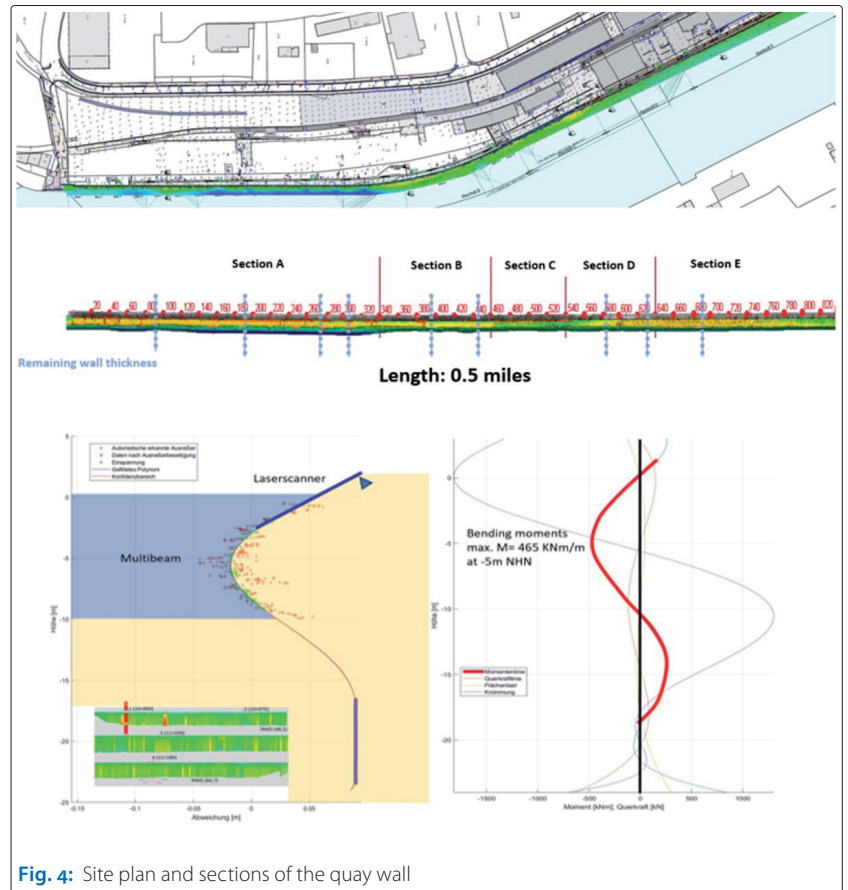


Fig. 4: Site plan and sections of the quay wall

Conclusion (integrated perspective)

The integration of multibeam scanning, laser scanning, and photogrammetry represents a significant advancement in the assessment and management of maritime infrastructure. These technologies enable the creation of detailed and accurate digital representations of structures, supporting more reliable condition assessments and informed decision-making.

For students and future engineers, this development illustrates a broader shift in civil engineering toward data-driven methodologies. The use of digital twins and advanced sensing technologies not only improves technical accuracy but also enhances sustainability by extending the service life of existing infrastructure and reducing unnecessary construction activities.

Ultimately, the research presented in this paper demonstrates that modern 3D scanning technologies can bridge the gap between theoretical models and real-world conditions. By providing comprehensive, high-quality data, these methods enable a more precise understanding of structural behaviour and open new possibilities for efficient and sustainable infrastructure management. //

Effizienz durch USV-gestützte Plattform und Kabelinspektionen als neuer Standard

Von lokalen Einsätzen zu großflächigen Vermessungen

Ein Beitrag von CONNOR SCHULZE und ANDREAS BAUER

USV | ferngesteuerte Inspektion | Autonomiegrad
USV | remote inspection | level of autonomy

Autoren

Connor Schulze arbeitet bei der Fugro Germany Marine GmbH in Bremen.

Andreas Bauer ist bei der TenneT TSO GmbH beschäftigt.

c.schulze@fugro.com

Seit mehreren Jahren führen konventionelle Vermessungsschiffe jährliche Inspektionen für TenneT Deutschland durch. Im Jahr 2025 starteten Fugro und TenneT Deutschland ein gemeinsames Demoprojekt, um zu zeigen, wie sich ferngesteuerte Offshore-Operationen in Deutschland weiterentwickeln lassen. Ziel war es, Nachhaltigkeit zu verbessern, den Bedarf an Personal auf See zu verringern und die Leistungsfähigkeit moderner Technologien zu demonstrieren. Dies geschah in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden.

Für dieses Vorhaben wurde eine vollständig ferngesteuerte Inspektionskampagne umgesetzt. Zum Einsatz kam das 12 Meter lange, unbemannte Überwasserschiff (USV) *Blue Essence*. Das gemeinsame Projekt markiert einen wichtigen Meilenstein, nämlich die erste komplett ferngesteuerte Operation in Deutschland, einschließlich Transit sowie Inspektion einer Plattform und einer J-Tube-Struktur, durchgeführt ohne jeglichen lokalen Eingriff durch Offshore-Personal.

Dieses Projekt zeigt, wie sich die Branche in Richtung digitaler, sichererer und nachhaltigerer Arbeitsweisen entwickelt und wie moderne Technologien ineinandergreifen. Gleichzeitig wurde deutlich, dass nicht die technische Fähigkeit allein ausschlaggebend ist. Vielmehr bestimmen die regulatorischen Rahmenbedingungen, ob solche Einsätze durchgeführt werden dürfen.

Der Auftrag für das Vorhaben umfasste das Monitoring und die Vermessung von zwei Kabelschutzsystemen am Zugang einer Offshore-Plattform. In 30 Meter Wassertiefe sollten Multibeam-Daten erhoben und Sichtprüfungen mittels ROV durchgeführt werden. Der Kontext im Messbereich war komplex, mit Über- und Unterwasserobjekten, extremer Nähe zu einer Offshore-Plattform und komplizierter Eigentümerinvolvement bei den Assets unter Wasser.

Die Operation wurde durch eine direkte Datenübertragung vom USV an einen Fugro-Standort beziehungsweise in ein Fugro-Rechenzentrum unterstützt. Dort erfolgte die Qualitätssicherung nahezu in Echtzeit. Standardisierte Arbeitsabläufe stellten sicher, dass die Daten jederzeit in gleichbleibender Qualität vorlagen. Die durchgängige Datenkette, bestehend aus automatischer Datenerfassung auf dem USV, einer ersten Vorverarbeitung an Bord und der sofortigen Weiterleitung in die zentrale Datenumgebung, war dabei ein zentraler Baustein. Dieser strukturierte Ansatz verkürzt Freigabeprozesse, erleichtert Vergleiche und verbessert die Interoperabilität der Daten.

Gesteuert wurde das USV aus dem Remote Operations Center in Aberdeen. Dadurch waren durchgehende Einsätze rund um die Uhr möglich. Innerhalb eines Tages konnten umfangreiche Daten erhoben werden. Die nahtlose Übertragung der Geodaten in Echtzeit ermöglichte schnelle und fundierte Entscheidungen und erhöhte die Sicherheit, da kein Personal offshore eingesetzt werden musste. TenneT Deutschland als Kunde war dabei in der Lage, die Arbeiten aus der Perspektive des USV-Piloten und des ROV-Piloten in Echtzeit zu begleiten und zu kommunizieren.

Neben den technischen Aspekten sind die positiven Auswirkungen auf Sicherheit und Nachhaltigkeit besonders hervorzuheben. Durch den Einsatz der *Blue Essence* konnten rund 90 Prozent CO₂ im Vergleich zu herkömmlichen Schiffen, die für diese Arbeiten eingesetzt werden, eingespart werden. Auch die Lärmbelastung im maritimen Umfeld wird deutlich reduziert. Dieser Aspekt gewinnt sowohl regulatorisch als auch gesellschaftlich zunehmend an Bedeutung.

Der erfolgreiche Abschluss dieser ersten vollständig ferngesteuerten Inspektion in Deutschland zeigt, dass die Technologie nicht nur einsatzbereit, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll

ist. Gleichzeitig erfordert sie ausgereifte Betriebsprozesse, umfassende Risikobewertungen, klare Notfallverfahren und digitale Widerstandsfähigkeit. Aus regulatorischer Sicht spielen Genehmigungen für unbemannte Schiffe, Verkehrsregeln, die Signalgebung über das automatische Identifikationssystem sowie über Lichtsignale und Konzepte zur Kollisionsvermeidung eine zentrale Rolle bei der Einsatzplanung. Diese Elemente bilden die Grundlage für eine sichere und rechtskonforme Bewegung auf See und die Durchführung der Arbeiten.

Während ferngesteuerte Operationen in anderen Ländern bereits etabliert sind, steht Deutschland nun vor einer Phase der Skalierung. Die Entwicklung verläuft eindeutig in Richtung großflächiger Vermessungen mit mehreren Fahrzeugen, höherem Autonomiegrad, stärker automatisierter Datenverarbeitung und standardisierten Datenprodukten.

Treiber dieser Entwicklung sind vor allem drei Bereiche: erstens der Übergang zum Betrieb größerer Flotten, zweitens der steigende Autonomiegrad der eingesetzten Systeme, drittens die zunehmende Integration künstlicher Intelligenz in die Auswertung der Daten. Diese Transformation verändert nicht nur den operativen Ablauf, sondern auch die strategische Ausrichtung der gesamten Branche. Weniger Emissionen, geringere Kosten pro vermessener Fläche und ein geringeres Risiko für Personal und Offshore-Assets sind unmittelbare Vorteile.

In Zukunft werden datengetriebene Instandhaltungsstrategien mit klar definierten Schwellenwer-

ten und zustandsabhängiger Wartung langfristig die Effizienz und Sicherheit von Offshore-Infrastrukturen erhöhen.

Mit dieser Entwicklung steigen auch die Anforderungen an interdisziplinäre Teams. Fachleute aus Hydrographie, Datenwissenschaft, Fernsteuerung und Netzwerktechnik sowie aus regulatorischer Expertise und Arbeitssicherheit müssen eng zusammenarbeiten, um neue Standards zu etablieren. Betreiber, Dienstleister, Behörden und Fachverbände übernehmen dabei ergänzende Rollen. Sie definieren bewährte Vorgehensweisen, entwickeln Schulungsprogramme und harmonisieren regulatorische Anforderungen.

Die weitere Entwicklung hin zu nachhaltigen, ferngesteuerten Operationen muss aktiv von allen Parteien gestaltet werden.

Das vorgestellte Projekt zeigt den aktuellen Stand. Ferngesteuerte Inspektionen mit unbemannten Überwasserschiffen sind heute technisch, organisatorisch und regulatorisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll. In Zukunft werden sie sich zu großflächigen Vermessungen und kontinuierlichen Überwachungsprogrammen weiterentwickeln, mit klar messbaren Vorteilen für Sicherheit, Effizienz und Nachhaltigkeit. Die gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse bilden die Grundlage für die nächsten Schritte. Die Diskussion in Lübeck-Travemünde wird zeigen, wie sich die Hydrographie im Kontext von Digitalisierung und Nachhaltigkeit weiterentwickelt und warum ferngesteuerte Operationen künftig eine zentrale Rolle spielen werden. //

Hochwassersicherheit im Bremer Überseehafen

Das Projekt »ROBUST« und die Bedeutung digitaler Lösungen

Ein Beitrag von CHRISTIAN VON DEETZEN

Hochwassersicherheit | kritische Infrastruktur | Wassermanagement
flood protection | critical infrastructure | water management

Autor

Christian von Deetzen arbeitet bei der bremenports GmbH & Co. KG in Bremerhaven.

christian.von.deetzen@bremenports.de

Der Bremer Überseehafen ist ein zentraler Umschlagplatz für Waren aus aller Welt und spielt eine bedeutende Rolle für die Wirtschaft der Region sowie Deutschlands insgesamt. Aufgrund seiner Lage an der Nordsee ist der Hafen jedoch besonders im Fokus für extreme Wetterereignisse, insbesondere Sturmfluten. Diese stellen eine erhebliche Gefahr für die Infrastruktur, die ansässigen Unternehmen und die dort arbeitenden Menschen dar. In den letzten Jahren haben sich die Herausforderungen durch den Klimawandel und die damit einhergehende Zunahme von Extremwetterereignissen weiter verschärft. Um den steigenden Anforderungen an die Hochwassersicherheit gerecht zu werden, setzt der Bremer Überseehafen verstärkt auf digitale Innovationen und moderne Technologien.

Ein herausragendes Beispiel für diese Entwicklung ist das Projekt »ROBUST«, welches im Rahmen des DigiTest-Förderprogramms des BMV gefördert wurde. Dieses Projekt hat sich zum Ziel gesetzt, innovative digitale Lösungen zur Verbesserung der Hochwassersicherheit zu entwickeln und zu implementieren. Im Mittelpunkt steht dabei die Entwicklung eines intelligenten, vernetzten Systems, das es Einsatzkräften und Verantwortlichen ermöglicht, in Krisensituationen schnell und effektiv zu handeln. Durch die Integration von Sensorik, Datenanalyse und modernen Kommunikationsmitteln können potenzielle Gefahren frühzeitig erkannt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden.

Ein zentrales Element des Projekts »ROBUST« ist die Installation eines umfassenden Netzwerks von Sensoren entlang der Deiche und kritischen Infrastrukturen im Überseehafen. Diese Sensoren messen kontinuierlich Wasserstände und weitere relevante Parameter. Die gesammelten Daten werden in Echtzeit an eine zentrale Leitstelle übermittelt, wo sie mit Hilfe von künstlicher Intelligenz (KI) und fortschrittlichen Algorithmen

ausgewertet werden. So können nicht nur aktuelle Gefahrenlagen eingeschätzt, sondern auch Prognosen für die weitere Entwicklung erstellt werden.

Die Digitalisierung ermöglicht es außerdem, verschiedene Akteure wie Hafenbetreiber, Feuerwehr, Polizei und andere Einsatzkräfte besser zu vernetzen. Über eine gemeinsame digitale Plattform können Informationen schnell und zielgerichtet ausgetauscht werden. Im Ernstfall lassen sich so Evakuierungen, Sperrungen, Rettungsrouten und andere Schutzmaßnahmen effizient koordinieren. Auch die grundsätzliche Kommunikation mit den Hafenbetrieben kann durch digitale Kanäle wie Apps, Warnsysteme und soziale Medien verbessert werden, sodass betroffene Personen von Hafenbetrieben frühzeitig informiert und gewarnt werden können.

Es wurde hierbei ein modernes Wassermanagement für die Abarbeitung von Sturmfluten geschaffen, welches in gesicherten Datenbanken jederzeit abrufbar ist. Hierbei fließen auch relevante Daten zum Beispiel vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie oder dem DWD ein. Das Ganze wird dann ergänzt durch etliche Tools wie zum Beispiel eine automatisierte Berichtsfunktion.

Zusätzlich wurde auch eine Mobilansicht geschaffen, um Einsatzkräfte vor Ort jederzeit mit wichtigen Daten zu versorgen. Im Sinne der Hafensicherheit sind gute Daten ein entscheidender Baustein für fundierte Entscheidungen.

Darüber hinaus ermöglicht das System eine kontinuierliche Überwachung und Analyse der Wasserstände sowie eine frühzeitige Erkennung potenzieller Gefahrenlagen. Die Integration von Echtzeitdaten und Prognosemodellen unterstützt die Einsatzleitung dabei, schnell und zielgerichtet zu reagieren. Durch die benutzerfreundliche Oberfläche und die mobile Verfügbarkeit werden nicht nur die Effizienz und Koordination der Einsatzkräfte verbessert, sondern auch die Resilienz



des Hafens gegenüber Extremwetterereignissen nachhaltig gestärkt. Somit leistet das entwickelte Wassermanagement einen wichtigen Beitrag zur Sicherheit und Wettbewerbsfähigkeit der Hafeneinfahrt im Zeitalter des Klimawandels.

Die Erfahrungen aus dem Projekt »ROBUST« zeigen, dass die Kombination aus moderner Technologie, vernetzter Kommunikation und vorausschauender Planung einen entscheidenden Beitrag zur Erhöhung der Hochwassersicherheit leisten kann. Gleichzeitig wird deutlich, dass der Erfolg solcher Maßnahmen von einer engen Zusammenarbeit aller beteiligten Akteure abhängt. Nur wenn Hafenerbetreiber, Behörden, Einsatzkräfte und die Bevölkerung gemeinsam an einem Strang ziehen, können die Herausforderungen durch extreme Wetterereignisse bewältigt werden.

Abschließend lässt sich festhalten, dass der Bremer Überseehafen mit dem Projekt »ROBUST« eine Vorreiterrolle im Bereich der digitalen Hochwassersicherheit einnimmt. Die gewonnenen Erkenntnis-



se und entwickelten Technologien könnten in Zukunft auch auf andere Häfen und Küstenregionen übertragen werden. Angesichts des fortschreitenden Klimawandels und der zunehmenden Bedrohung durch Sturmfluten ist es unerlässlich, weiterhin in innovative Lösungen zu investieren und die Resilienz kritischer Infrastrukturen zu stärken. Nur so kann die Sicherheit von Menschen, Wirtschaft und Umwelt langfristig gewährleistet werden. //

Aus der Tiefe in die Cloud

Hafeninfrastruktur erfassen, analysieren und managen

Ein Beitrag von BERIT JOST

Bauwerksinspektion | digitaler Zwilling | Schadensindikator
building inspection | digital twin | damage indicator

Autorin

Dr. Berit Jost ist CTO bei der HydroMapper GmbH in Hamburg.

berit.jost@hydromapper.de

1 Einleitung und Motivation

Ein großer Teil der Hafen- und Wasserstraßeninfrastruktur in Europa befindet sich in einem fortgeschrittenen Alterungsprozess, wodurch der Bedarf an effizienten, skalierbaren und objektiven Inspektionsmethoden stetig wächst. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Sicherheit, Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit dieser kritischen Infrastrukturen kontinuierlich. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, dass wesentliche Teile dieser Bauwerke, häufig bis zu 50 %, unterhalb der Wasserlinie liegen und somit schwer zugänglich sind. Konventionelle Inspektionsmethoden, insbesondere tauchergestützte Einzeluntersuchungen, liefern nur punktuelle Informationen und sind zeit- sowie kostenintensiv. Dadurch entstehen erhebliche Wissenslücken hinsichtlich des tatsächlichen Zustands der Bauwerke.

Vor dem Hintergrund nachhaltiger Infrastrukturentwicklung wird eine ganzheitliche, datengetriebene Betrachtung erforderlich, die sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte berücksichtigt. Ziel dieses Beitrags ist es, einen durchgängigen digitalen Workflow vorzustellen, der die hydrographische Datenerfassung, intelligente

Datenanalyse und cloudbasiertes Datenmanagement in einem digitalen Zwilling vereint. Dazu stellt dieser Beitrag Ergebnisse und Erkenntnisse aus den vom Bundesministerium für Verkehr geförderten Forschungsprojekten »3D-Hydromapper«, »port_AI« und »port:Evolution« vor und diskutiert deren Potenzial für die Weiterentwicklung des Hafeninfrastrukturmanagements. Es wird gezeigt, wie durch die Kombination aus moderner Unterwasservermessung und intelligenter Datenplattform neue Formen der Datennutzung und Entscheidungsunterstützung realisiert werden können. Ziel ist es, die Rolle digitaler Technologien im hydrographischen Kontext zu beleuchten und Impulse für deren zukünftige Anwendung zu geben.

2 Multimodale Datenerfassung

Die Grundlage dieses Ansatzes bildet eine multimodale Datenerfassung, bei der sowohl über als auch unterhalb der Wasserlinie Daten aufgenommen werden. Das Messsystem wurde mit Fokus auf die dreidimensionale Erfassung von Unterwasserstrukturen in Hafenbecken und Wasserstraßen konzipiert. Es wurde eine Messplattform entwickelt, die Infrastruktur unter Wasser aufnimmt, um gezielt geometrische Anomalien im Bauwerk zu finden und eine Grundlage für Taucher bei der Bauwerksinspektion zu liefern. Die patentierte Aufnahmetechnologie durch einen höhenverstellbaren und geneigten Sensorkopf liefert hochauflösende und vollständige 3D-Daten des Bauwerks.

Unter Wasser erfolgt die geometrische Erfassung mit einem Multibeam-Echosounder (Hydro-Scanning), während oberhalb der Wasserlinie Laserscanning und photogrammetrische Methoden eingesetzt werden (Abb. 1).

Das Endprodukt der Vermessung unter Wasser ist eine hochaufgelöste Punktwolke generiert aus Sonardaten. Über Wasser entsteht sowohl eine Punktwolke, aufgenommen mit einem Profillaserscanner, sowie eine hochaufgelöste Vermaschung, generiert aus Bilddaten, die mit einem speziell angefertigten Kamerasystem aufgenommen werden (Abb. 2 und Abb. 3).

Durch die Kombination dieser Sensorik entsteht



Abb. 1: Vermessungsboot LUX mit Multibeam-Echosounder, Profillaserscanner und Kamerasystem

ein vollständiges, georeferenziertes Abbild der Infrastruktur, das sowohl die globale Geometrie als auch, zumindest über Wasser, feine Schadensmerkmale erfasst.

3 Datenanalyse: Automatisierung und KI-gestützte Verfahren

Das Ziel der Datenanalyse ist die Zustandserfassung maritimer Infrastruktur. Unter Wasser erfolgt die Schadensdetektion primär über geometrische Abweichungen von Referenzmodellen oder der lokalen Umgebung, während oberhalb der Wasserlinie zusätzlich hochauflösende Bilddaten genutzt werden. Beispiele für Schäden sind in [Abb. 4](#) dargestellt.

Die Verarbeitung der Unterwasserdaten erfordert spezielle Algorithmen, da die Standardsoftwareprodukte oftmals nicht auf die hochauflösende Vermessung vertikaler Bauwerke spezialisiert sind. Aufgrund der charakteristischen Eigenschaften sonarbasierter Daten, wie Rauschen, Abschattungen und variierende Punktdichten, ist eine robuste Vorverarbeitung essenziell.

Im vorgestellten Workflow kommen verschiedene Machine-Learning-Ansätze zum Einsatz, die eine weitgehende Automatisierung der Datenanalyse ermöglichen. Dazu gehören:

- Ausreißererkennung und -bereinigung,
- Segmentierung von Wand- und Bodenstrukturen,
- Detektion geometrischer Anomalien (zum Beispiel Neigungen, Verformungen).

[Abb. 5](#) zeigt den Workflow von unbereinigter roher Punktwolke, über die bereinigte und segmentierte Punktwolke zu einer Darstellung auffälliger Geometrieanomalien, wie zum Beispiel Neigungen und Verdrehungen der Spundbohlen.

Diese Verfahren erlauben es, relevante Veränderungen im Bauwerkszustand systematisch zu identifizieren. Auffällige Bereiche werden automatisch als potenzielle Schadensindikatoren (Points-of-Interest) markiert und in den digitalen Zwilling integriert, wodurch eine systematische und reproduzierbare Identifikation kritischer Bereiche ermöglicht wird.

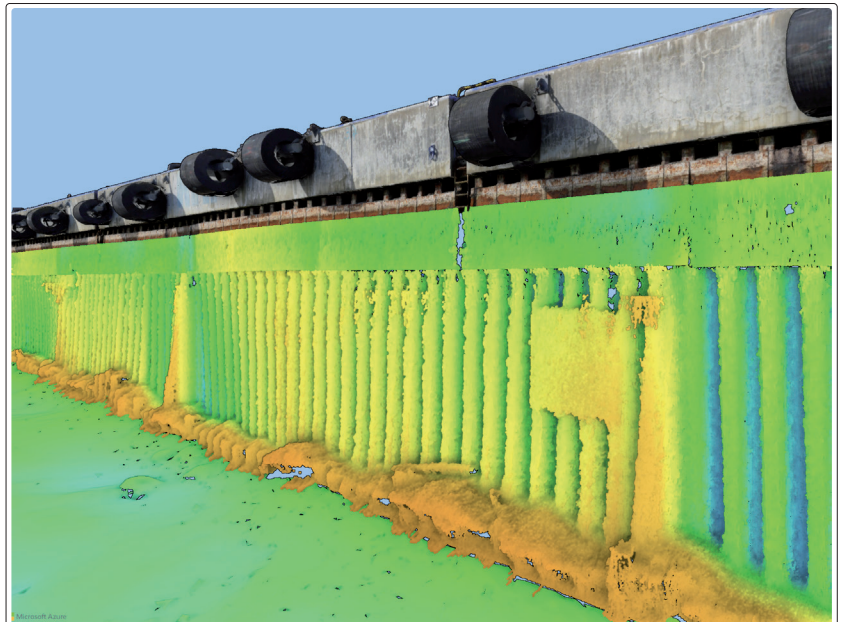


Abb. 2: Ergebnis der Vermessung: Punktwolke unter Wasser und hochauflösende Vermaschung über Wasser

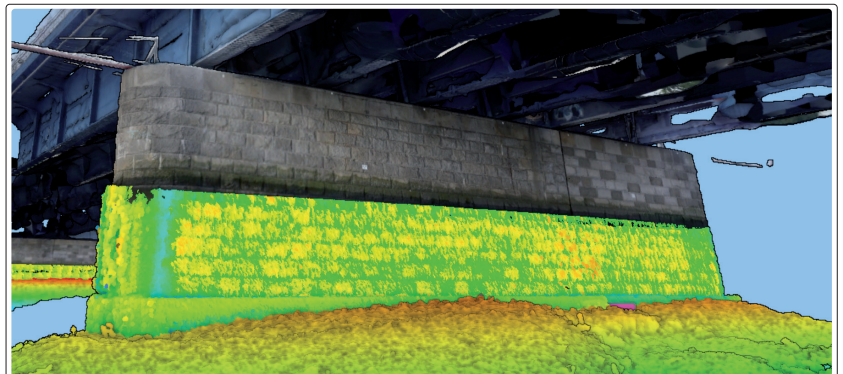


Abb. 3: Ergebnis der Vermessung eines Brückenpfeilers

Für den oberhalb der Wasserlinie liegenden Bereich wird die Schadensdetektion durch den Einsatz von Methoden des maschinellen Lernens weiter automatisiert. Hochauflösende Bilddaten, die mittels photogrammetrischer Verfahren erzeugt werden, ermöglichen die Detektion feiner Strukturen wie Risse, Abplatzungen oder Korrosionserscheinungen. Auf dieser Grundlage werden neuronale Netze zur semantischen Segmentierung und

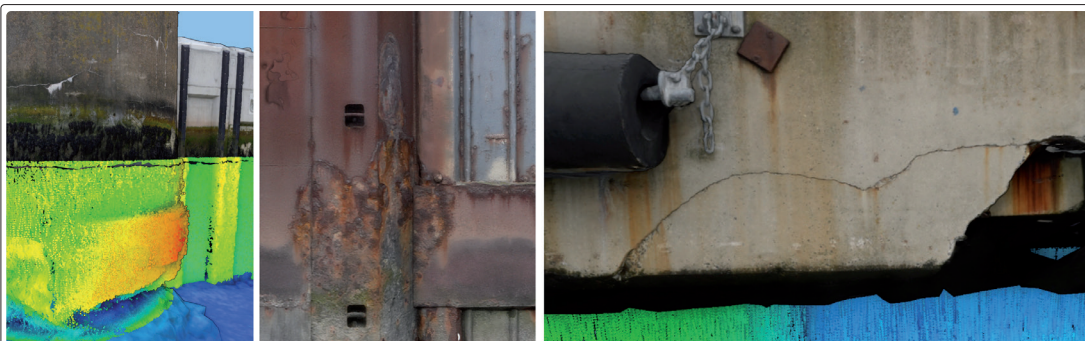


Abb. 4: Darstellung von Schäden in maritimen Bauwerken

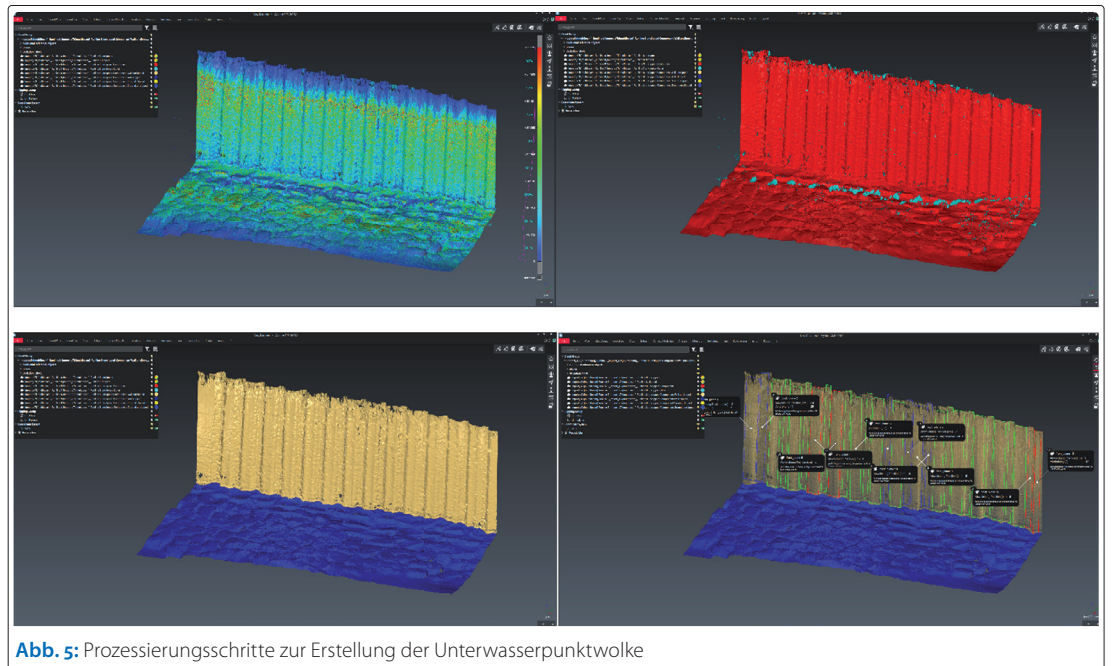


Abb. 5: Prozessierungsschritte zur Erstellung der Unterwasserpunktwolke

Objekterkennung eingesetzt, um Schäden automatisiert zu klassifizieren und räumlich zu verorten (Abb. 6). Dazu wurden ca. 25 000 Bilder maritimer Infrastruktur gelabelt und für das Training eines neuronalen Netzes verwendet. Die detektierten Schadensinformationen werden anschließend mit den 3D-Daten fusioniert und georeferenziert im digitalen Zwilling abgelegt. Die Kombination aus geometrischer und semantischer Analyse führt zu einer deutlich verbesserten Detektionsgenauigkeit und ermöglicht eine quantitative Bewertung von Schäden.

4 Datenmanagement: Digitaler Zwilling und Cloud-Integration

Die Daten werden unmittelbar in eine cloudbasierte Umgebung überführt, in der sie zusammengeführt, visualisiert und für weitere Analysen bereitgestellt werden. Diese zentrale Datenhaltung bildet die Grundlage für einen digitalen Zwilling, der als Informationsdrehscheibe für alle weiteren Prozessschritte dient. Abb. 7 stellt die verschiedenen Datenarten dar. Die in Falschfarben dargestellte Punktwolke zeigt die Unterwasserdaten,

die Daten in Realfarben zeigen die Vermaschung der Überwasserdaten, die Kreise stellen Schäden verschiedener Schadensklassen und die pinken Dreiecke Points-of-Interest dar. Die sechseckigen Symbole zeigen die Position von 360°-Panoramen.

Die Kombination aus automatisierter Punktwolkenverarbeitung, KI-basierter Bildanalyse und multimodaler Datenfusion ermöglicht eine durchgängige Digitalisierung des Inspektionsprozesses. Dadurch können Schäden nicht nur effizienter erkannt, sondern auch quantitativ erfasst und hinsichtlich ihrer Ausdehnung bewertet werden. Diese Informationen bilden die Grundlage für eine automatisierte Priorisierung von Instandhaltungsmaßnahmen sowie für die Integration in weiterführende Planungsprozesse, einschließlich Kostenabschätzung und zeitlicher Ablaufplanung.

Darüber hinaus eröffnet die Verfügbarkeit strukturierter und vernetzter Daten neue Perspektiven für die Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure. Hafentreiber, Behörden, Ingenieurbüros und Dienstleister können auf eine gemeinsame Datenbasis zugreifen und diese gemeinsam nutzen. Dies



Abb. 6: Ergebnis der KI-basierten Schadensdetektion in Bilddaten

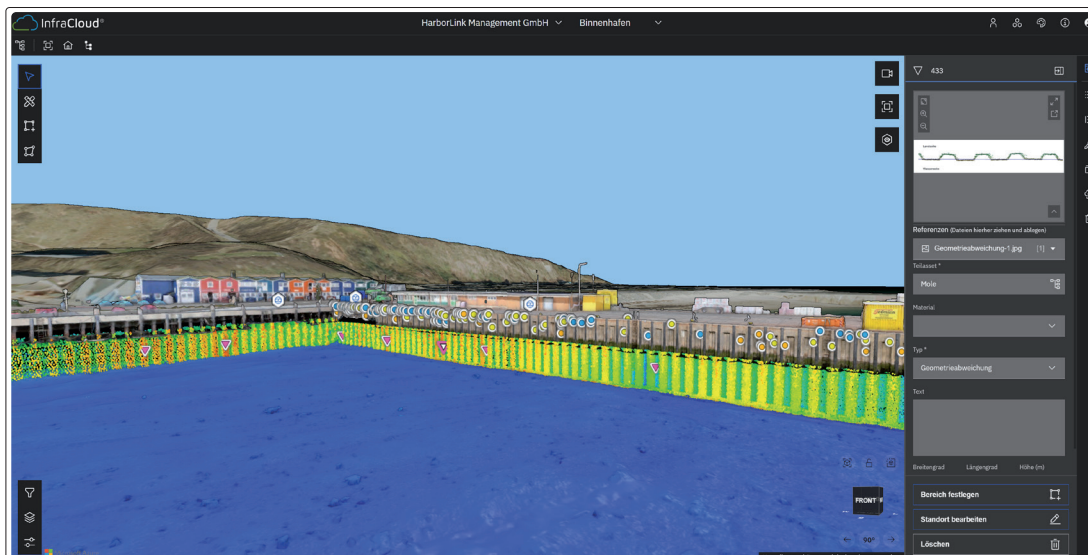


Abb. 7: Darstellung verschiedener Datenarten zum Infrastrukturmanagement in der InfraCloud

reduziert Informationsverluste an Schnittstellen und erhöht die Transparenz von Planungs- und Entscheidungsprozessen. Gleichzeitig können durch die Standardisierung von Datenformaten und Schnittstellen Interoperabilitätsprobleme reduziert werden, die bislang häufig eine effiziente Datennutzung behindern.

Im Kontext der Nachhaltigkeit kann mit einem strukturierten Datenmanagement und einer visuellen Darstellung und Dokumentation von Schadenshistorien frühzeitig in die Instandsetzung von Bauwerken eingegriffen werden, um längerfristige

Kosten zu reduzieren und die Lebensdauer von Bauwerken zu verlängern.

Insgesamt verdeutlicht dieser Beitrag, dass die Integration von hochauflösender Datenerhebung und leistungsfähiger Datenanalyse einen wesentlichen Beitrag zur Digitalisierung der Hafeninfrastruktur leisten kann. Der Ansatz »aus der Tiefe in die Cloud« steht dabei exemplarisch für eine durchgängige, datengetriebene Betrachtung von Infrastrukturen, die es ermöglicht, komplexe Systeme besser zu verstehen, Risiken frühzeitig zu erkennen und Ressourcen effizient einzusetzen. //

Vom Sensor zum Service

Ein Framework für die hochgenaue Seekarte

Ein Beitrag von CHRISTOPHER PETERSEN und MATTHIAS STEIDEL

Remote Operation | ENC | hochgenaue Seekarte | kooperativer Sensordatenaustausch
remote operation | ENC | high-precision nautical chart | collaborative sensor data exchange

Autoren

Christopher Petersen und Matthias Steidel arbeiten am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt beim Institut Systems Engineering für zukünftige Mobilität.

matthias.steidel@dlr.de

Der Wandel der maritimen Domäne ist maßgeblich durch den anhaltenden Fachkräftemangel und technologischen Fortschritt geprägt (BIMCO and International Chamber of Shipping 2025). Gerade diese Herausforderungen bieten den Anlass dazu, zu neuen Betriebsmodellen überzugehen. Dazu zählen insbesondere die Einführung innovativer automatisierter Systeme als auch der Einsatz von Remote Operation zur Fernsteuerung von Schiffen. Diese Entwicklung geht auch damit einher, dass solche Schiffe verstärkt auf Sensorik an Bord setzen, um die Umgebung umfassender überwachen zu können, sei es beispielsweise durch Kameras oder LiDAR. Bisher werden die Daten dieser Sensoren jedoch auf dem Schiff bzw. im entsprechenden Remote Operation Center verarbeitet und nur dort genutzt und nicht mit anderen Verkehrsteilnehmern ausgetauscht.

Besonders die Hafeninstandhaltung kann durch den Einsatz von Remote Operation profitieren, wie beispielsweise bei Baggerschiffen zur Wahrung der erforderlichen Wassertiefen im Hafengebiet. Dafür müssen Remote Operator dazu in der Lage sein, das jeweilige Schiff sicher zu steuern und Kollisionen zu vermeiden (Ramos et al. 2019). Um eine sichere Navigation gewährleisten zu können, wird ein präzises und stets aktuelles Abbild der relevanten Umgebung des Schiffs benötigt. Eine mögliche Lösung für dieses Problem besteht in einem Service, der hochgenaue Seekarten zur Verfügung stellt, indem Sensordaten unterschiedlicher Technologien mit Hilfe eines Sensor-Fusions-Frameworks kombiniert werden. Es werden sowohl Kameradaten, LiDAR, Sonar, GNSS und existierende ENCs betrachtet. Mit Hilfe eines V2X-Ansatzes (»Vessel-to-X«) findet ein kooperativer Datenaustausch zwischen Schiffen und der Infrastruktur statt. Durch die genaue Identifizierung und Georeferenzierung maritimer Objekte sowie das kooperative Verteilen der Sensordaten soll die sichere Navigation bemannter und unbemannter Schiffe gewährleistet werden:

- Erhöhung der Präzision: Herkömmliche elektronische Seekarten (ENCs) beinhalten bereits Informationen über die Art und Position von Objekten, können jedoch deutliche Diskrepan-

zen zu realen Objekten aufweisen, insbesondere in Bezug auf Formen und präzise Maße. Bewegliche Objekte werden somit nur ungenügend dargestellt. Es besteht sowohl ein Bedarf an erhöhter Präzision als auch an einem erhöhten Detailgrad der Darstellungen.

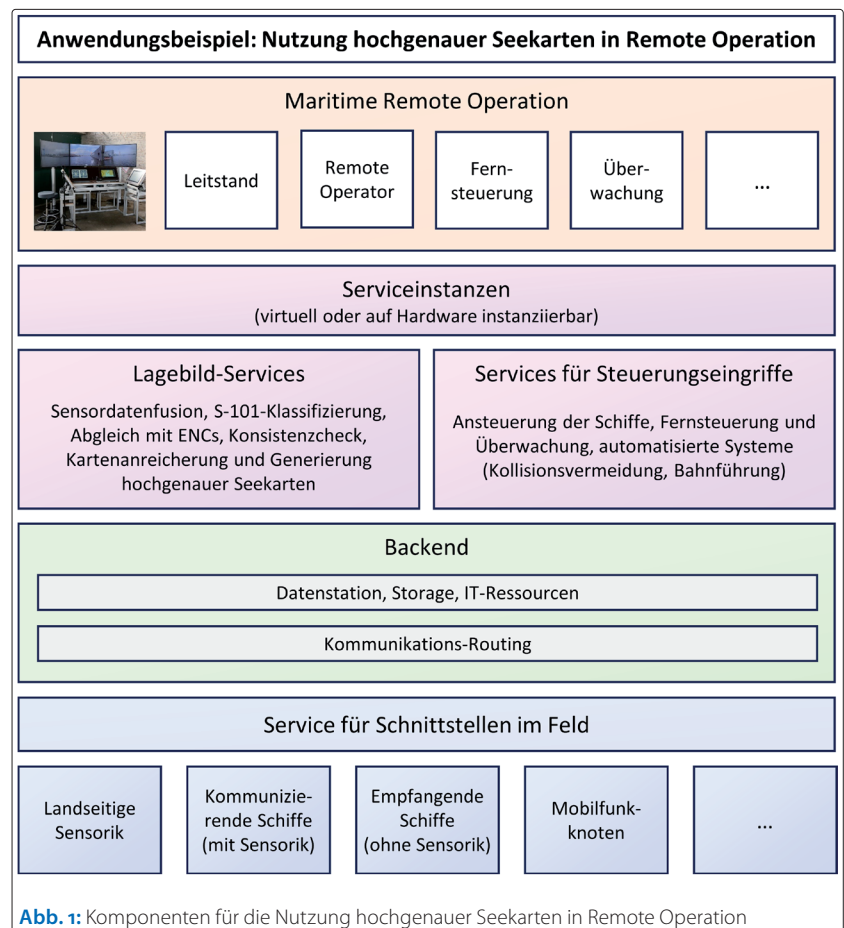
- Aktualität der Daten: Zwischen den Updates der ENCs vergehen oft längere Zeiträume, sodass kürzliche Änderungen in der Umgebung oder der Hafeninfrastruktur nicht abgebildet werden. Für die Detektion statischer und dynamischer Objekte wird bereits sowohl auf AIS als auch auf Radar zurückgegriffen. Sinnvoll ist die Integration weiterer Sensorik, wie zum Beispiel LiDAR.
- Hochgenaue Seekarte als Service: Werden Sensordaten einzelner Schiffe nicht mit anderen Verkehrsteilnehmern geteilt, profitiert nur das mit Sensorik ausgestattete Schiff von den Daten. Der Ansatz verfolgt das kooperative Teilen und Bereitstellen von Sensorinformationen in Form der hochgenauen Seekarte als Lagebild aus verteilten Sensoren, beispielsweise für ein bestimmtes Hafengebiet.

Dieses Konzept wird am Beispiel der Nutzung der hochgenauen Seekarten in einem Remote-Operation-Szenario innerhalb eines Hafengebiets erläutert (siehe [Abb. 1](#)). Das übergeordnete Ziel besteht darin, allen Verkehrsteilnehmern in diesem Hafengebiet eine stets aktuelle hochgenaue Seekarte bereitzustellen, die durch kooperativen Sensordatenaustausch generiert und zentral gespeichert wird. Um diese hochgenauen Seekarten als Service verfügbar machen zu können, sind folgende Komponenten erforderlich, die auch die Komponenten für das Remote-Operation-Szenario umfassen. Zuerst werden die Infrastruktur und Sensorik im Feld sowie entsprechende Schnittstellen benötigt: Im Feld existieren mehrere Schnittstellen, die für die Anbindung der Sensorik, die Datenverteilung und die Bereitstellung des Lagebildes notwendig sind. Für den Aufbau der landseitigen Sensorik werden Sensoren (wie LiDAR) an festen Positionen installiert, beispielsweise an kritischen Engstellen im Hafengebiet. Schiffe, die mit bordseitiger Sensorik ausgerüstet

sind, stellen diese Daten auch über die jeweiligen Schnittstellen zur Verfügung und tragen so aktiv zur Aktualisierung der hochgenauen Seekarten bei. Dies können Schiffe sein, die sich kontinuierlich durch das Hafengebiet bewegen und die Umgebung erfassen (zum Beispiel Baggerschiffe oder Messschiffe). Die Integration konventioneller Schiffe ohne spezielle Sensorausrüstung findet ebenfalls statt, sodass diese über die entsprechenden Schnittstellen auf das Lagebild zugreifen können. Dies ermöglicht die Navigation auf Basis einer aktuellen, hochgenauen Seekarte. Für den notwendigen Datenaustausch sorgen Mobilfunknetze im Hafengebiet, welche die Datenübertragung zwischen Schiffen und dem zentralen Backend ermöglichen. Weitergehend wird ein Backend benötigt. Das Backend wird für das Kommunikationsrouting und als Speicher verwendet und dient als Middleware. Ein Teil des Backends ist die Datenstation, die die hochgenaue Seekarte für das Hafengebiet beinhaltet. Über das Backend werden alle Daten übertragen. In den Lagebild-Services werden hochgenaue Seekarten durch Sensorfusion und den Vergleich mit bestehenden ENC's generiert und über die Datenstation im Backend bereitgestellt. Die Kartenanreicherung läuft wie folgt ab: Die Nutzung von Kamera- und LiDAR-Daten ermöglicht die Identifizierung von Objekten und deren räumliche Abbildung. Aus den LiDAR-Daten werden Punktwolken einzelner Objekte gebildet und nach dem S-101-Feature-Katalog klassifiziert. Die Nutzung von GNSS-Daten erlaubt es, die Objekte in einem globalen Koordinatensystem zu georeferenzieren, sodass präzise Positionen der jeweiligen Objekte zur Verfügung stehen. Die erkannten Objekte werden mit der bestehenden Datenbank, die ausgehend aus herkömmlichen ENC's besteht, verglichen. Bei Übereinstimmung der detektierten Objekte innerhalb definierter Grenzwerte wird keine Aktualisierung vorgenommen, bei Abweichungen in Position oder Form werden die entsprechenden Merkmale aktualisiert oder neu hinzugefügt. Nur zeitlich konsistente Objekte werden gespeichert, um Falscherkennungen zu reduzieren. Für sich häufig bewegende Objekte werden typische Bewegungsbereiche analysiert, die als Informationen zur Verfügung gestellt werden. Die Services für Steuerungseingriffe betreffen das Beispiel für die Remote Operation. Hierzu gehören automatisierte Systeme, wie beispielsweise Kollisionsvermeidungssysteme, die auf den jeweiligen Schiffen genutzt werden können. Durch diese Services wird eine kontinuierliche Überwachung und Ansteuerung der Systeme auf den Schiffen ermöglicht, die durch das Remote Operation Center betrieben werden sollen. Als Serviceinstanz wird verstanden, in welcher Form die hochgenaue Seekarte genutzt werden kann. Die hochgenaue Seekarte

wird per Abfrage über die Schnittstellen als Instanz bereitgestellt. Dies geschieht entweder als virtuelle Instanz oder auf bestehender Hardware wie beispielsweise für das ECDIS. Das Remote Operation Center integriert bzw. wendet beispielhaft alle zuvor beschriebenen Komponenten an. Aus dem Remote Operation Center heraus kann ein entsprechendes Schiff im Hafengebiet überwacht und angesteuert werden. Dazu wird die hochgenaue Seekarte genutzt, die dem Remote Operator eine sichere Navigation ermöglicht, sowie Services für Steuerungseingriffe, die eine einfachere Automation von Systemen auf dem Schiff ermöglichen.

Hochgenaue Seekarten stellen eine Möglichkeit zur signifikanten Verbesserung der Einsatzfähigkeit autonomer und ferngesteuerter Schiffe dar. Durch den Service wird die Bereitstellung aktueller Navigationsdaten und die Kommunikation verschiedener Verkehrsteilnehmer ermöglicht. Zukünftig können durch diesen Service der Personalbedarf reduziert und Betriebskosten gesenkt werden. Gerade Hafenbetreibern kann ein Wettbewerbsvorteil durch die verbesserte Infrastrukturqualität entstehen. Zusätzlich bieten sich für die Generierung der hochgenauen Seekarten Multi-Schiff-Operationen an, bei denen Schiffe Hafengebiete vermessen und somit einen flächendeckenden Service etablieren.



Bis ein solcher Service im Einsatz ist, müssen jedoch verschiedene Hürden bewältigt werden. Gerade im Bereich des Datenschutzes müssen potentiell sensible Aufnahmen von Personen betrachtet werden. Problematisch ist auch die SOLAS-Konformität, da nur offizielle hydrographische Seekarten für die Navigation gelten. Dies erschwert den alleinigen Einsatz hochgenauer Seekarten, zeigt aber Potenziale für eine ergänzende Anwendung des Services auf. Für einen skalierbaren Service sollte eine Standardisierung der Sensorausrüstung vor-

genommen werden, die mit Kostensenkungen einhergehen kann. Des Weiteren muss die Kommunikationsinfrastruktur zuverlässige Echtzeit-Datenübertragungen gewährleisten. Während bei der Positionierung DGPS-basierte Lösungen etabliert sind, muss auf Alternativen wie RTK-GPS oder EGNOS geschaut werden. Für die Objektklassifizierung nach S-101 bleiben Hürden, da nicht alle Eigenschaften und Attribute der Objekte automatisch ableitbar sind und dies um sinnvolle Eigenschaften ergänzt werden muss. //

Literatur |||

Ramos, Marilia Abilio; Ingrid Bouwer Utne; Ali Mosleh (2019): Collision avoidance on maritime autonomous surface ships: Operators' tasks and human failure events. Safety Science, DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.038

BIMCO and International Chamber of Shipping (2025): Seafarer Workforce Report – The global supply and demand for seafarers in 2021. www.bimco.org/products/publications/titles/seafarer-workforce-report

INTERGEO

2026
SEPT. 15 – 17
MUNICH

INSPIRATION
FOR A SMARTER
WORLD



GET YOUR
TICKET NOW!

VOUCHER CODE: IG26-DHYG

EXPO
CONFERENCE STAGE
NETWORKING

WWW.INTERGEO.DE



Host: DVW e.V.
Conference organiser: DVW GmbH
Expo organiser: HINTE Expo & Conference GmbH



Port Call Optimization für die Bremischen Häfen

Ein Beitrag von MATTHIAS HINZ

Port Call Optimization – PCO | Global Location Number – GLN
Port Call Optimization – PCO | Global Location Number – GLN

Autor

Matthias Hinz ist Smartport-Koordinator bei der bremenports GmbH & Co. KG in Bremerhaven.

matthias.hinz@bremenports.de

In der maritimen Logistik führt das »Hurry up and wait«-Phänomen zu erheblichen Ineffizienzen: Schiffe laufen in schneller Fahrt den Hafen an, um Wartezeit zu vermeiden, müssen dann aber doch auf Reede liegen. Studien zeigen, dass Handelsschiffe im Schnitt 9 bis 15 % ihrer Reisezeit vor dem Hafen im Warteankergebiet verbringen. Während dieser Zeit laufen Hilfsmaschinen weiter und verbrennen Treibstoff – etwa 15 % des Reisebunkers geht so unnötig verloren. Dies generiert vermeidbare CO₂- und Schadstoffemissionen und belastet zugleich die Abläufe und die Sicherheit in engen Revierfahrwassern. Port Call Optimization (PCO) setzt genau hier an: Durch datengestützte Just-in-Time-Anläufe sollen Schiffe so gesteuert werden, dass sie punktgenau ankommen und ohne Verzögerung sicher abgefertigt werden können. Indem Wartezeiten auf null reduziert werden, ermöglicht PCO langsames, gleichmäßiges Reisen – was Treibstoff spart und Emissionen senkt. Simulationen und Pilotprojekte deuten auf bis zu 10 bis 20 % Kraftstoffeinsparung hin, wenn einlaufende Schiffe ihre Geschwindigkeit optimal anpassen können. PCO lässt sich somit als Dreiklang aus wirtschaftlicher Effizienz, ökologischer Nachhaltigkeit und nautischer Sicherheit verstehen: weniger Kosten, weniger CO₂-Ausstoß und sicherere Navigation.

PCO als Voraussetzung für sichere Berth-to-Berth-Navigation

PCO wird oft als primäres Werkzeug zur Effizienzsteigerung und Emissionsreduktion betrachtet, ist aber zugleich eine zentrale Voraussetzung für sichere Navigation von Liegeplatz zu Liegeplatz. Die Standardisierung von Port-Call-Phasen, Meilensteinen und Datenflüssen schafft Transparenz und Planbarkeit für alle Beteiligten und ermöglicht es, nautische Anforderungen gezielt zu berücksichtigen. Für eine sichere Navigation sind drei Faktoren entscheidend: eine eindeutige räumliche Referenz, ein verlässliches Lagebild durch aktuelle hydrographische Daten sowie präzise Zeitfenster, insbesondere in tideabhängigen Revieren. Nur wenn diese Elemente zusammenwirken und in einem datenbasierten, koordinierten System abgebildet werden, kann die Sicherheit im Hafenbetrieb ge-

währleistet werden. PCO ist damit keine optionale Ergänzung, sondern die Grundlage für sichere und planbare Schiffsanläufe – und trägt durch verlässliche Informationen auch zur Vermeidung von Fatigue an Bord und zur effizienten Einsatzplanung der Crew bei. Das Zusammenspiel aller Akteure, die klare Rollenverteilung und die hoheitliche Verantwortung der Verkehrssteuerung bleiben dabei essenziell, während PCO die Entscheidungsgrundlagen und Transparenz deutlich verbessert. Ziel ist nicht, Schiffe schneller in den Hafen zu bringen, sondern sie zur richtigen Zeit, am richtigen Ort, unter den richtigen Bedingungen und mit den richtigen Informationen sicher an den richtigen Liegeplatz zu bringen.

Hydrographie als Enabler

Damit PCO funktioniert, sind präzise hydrographische Daten und Standards unverzichtbar. Ein Schiff kann nur dann just in time ankommen, wenn es aktuelle Informationen zu Wassertiefen, Tiden und Liegeplätzen hat. In tidensensiblen Häfen wie Bremerhaven bestimmen Gezeitenströme und Tidenfenster maßgeblich, wann ein Tiefgänger sicher einlaufen kann. PCO integriert daher die Hydrographie in die Anlaufplanung: Tidekurven, Pegelstände, Echtzeit-Lotungen, Dynamic Under Keel Clearance und elektronische Seekarten liefern die Grundlage, um optimale Ankunftszeitpunkte im Einklang mit Wasserstand und Hafensicherheit zu ermitteln. Moderne Standards der Internationalen Hydrographischen Organisation (IHO), insbesondere das S-100-Datenframework, ermöglichen es dabei, Hafen- und Fahrwasserdaten maschinenlesbar bereitzustellen. Hydrographie liefert somit die physikalischen Leitplanken für PCO: Sie stellt sicher, dass »just in time« auch »just in depth« bedeutet – also dass ein Schiff genau dann ankommt, wenn das Wasser tief genug ist und Fahrinne und Liegeplatz frei sind.

Globale Standards und Initiativen

Auf internationaler Ebene haben sich in den letzten Jahren mehrere Organisationen zusammengeschlossen, um PCO voranzubringen und zu vereinheitlichen. Die International Taskforce Port

Call Optimization (ITPCO) – eine neutrale Koalition aus Häfen, Terminals, Reedereien, Agenten und Verbänden – verfolgt das Ziel, den Austausch nautischer, administrativer und operativer Daten zwischen Schiff und Landseite global zu standardisieren. Durch gemeinsame Standards sollen alle Beteiligten mitgenommen werden. Ein großer Meilenstein in diesem Prozess ist der neue Port Call Optimization Guide 2026, der im März 2026 als Branchen-Leitfaden veröffentlicht und bei der IMO eingereicht wurde. Dieser Guide definiert einen Mindestdatensatz, den ein Hafen heute bereitstellen sollte, um Just-in-Time-Anläufe zu ermöglichen. Dazu zählt unter anderem, dass alle SOLAS-Schiffe zeitgleich Zugriff auf wesentliche Port-Call-Informationen erhalten müssen. Konkret wird empfohlen, jedem Hafen eindeutige Standortkennungen zuzuweisen und Kernzeitstempel global einheitlich bereitzustellen. Für Häfen hat sich der UN/LOCODE als eindeutiger Code etabliert; für Terminals und Liegeplätze schlägt der PCO-Guide die Nutzung der Global Location Number (GLN) als eindeutige räumliche Referenz, wie oben erwähnt, vor. Eine GLN ist ein 13-stelliger Code nach ISO/IEC 6523 und dient als weltweit eindeutiger »digitaler Zwilling« eines Liegeplatzes. Damit können etwa Tiefenangaben und Positionsdaten eines Liegeplatzes in allen Systemen ohne Namensverwirrung referenziert werden – ein erheblicher Fortschritt, da Liegeplätze bisher oft nur lokale Namen haben, die sich ändern können. Zusammen mit zeitkritischen Angaben via standardisierter APIs entsteht so ein global kompatibles Datengerüst. Kurz gesagt: Der neue Leitfaden fordert die Häfen auf, analog zur Ausrüstung der Schiffe (SOLAS) nun ihrerseits eine digitale Mindestaustattung an Daten bereitzustellen, die weltweit auf Knopfdruck abrufbar ist.

Interoperabilität und Datenaustausch

Ein Kernaspekt von PCO ist die durchgängige Vernetzung aller Akteure. Traditionell arbeiten Hafenbehörden, Terminals, Reeder und nautische Dienste meist mit getrennten IT-Systemen – der Austausch erfolgt per Telefon oder E-Mail, was zu Verzögerungen und Medienbrüchen führt. PCO strebt eine »One Truth«-Datenplattform an: Alle Parteien bedienen sich aus einer gemeinsamen Datenquelle oder tauschen Informationen über Standard-Schnittstellen (APIs) in Echtzeit aus. Technisch ist dies nur mit offenen, standardisierten Datenmodellen machbar. Standards sorgen dafür, dass Systeme unterschiedlicher Hersteller und Institutionen kompatibel sind und Daten ohne manuelle Anpassung verstanden werden. Beispielsweise sollten ein Terminal-Operating-System (TOS), das behördliche System und das Schiffslogbuch definierte Ereigniszeitstempel wie ETA am Lotsenpunkt, Anlegebestätigung oder Freigabe

des Liegeplatzes in identischer Bedeutung austauschen können. Solche Harmonisierung erfordert zwar initial Aufwand, schafft aber langfristig die Basis, um automatisierte Warnungen oder auch KI-gestützte Prognosen in die Abläufe zu integrieren. Ein Hafen, der PCO einführen will, muss daher häufig zuerst ein Change Management anstoßen: weg von Insellösungen, hin zu vertrauensvoller Daten-Kollaboration. Hier sind sozial und organisatorisch große Aufgaben zu meistern: Alle Beteiligten müssen Vertrauen fassen, dass geteilte Daten kein Kontrollverlust, sondern im Gegenteil ein gemeinsamer Gewinn sind. Deshalb empfehlen Leitfäden wie der PCO Guide, zunächst in begrenztem Umfang zu starten (Pilotbetrieb) und mit Quick Wins zu überzeugen. Früh erzielte Erfolge mit messbaren Ergebnissen können als Leuchttürme intern und extern kommuniziert werden.

Die Bremischen Häfen auf dem Weg zum Smartport

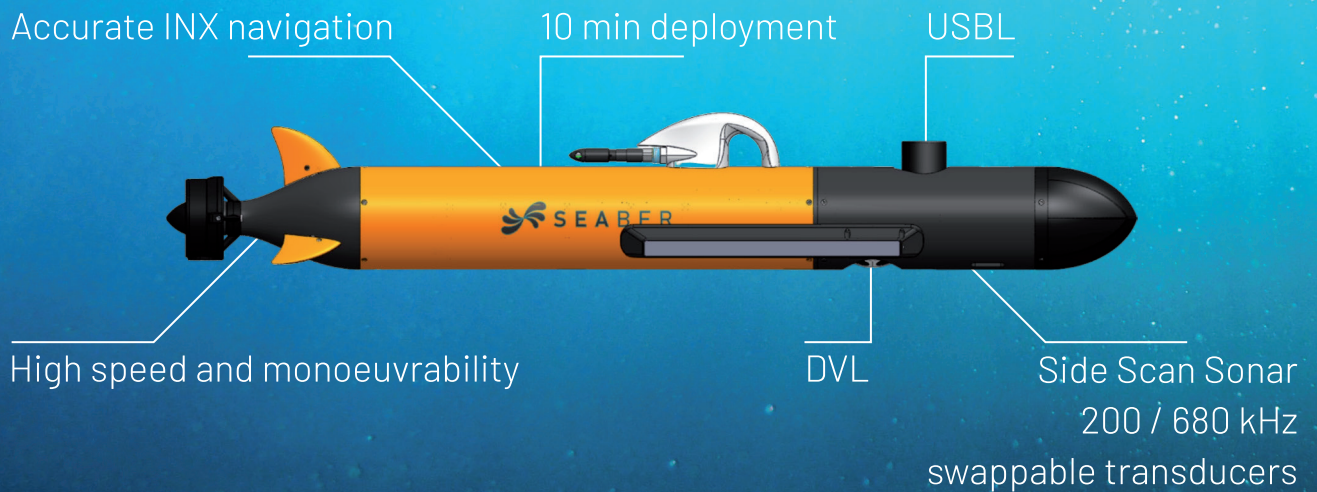
Unter dem Titel des Beitrags werden die Bremischen Häfen als Beispiel skizziert, wie PCO-Prinzipien in einem der größten europäischen, tideabhängigen Häfen umgesetzt werden können. Im Rahmen der Smartport Strategie von Bremen/Bremerhaven läuft dazu ein Pilotprojekt (Arbeitstitel »DigiWeser«). Ausgangspunkt war, dass es bislang keine übergreifende IT-Lösung für die gemeinsame Planung der Schiffsanläufe gab – jeder Akteur arbeitete für sich, was zu manuellen Abstimmungen und begrenzter Vorausplanung führte. Das Projekt adressiert dieses Defizit durch eine neutrale Koordinationsplattform, die alle Hafenakteure auf einer Datenbasis zusammenführt. Vernetzt werden die Behördensysteme, die Terminals an der Stromkaje, Reedereien bzw. deren Agenten, Schleppreedereien und nautische Dienstleister wie Lotsen. Echtzeitdaten aus all diesen Systemen fließen in ein gemeinsames Lagebild. Dieses zeigt



allen Beteiligten aktuelle und zukünftige Schiffsbewegungen und ermöglicht eine vorausschauende, kollaborative Steuerung der Anläufe unter Wahrung der hoheitlichen Zuständigkeiten im Revier und Hafen. Das bremische Pilotprojekt orientiert sich an den genannten internationalen Standards: So wurden unlängst für alle Kajen und Terminals GLN-Codes eingeführt, um die Hafen-Infrastruktur in digitalen Systemen eindeutig referenzierbar zu machen – Bremen/Bremerhaven gehört damit zu den frühen Anwendern dieses Standards in Europa. Das Projekt demonstriert, wie ein tideabhängiges Hafensystem mit enger Verzahnung von Hafensicherheit, Hafenlogistik und Hydrographie von digitaler Koordination unter Wahrung der hoheitlichen Zuständigkeiten profitieren kann. Gleichzeitig trägt es zu den Green-Focus-Zielen der Bremischen Häfen bei, indem Emissionen gesenkt und Ressourcen geschont werden.

PCO ist also weit mehr als ein technisches Werkzeug zur Effizienzsteigerung – sie bildet die unverzichtbare Grundlage für sichere Berth-to-Berth-Navigation in modernen Häfen. Die Integration präziser hydrographischer Daten, standardisierter Standortkennungen und verlässlicher Zeitfenster

schaft die Basis, um Schiffsanläufe transparent, planbar und sicher zu gestalten. PCO verbindet wirtschaftliche Effizienz, ökologische Nachhaltigkeit und nautische Sicherheit und darf nicht als Gegensatz, sondern als verbindendes Element dieser Perspektiven verstanden werden. Die Hydrographie liefert dabei die physikalischen Leitplanken, sodass »just in time« auch »just in depth« bedeutet und Liegeplätze unter den richtigen Bedingungen erreichbar sind. Das Zusammenspiel aller Akteure, die klare Rollenverteilung und die hoheitliche Verantwortung der Verkehrssteuerung bleiben essenziell; PCO verbessert die Datengrundlagen und ermöglicht eine kollaborative Steuerung, ersetzt aber nicht die finale Entscheidungsfunktion der Hafenbehörde. Die Bremischen Häfen zeigen mit ihrem Pilotprojekt, wie internationale Standards, digitale Plattformen und aktuelle Hydrographie gemeinsam zu smarteren, nachhaltigeren und sichereren Hafenabläufen führen. Hydrographie wird damit zum zentralen Baustein digitaler Hafensteuerung – und leistet einen entscheidenden Beitrag, um ökologische Verantwortung und ökonomische Notwendigkeit im sicheren Hafenbetrieb des 21. Jahrhunderts zu vereinen. //



MARVEL-SCAN

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

Your new way to use AUVs.



Photo: Christian Palmer

FEATURES

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

FURTHER INFORMATION



Nautilus Marine Service GmbH
 Alter Postweg 30 · D-21614 Buxtehude
 Expert: Wibke Dünkel · Phone: +49 (0) 4161 / 55 903-13
 sales@nautilus-gmbh.com · nautilus-gmbh.com

Vom Ufer bis zur Gewässersohle

Ein Praxisbericht zur Laserbathymetrie in Binnengewässern

Ein Beitrag von DAVID MONETTI

Laserbathymetrie | Befliegung | digitales Gewässermodell – DGM-W
laser bathymetry | aerial surveying | digital water body model

Autor

David Monetti ist Geschäftsführer der Skyability GmbH in Siegendorf, Österreich.

david.monetti@skyability.com

Die hochauflösende Erfassung von Gewässerstrukturen gewinnt im Kontext von Wasserwirtschaft, Hochwasserschutz und ökologischer Bewertung zunehmend an Bedeutung. Klassische hydrographische Verfahren stoßen insbesondere in flachen, schwer zugänglichen oder ökologisch sensiblen Binnengewässern an ihre Grenzen. Die topo-bathymetrische Laserscanning-Technologie (Laserbathymetrie) hat sich daher in vielen Anwendungen als flächenhafte Ergänzung zu klassischen, profilbasierten Verfahren etabliert.

Die Skyability GmbH verfügt über mehr als zehn Jahre Erfahrung in der geodätischen Datenerfassung und setzt luftgestützte Laserbathymetrie (ALB) in unterschiedlichen Gewässertypen ein. Diese reichen von alpinen Flüssen über Wasserstraßen und Seen bis hin zu küstennahen Bereichen. Zum Einsatz kommen UAV-, Helikopter (Abb. 1) und Flugzeugplattformen, abhängig von erforderlicher Auflösung und Flächenabdeckung. Ziel ist eine möglichst durchgängige topo-bathymetrische Erfassung vom Ufer bis zur Gewässersohle. Je nach Projekt werden UAV-Flüge mit hohen Punktdichten von über 100 Punkten/m² oder großflächige Befliegungen im Kilometermaßstab eingesetzt. In Fließgewässern kommen häufig mehrere parallel geführte Flugstreifen zum Einsatz, um konsistente Datensätze über längere Abschnitte zu gewährleisten. Ergänzend wird in

tieferen oder optisch eingeschränkten Bereichen ein Multibeam-Echolot (MBES) eingesetzt.

Als Sensorsystem wird eine Kombination aus ALB-, ALS- und RGB-Sensorik verwendet, die über ein zeitsynchronisiertes GNSS/INS-System integriert ist. Der ALB-Sensor (RIEGL VQ-860-G) arbeitet im grünen Wellenlängenbereich bei 532 nm und ermöglicht zusätzlich die Aufzeichnung von Full-Waveform-Daten. Dadurch können Informationen zur Wasseroberfläche, Wassersäule und zum Gewässerboden differenziert extrahiert werden. Das System erlaubt unter günstigen Bedingungen Eindringtiefen bis etwa 2,5-facher Secchi-Tiefe; in der Praxis wurden im Fließgewässerbereich bereits Tiefen bis rund 17 m erreicht. Ergänzend wird ein ALS-System (RIEGL VUX-SYS-22) eingesetzt, das durch kleinen Laserspot, hohe Messgenauigkeit und ein flexibles 360°-Field-of-View gekennzeichnet ist. Optional wird das System durch hochauflösende RGB-Kameras (Sony oder Phase One) ergänzt.

Die Kombination aus ALS- und ALB-Sensorik bietet wesentliche Vorteile für die flächenhafte Gewässererfassung (Abb. 2). ALS liefert stabile topographische Daten sowie eine präzise Erfassung der Wasseroberfläche im Nadirbereich, während ALB die bathymetrische Information unterhalb der Wasseroberfläche ergänzt. Durch den größeren Öffnungswinkel des ALS entstehen zudem verbesserte Streifenüberlappungen und zusätzliche Korrespondenzen für die Georeferenzierung. Der ALB-Sensor ist konstruktionsbedingt auf etwa $\pm 20^\circ$ begrenzt, während ALS-Systeme typischerweise bis $\pm 45^\circ$ betrieben werden. Zusätzlich verbessert ALS die Vegetationsdurchdringung im Uferbereich und erweitert die Datenabdeckung außerhalb des eigentlichen Gewässerkorridors.

Im Bereich der Fließgewässererfassung haben sich Flugplanungen mit zwei bis drei parallel geführten Flugstreifen bewährt. Je nach Gewässerbreite und Zielpunktdichte können so längere Abschnitte effizient erfasst werden. Typische Erfassungsleistungen liegen bei etwa 60 bis 100 km Flusslänge pro Befliegungstag. Die zeitlich zusam-



Abb. 1: Sensorintegration am Beispiel Helikopter

menhängende Erfassung ist dabei entscheidend, da hydrologische Parameter wie Wasserstand, Abfluss oder Trübung kurzfristig variieren können und die Datenvergleichbarkeit beeinflussen. Durch die kompakte Erfassung innerhalb eines Tages lassen sich diese Effekte minimieren.

Im Idealfall entsteht ein weitgehend lückenloser, hochaufgelöster Punktwolken-Datensatz im komprimierten Rohdatenformat. Die nachgelagerte Verarbeitung im Postprocessing umfasst mehrere Schritte. Zunächst erfolgt die Bestimmung der exakten Flug- und Sensortrajektorie als Grundlage der Georeferenzierung. Anschließend werden die Rohdaten entpackt, gefiltert und die registrierten Echos in verwertbare Punkte klassifiziert. Ein wesentlicher Schritt ist die Korrektur der unterwasserinduzierten Signalwege, bei der Brechung und veränderte Lichtgeschwindigkeit im Wasser berücksichtigt werden.

Die Datenqualität hängt stark von den Aufnahmebedingungen ab. Einflussfaktoren sind erhöhte Trübung, ungünstige optische Bedingungen, Oberflächenstörungen durch Treibgut wie Laub oder organische Partikel sowie durch Schifffahrt verursachte Turbulenzen. Zusätzlich führen geometrische Abschattungen durch Brücken, Stege, Bauwerke oder Fahrzeuge zu Datenverlusten. In größeren Wassertiefen stellt zudem die physikalische Eindringtiefe des Lasersystems eine Grenze dar.

Die resultierende Punktwolke mit Dichten von über 100 Punkten/m² bildet die Grundlage für weitere Produkte (Abb. 3). Neben digitalen Oberflächen- und Geländemodellen (DOM und DGM) kann ein digitales Gewässermodell (DGM-W) abgeleitet werden. Zusätzlich entstehen Wassertiefenkarten, Tiefenlinien und Wasseranschlagslinien. Rasterbasierte Auswertungen erreichen dabei typischerweise eine Auflösung von bis zu 0,25 m und ermöglichen detaillierte räumliche Analysen.

Besonders relevant ist die Möglichkeit zeitlicher Auswertungen durch wiederholte Befliegungen. Im Fließgewässerbereich lassen sich dadurch morphologische Veränderungen erfassen, die sowohl durch natürliche Dynamik als auch durch anthropogene Eingriffe verursacht werden (Abb. 4). Dies umfasst Prozesse wie Erosion, Sedimentation oder strukturelle Umgestaltungen. Dadurch entstehen belastbare Datengrundlagen zur Analyse der Gewässerdynamik und langfristigen morphologischen Entwicklung.

Insgesamt zeigt der Beitrag, dass die Kombination aus ALB-, ALS- und ergänzender RGB- sowie MBES-basierter Datenerfassung eine effiziente und robuste Methodik zur integrativen Erfassung von Binnengewässern darstellt. Die durchgängige

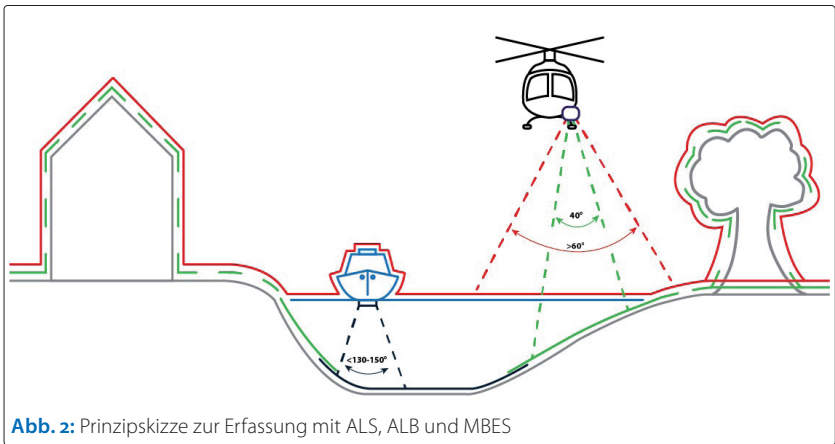


Abb. 2: Prinzipskizze zur Erfassung mit ALS, ALB und MBES

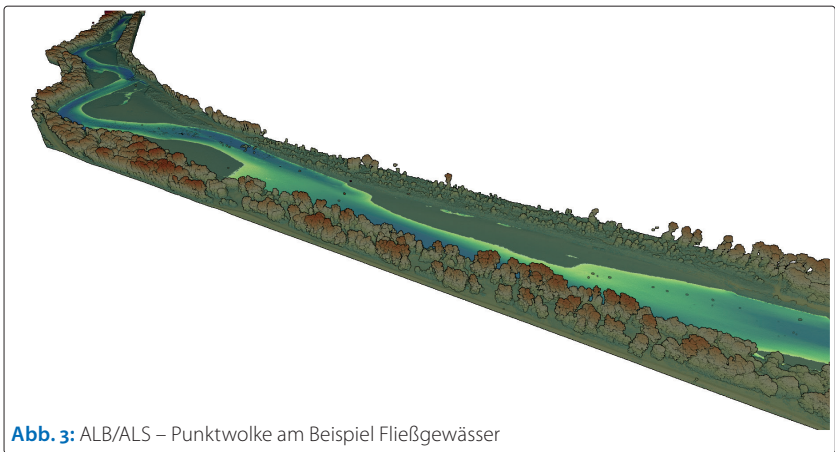


Abb. 3: ALB/ALS – Punktwolke am Beispiel Fließgewässer

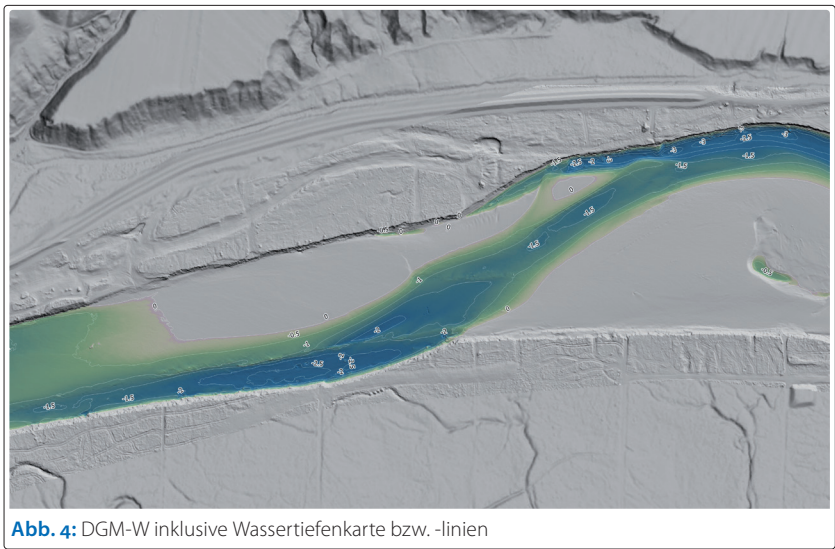


Abb. 4: DGM-W inklusive Wassertiefenkarte bzw. -linien

Erfassung vom Ufer bis zur Gewässersohle ermöglicht konsistente, hochauflösende Modelle komplexer Gewässersysteme und bildet eine belastbare Grundlage für Anwendungen in Hydrographie, Wasserwirtschaft und Umweltmonitoring. Die Ergebnisse verdeutlichen das Potenzial moderner multisensorischer Fernerkundung für eine skalierbare und praxisnahe Gewässeranalyse. //

Detektion von Hydrothermalfeldern in der Tiefsee

Ein Beitrag von TANJA DUFEK

Hydrothermalfelder | Exploration | marine Massivsulfidlagerstätten | Fächerecholotdaten | CNN U-Net
hydrothermal fields | exploration | seafloor massive sulphide deposits | MBES data | CNN U-Net

Autorin

Dr. Tanja Dufek arbeitet als Senior Geodata Advisor bei der Fugro Germany Marine GmbH in Bremen. Zuvor war sie wissenschaftliche Mitarbeiterin an der HafenCity Universität.

t.dufek@fugro.com

Hydrothermalfelder sind Gebiete, in denen hydrothermale Fluide austreten. Umgangssprachlich werden sie auch als »schwarze Raucher« bezeichnet (Abb. 1a); sie wurden erst vor weniger als 50 Jahren entdeckt (Corliss et al. 1979). Die austretenden Fluide können Temperaturen von über 400 °C erreichen und sind mit Edelmetallen angereichert. Beim Kontakt mit dem kalten Meerwasser fallen diese Metalle in Form von Sulfiden aus. Ein Teil der Partikel wird durch Strömungen abgetrieben, der Großteil lagert sich jedoch direkt an der Austrittsstelle, größtenteils unter dem Meeresboden, als Lagerstätte ab. An der Meeresbodenoberfläche sind sie als Sulfidhügel mit Durchmesser bis zu etwa 150 m erkennbar. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung gelten sie als potenzielle künftige Quelle metallischer Rohstoffe.

Seit 2015 hat die BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) einen Lizenzvertrag mit der Internationalen Meeresbehörde zur Erkundung polymetallischer Massivsulfidlagerstätten, die durch hydrothermale Aktivität entstanden sind. Das Lizenzgebiet befindet sich im Indischen Ozean entlang des Zentral- sowie Südostindischen Rückens. Ziel der Erkundung ist es, Massivsulfidvorkommen zu identifizieren, zu kartieren und zu charakterisieren. Mindestens 50 % der Lizenzarbeiten sind zudem Umweltuntersuchungen gewidmet, die dem Schutz und Erhalt mariner Ökosysteme dienen (BGR 2026). Als Lizenznehmer wird die BGR darüber hinaus bei der Entwicklung zukünftiger Richtlinien und Standards konsultiert.

Typische Methoden zur Identifizierung neuer hydrothermaler Vorkommen basieren auf der Detektion chemischer Anomalien in der Wassersäule, die von austretenden hydrothermalen Fluiden herrühren. Mit Hilfe von Fächerecholotdaten werden potenzielle hydrothermale Gebiete kartiert und Austrittsstellen der Fluide lokalisiert, da hydrothermale Plumes in den Wassersäulendaten des Fächerecholots sichtbar sind (Abb. 1b). Zu diesem Zweck setzt die BGR die eigens entwickelte Echlot-Trägerplattform HOMESIDE (Abb. 1c) ein, die in etwa 100 m Höhe über dem Meeresboden hinter dem Schiff geschleppt wird.

Für die Exploration sind jedoch im Allgemeinen nicht die aktiven, sondern bereits erloschene hydrothermale Systeme von größerem Interesse. Diese sind in der Regel älter und konnten somit über längere Zeiträume Metallsulfide akkumulieren. Da sie jedoch keine aktiven Plumes mehr aufweisen, greifen klassische Erkundungsmethoden zu ihrer Entdeckung nicht. Im Rahmen der hier beschriebenen Dissertation wurde ein Workflow entwickelt, der es ermöglicht, Sulfidhügel sowohl aktiver als auch erloschener Hydrothermalquellen zu detektieren.

Verbesserung der Datenqualität

Grundlage bilden hochaufgelöste Fächerecholotdaten des HOMESIDE (Bathymetrie 2 m, Rückstreuungintensitäten 1 m). Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von 782 km² und enthält sieben

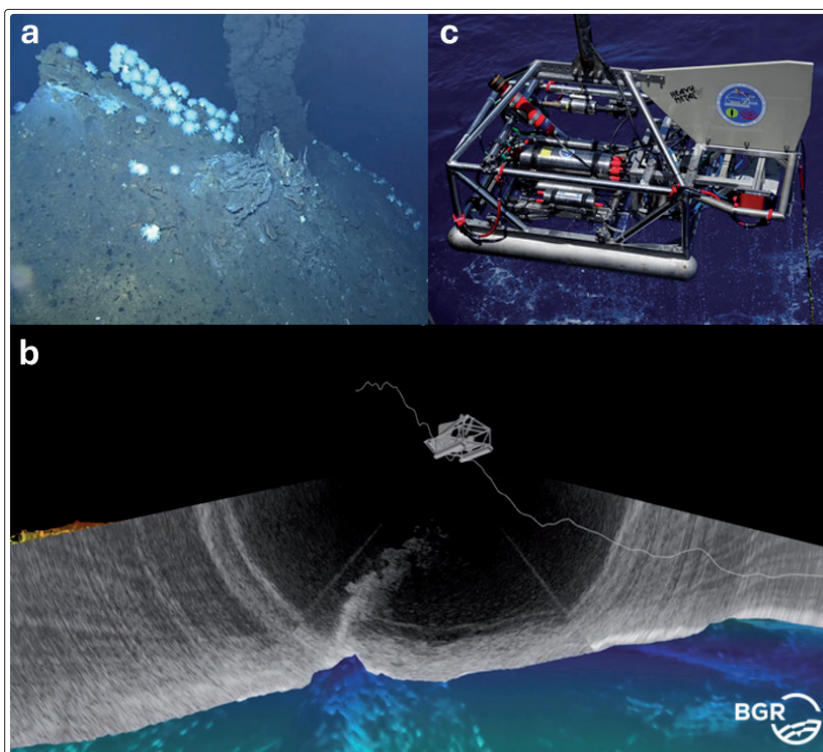


Abb. 1: (a) Bild eines aktiven schwarzen Rauchers auf einem Sulfidhügel. (b) 3D-Visualisierung von HOMESIDE mit dargestellten Wassersäulendaten des Fächerecholots, in denen der Plume eines schwarzen Rauchers zu erkennen ist. (c) Tiefseeschlitten HOMESIDE

Hydrothermalfelder mit insgesamt 88 aktiven und erloschenen Vorkommen.

Ein zentraler Bestandteil des Workflows ist die Verbesserung der Datenqualität der zugrunde liegenden Fächerecholotdaten. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Reduzierung von Artefakten, um die spätere automatisierte Datenauswertung zu erleichtern. Typische Artefakte resultieren unter anderem aus der im Verhältnis zur Datenauflösung geringen Navigationsgenauigkeit. In Wassertiefen von etwa 3000 m wurden mit der auf INS, USBL und weiteren Sensoren basierenden Navigation Genauigkeiten von einigen Metern erreicht. In Bereichen mit schlechterer Positionierungslösung, die von Sensorausfällen oder unzureichender USBL-Kalibrierung herrühren, wurde die Navigation nachträglich mit dem Open-Source-Tool MB-System verbessert. Dabei werden Positionen benachbarter Datensätze anhand bathymetrischer Strukturen im Überlappungsbereich relativ zueinander angepasst (Dufek et al. 2024).

Darüber hinaus wurde auch die Bearbeitung der Rückstreuintensitäten optimiert. Standardmäßige Korrekturen und Modelle sind meist für ebene Flachwasserdaten ausgelegt. Das Untersuchungsgebiet befindet sich jedoch im Bereich eines mitelozeanischen Rückens nahe einer Spreizungszone, das durch geringe Sedimentbedeckung und somit einem akustisch harten und stark reliefierten Meeresboden gekennzeichnet ist. Aufgrund dieser akustisch ungünstigen Bedingungen konnten einige Artefakte, insbesondere solche durch direkte Reflexion oder Schatteneffekte, nicht vollständig eliminiert werden.

Hügeldetektion unter Verwendung des CNN U-Net

Im nächsten Schritt erfolgt auf Grundlage der Bathymetrie sowie ihrer Ableitungen eine Segmentierung, die der »Hügeldetektion« dient. Hierfür wird das Convolutional Neural Network (CNN) U-Net eingesetzt (Ronneberger et al. 2015). Die detektierten Strukturen umfassen zunächst Hügel unterschiedlichster Entstehung, darunter sowohl vulkanische Pillow-Hügel als auch die für die Exploration relevanten Sulfidhügel.

In einem anschließenden Schritt wird die Anzahl der detektierten Strukturen reduziert. Hierzu werden die Ergebnisse des CNN mit Informationen aus der Bathymetrie und den Rückstreuintensitäten kombiniert. Ziel ist es, vulkanische Strukturen möglichst zuverlässig herauszufiltern und jene Bereiche hervorzuheben, die eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Sulfidvorkommen aufweisen. Diese können anschließend als potenzielle Zielgebiete für weiterführende Untersuchungen dienen.

Ähnlich Ansätze zur Detektion von Sulfidvorkommen unter Einsatz von CBBs sind bereits in der Literatur beschrieben, beispielsweise in Juliani

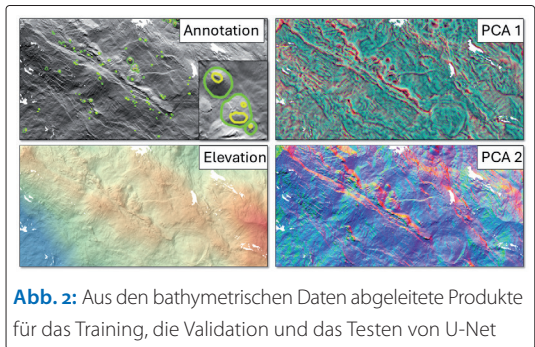


Abb. 2: Aus den bathymetrischen Daten abgeleitete Produkte für das Training, die Validation und das Testen von U-Net

und Juliani (2021) sowie in Heroon et al. (2023). Der hier vorgestellte Ansatz unterscheidet sich jedoch in wesentlichen Punkten. Zum einen basiert er auf einem deutlich umfangreicheren Trainingsdatensatz: Mit einer Fläche von 782 km² und 239 bekannten Sulfidhügeln ist dieser wesentlich größer als in vergleichbaren Studien, die Datensätze von weniger als 50 km² und maximal 15 Sulfidhügeln verwenden. Es ist daher davon auszugehen, dass die auf der größeren Datengrundlage trainierten Modelle eine höhere Robustheit aufweisen. Zum anderen werden im Anschluss an die CNN-basierte Segmentierung zunächst unter anderem die Rückstreuintensitäten zur weiteren Differenzierung der detektierten Hügel herangezogen.

Als Eingabedaten für das CNN wurden aus den bathymetrischen Daten verschiedene Ableitungen hergeleitet, darunter beispielsweise Hangneigung, Rauigkeit und Schummerung. Diese Ableitungen wurden in zwei Gruppen unterteilt, für die jeweils eine Hauptkomponentenanalyse (principle component analysis, PCA) durchgeführt wurde, um drei unkorrelierte Hauptkomponenten zu erhalten. Aus diesen Komponenten wurde jeweils ein RGB-Bild generiert. Für das Training des Modells wurden die Hügel zusätzlich manuell annotiert. Dabei wurden zwei Klassen unterschieden: Basis und Spitze. Die verschiedenen Datenprodukte sind in Abb. 2 dargestellt. Die Hügeldetektion wurde nicht nur mit dem eigenen trainierten Modell durchgeführt, sondern auch mit einem bereits vortrainierten Modell, um die Übertragbarkeit zu untersuchen (Abb. 3).

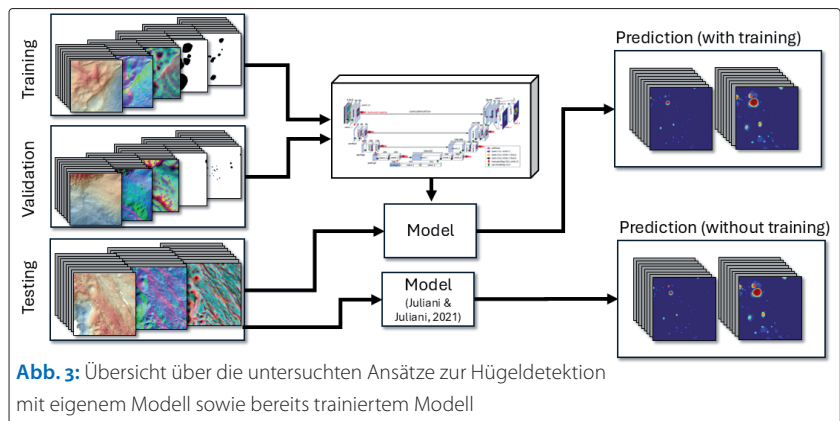


Abb. 3: Übersicht über die untersuchten Ansätze zur Hügeldetektion mit eigenem Modell sowie bereits trainiertem Modell

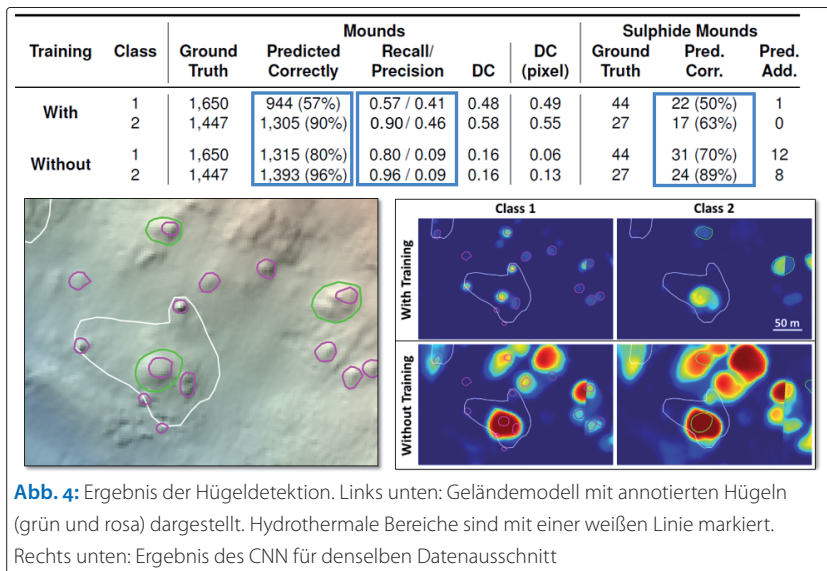


Abb. 4: Ergebnis der Hügeldetektion. Links unten: Geländemodell mit annotierten Hügeln (grün und rosa) dargestellt. Hydrothermale Bereiche sind mit einer weißen Linie markiert. Rechts unten: Ergebnis des CNN für denselben Datenausschnitt

Abb. 4 zeigt exemplarisch die Ergebnisse für eine der vier untersuchten Regionen, in der 1650 Hügelspitzen und 1447 Hügelbasen annotiert wurden. In der linken Darstellung ist das Geländemodell mit den annotierten Hügeln (grün und rosa) zu sehen. Hydrothermale Bereiche sind durch weiße Linien markiert. Die rechte Abbildung zeigt das Ergebnis des CNN für denselben Datenausschnitt, wobei sowohl das vortrainierte Modell (»without training«) als auch das eigens trainierte Modell (»with training«) verwendet wurden. Bereiche mit hoher Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Hügels sind rot hervorgehoben.

Aus der Tabelle in Abb. 4 geht hervor, dass die Erkennungsraten hoch sind: Für Hügelspitzen liegen sie bei 60 % bzw. 80 % und für Hügelbasen bei 90 % bzw. 96 % (»predicted correctly«). Zudem konnten zwischen 50 % und 89 % der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Sulfidhügel identifiziert werden. Auf den ersten Blick schienen die Ergebnisse des vortrainierten Modells besser zu sein. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass dieses Modell Hügel tendenziell als größere Strukturen detektiert und somit auch Bereiche einbe-

Data set	No Target Reduction (Class 1)	Mean Slope & Texture	+ Clustering Class 1 (1 or 2)	+ Clustering Class 2 (3)
A	Mounds:	2,305	927 (40%)	361 (16%)
	Sulph. Md.:	22	21 (95%)	16 (72%)
B	Mounds:	1,459	596 (41%)	280 (19%)
	Sulph. Md.:	6	4 (67%)	1 (17%)
C	Mounds:	845	494 (58%)	212 (25%)
	Sulph. Md.:	9	8 (89%)	4 (44%)
D	Mounds:	1,832	753 (41%)	451 (25%)
	Sulph. Md.:	45	25 (56%)	19 (42%)
Sum	Mounds:	6,441	2,770 (43%)	1,204 (20%)
	Sulph. Md.:	82	58 (71%)	40 (49%)

Abb. 5: Ergebnisse der Reduzierung der Ergebnisse der Hügeldetektion

zieht, die über die ursprünglichen Annotationen hinausgehen.

Aus diesem Grund ist es bei der Bewertung der Modelle entscheidend, nicht ausschließlich den Recall zu betrachten, sondern auch die Precision zu berücksichtigen. Letztere liefert Aussagen über den Anteil der »false positives«, also darüber, wie häufig das Modell Bereiche fälschlicherweise als Hügel identifiziert. Idealerweise sollte dieser Wert möglichst hoch sein. Im vorliegenden Fall ist die Precision des vortrainierten Modells jedoch deutlich geringer als die des eigens trainierten Modells.

Identifizierung von Sulfidhügeln

Im folgenden Schritt erfolgt die Unterscheidung zwischen Sulfidhügeln und Hügeln vulkanischen Ursprungs. Junge Sulfidhügel weisen in der Regel steilere und unregelmäßigere Flanken auf, zudem ist ihre Spitze häufig kegelförmig ausgeprägt. Vulkanische Hügel hingegen besitzen eine eher abgeflachte und stärker gewölbte Spitze.

In der Literatur werden zur Differenzierung dieser Strukturen sowohl morphologische Merkmale als auch zusätzliche Datensätze, beispielsweise aus magnetischen Messungen, herangezogen. Im vorliegenden Ansatz wurden neben den Ergebnissen des CNN insbesondere die Rückstreuintensitäten sowie daraus abgeleitete Parameter genutzt. Dabei kamen vor allem Texturmerkmale zum Einsatz, die mit Hilfe der Grey-Level Co-occurrence Matrix (GLCM) bestimmt wurden, wie beispielsweise eine hohe Entropie (das heißt hohe Zufälligkeit) und eine geringe Homogenität. Ergänzend wurden die Hangneigung berücksichtigt und Clustering-Verfahren angewendet.

Die Tabelle in Abb. 5 fasst die Ergebnisse für alle vier untersuchten Regionen zusammen. In den Zeilen sind die Gesamtzahl der detektierten Hügel sowie der Sulfidhügel aufgeführt, während die Spalten die jeweils angewandten Unterscheidungsmethoden darstellen. Es zeigt sich, dass durch die angewendeten Verfahren die Anzahl vulkanischer Hügel stärker reduziert werden kann als die der Sulfidhügel. Dennoch ist eine vollständige Trennung der Sulfidhügel von den übrigen Strukturen auf Basis der verfügbaren Daten nicht möglich.

Insgesamt erlaubt der Ansatz jedoch eine räumliche Eingrenzung von Bereichen mit erhöhter Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Sulfidhügeln. Dadurch können potenzielle Explorationsziele gezielter identifiziert und weiterführende Untersuchungen effizienter geplant werden.

Schlussfolgerung

Die Arbeit zeigt, dass ein automatisierter Prozess zur Erkennung von Sulfidhügeln auf Basis hochaufgelöster Fächerecholotdaten grundsätzlich realisierbar ist. Die deutlichen Unterschiede zwischen

den Ergebnissen des eigens trainierten und des vortrainierten Modells verdeutlichen jedoch, wie herausfordernd es ist, allgemeingültige Modelle für diesen Anwendungsbereich zu entwickeln. Die Abweichungen lassen sich zum einen auf unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Annotation zurückführen, zum anderen auf die erwartbaren Unterschiede in den morphologischen Eigenschaften der untersuchten Strukturen. Letztere ergeben sich insbesondere daraus, dass die Trainingsdaten des vortrainierten Modells aus dem Arktischen Ozean stammen und somit voraussichtlich nur eingeschränkt auf das hier untersuchte Gebiet übertragbar sind.

Die ausschließliche Nutzung der vorhandenen Rückstreuintensitäten zur Unterscheidung der Hügeltypen reicht derzeit nicht aus, um die Anzahl potenzieller Explorationsziele im gewünschten Maß zu reduzieren. Eine Verbesserung der Ergebnisse könnte durch eine Optimierung der Datenaufnahme und damit der Datenqualität sowie durch die Integration zusätzlicher Sensordaten oder geologischer Interpretationen erreicht werden.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass der vorgestellte Ansatz ein vielversprechendes Werkzeug zur räumlichen Eingrenzung potenziell interessanter Gebiete für weiterführende Explorationsarbeiten darstellt. //

Dieser Kurzbeitrag fasst einen Teil der Promotion zusammen, die unter der DOI 10.34712/142.80 auf repOS veröffentlicht wurde: <https://repos.hcu-hamburg.de>

Literatur |

BGR (2026): BGR Homepage. www.bgr.bund.de
 Corliss, John B.; Jack Dymond; Louis I. Gordon et al. (1979): Submarine thermal springs on the Galapagos Rift. *Science*, DOI: 10.1126/science.203.4385.1073
 Dufek, Tanja; Rald Freitag; Thomas Kuhn; Harald Sternberg (2024): Exploration of hydrothermal venting sites using deep-towed multibeam echo sounder data. *International Hydrographic Review*, DOI: 10.58440/ihr-30-1-c01
 Haroon, Amir; Hendrik Paasche; Sebastian Graber et al. (2023): Automated seafloor massive sulfide detection through integrated image segmentation and geophysical

data analysis: Revisiting the TAG hydrothermal field. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, DOI: 10.1029/2023GC011250
 Juliani, Cyrill; Eric Juliani (2021): Deep learning of terrain morphology and pattern discovery via network-based representational similarity analysis for deep-sea mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, DOI: 10.1016/j.oregeorev.2020.103936
 Ronneberger, Olaf; Philipp Fischer; Thomas Brox (2015): U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. DOI: 10.48550/arXiv.1505.04597

NEU

RIEGL VUX-820-G

Airborne LiDAR System für die topo-bathymetrische Vermessung



- ✓ kompakter, leistungsstarker LiDAR Scanner (> 2 Secchi Tiefen Wassereindringung)
- ✓ bestens geeignet für den Einsatz auf Drohnen (5.7 kg leicht)
- ✓ typische Flughöhe 75 m AWL / AGL (über Wasser / über Grund)
- ✓ RIEGL RiLOC-F^{inside} IMU/GNSS System und 5 MPx Kamera voll integriert
- ✓ RIEGL Software Lizenzen für die Erstellung georeferenzierter und brechungskorrigierter Punktwolken inkludiert
- ✓ **Vollintegriertes Gesamtsystem für schnelle, reibungslose Installation und effizienten, zuverlässigen Betrieb**



Weitere topo-bathymetrische Laserscanner und Systeme finden Sie auf www.riegl.com

Besuchen Sie uns

Hydrographentag
 23. - 25. Juni 2026
 Lübeck-Travemünde, Deutschland
RIEGL Messestand Nr. 5



Remote sensing and modelling of marine habitats

Challenges and results of the Heligoland survey campaigns

An article by JENS SCHNEIDER VON DEIMLING

habitat mapping | Heligoland | White Ribbon | terrain ruggedness index – TRI
Habitatkartierung | Helgoland | Weißes Band | Geländerauigkeitsindex – TRI

Author

Dr. Jens Schneider von Deimling works at Christian Albrechts University (CAU) in Kiel.

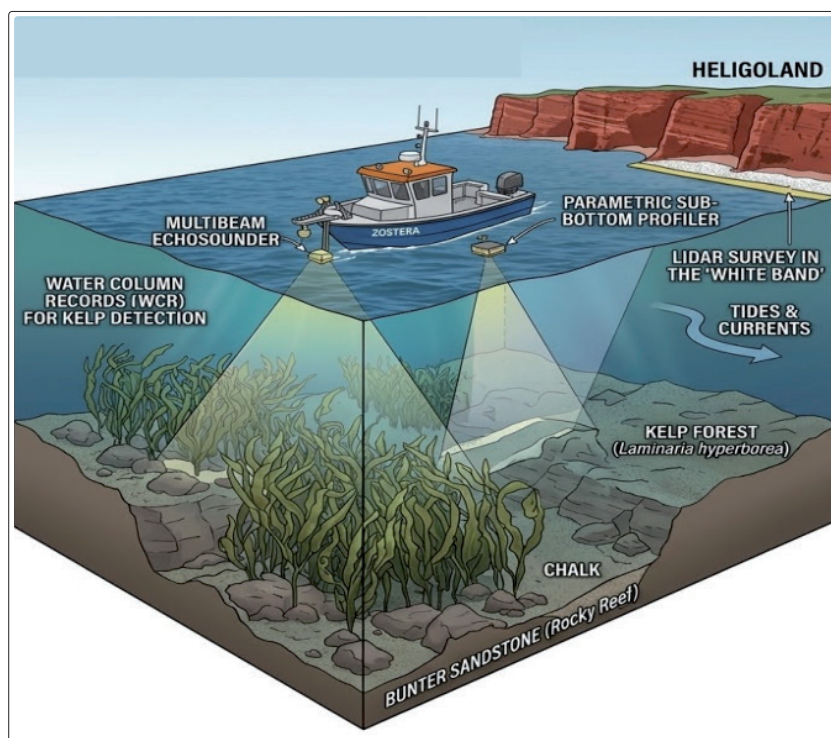
jens.schneider@ifg.uni-kiel.de

The survey of the Heligoland shallow-water zone represents a significant frontier in modern hydrography and marine geo-ecology. From a geological perspective, Heligoland is unique within the German Bight, as Mesozoic rock layers – most notably the red Bunter Sandstone – were pushed to the surface by salt tectonic processes. This anomaly creates an underwater landscape of rocky reefs that fosters the most biodiverse region in German waters, providing essential habitats for kelp forests and lobsters. However, mapping this area is exceptionally demanding due to strong tidal currents, shoals and the notorious »White Ribbon« – the ultra-shallow transition zone between 1 and 6 metres depth. This zone is largely inaccessible to traditional research vessels and remains hidden from optical remote sensing, such as air-

borne LiDAR, because of high turbidity and dense vegetation cover. To bridge this gap, the Marine Geophysics and Hydroacoustic working group at CAU Kiel utilises the research boat *FB Zosteria*, a specialised 7-metre platform equipped for high-resolution acoustic records.

A core focus of these campaigns is the rigorous inspection of water column records to investigate submerged aquatic vegetation (SAV). Heligoland is home to over 250 algae species, dominated by dense forests of the kelp *Laminaria hyperborea*. These »underwater forests« pose a significant challenge for hydrographers because the bottom-finding algorithms of multibeam echo sounders (MBES) often trigger false detections on the canopy of the kelp rather than the true seafloor. By inspecting the raw data, researchers can identify these »miss-detections« and manually clean the records. To refine this process, the team employs a parametric sub-bottom profiler (Innomar smart) synchronised with the MBES. This system emits a high-frequency primary signal (100 kHz) and a low-frequency difference frequency (10 kHz) that effectively penetrates the dense kelp canopy. In the resulting echograms, the hard seafloor – such as the Bunter Sandstone – appears as a sharp, continuous reflector, while the vegetation appears as a diffuse layer above it. By analysing the time-of-flight difference between these two signal components, the canopy height of the vegetation can be precisely determined across the entire survey area.

The high-resolution bathymetric data, with a grid resolution of 0.5 metres, allows for a new dimension of geological and ecological analysis. Fine-scale tectonic faults, bedding planes and erosion patterns in the shell limestone and other rock formations can be quantitatively measured, which is fundamental for 3D geological reconstruction. Furthermore, these data products serve as critical predictors for habitat modelling. Derived parameters such as slope, aspect and the terrain ruggedness-



ness index (TRI) – which quantifies topographic heterogeneity – are used in machine learning algorithms to predict where specific benthic species will settle. For instance, the TRI is an excellent indicator of exposed rock and micro-niches essential for juvenile lobsters.

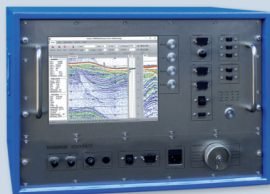
Complementing the bathymetry is the analysis of snippet-backscatter data, which provides side-scan-like mosaics at a resolution of 0.1 metres. After radiometric and geometric corrections – including accounting for the true angle of incidence on the detailed digital terrain model – the compensated backscatter strength allows for the clear acoustic differentiation between various geological formations like chalk, sandstone, shell limestone and clastic sediments. Interestingly, massive bedrock often shows lower backscatter intensity compared to surrounding clastic sediments because the latter has a higher micro-roughness relative to the 400-kHz acoustic wavelength.

The ultimate goal of this work is a seamless model of the entire Heligoland rocky reef. This is achieved by fusing CAU’s ultra-shallow data with MBES measurements from the Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) and LiDAR data from the State Agency for Coastal Protection (LKN.SH). The resulting map not only ensures nautical safety in previously unmapped areas but also provides a ›ground-truthing‹ foundation for assessing the total biomass and CO₂ storage potential of the kelp forests within projects like LABLUC. Ongoing efforts include a detailed full-waveform analysis of the acoustic data to derive species-specific acoustic signatures, potentially allowing for the purely acoustic differentiation of various macroalgae types. This multidisciplinary approach proves that high-resolution hydroacoustic technology on small, flexible platforms is the key to closing the mapping gap in complex coastal environments. //

www.innomar.com

Innomar Parametric Sub-Bottom Profilers

- ▶ Unmatched high-resolution sub-seabed data with excellent penetration
- ▶ Usable from extremely shallow waters to full ocean depth
- ▶ User-friendly data acquisition and post-processing software
- ▶ Used worldwide for various applications



standard



compact-usv



essential



medium-usv



medium-100



Explore more



www.innomar.com
sales@innomar.com

Meet us at Hydrographentag
 Lübeck-Travemünde, June 23 – 25



From above and below

Habitat mapping of an alpine lake in Austria

An article by ANNIKA L. WALTER, LUCAS DAMMERT, ELLEN HEFFNER, JAN RHOMBERG-KAUERT, HARALD STERNBERG and GOTTFRIED MANDLBURGER

habitat mapping | underwater LiDAR | bathymetric LiDAR | two-media photogrammetry
Habitatkartierung | Unterwasser-LiDAR | bathymetrisches LiDAR | Zweimedienphotogrammetrie

Authors

Annika L. Walter, Ellen Heffner and Prof. Dr. Harald Sternberg work at HafenCity University in Hamburg.

Lucas Dammert, Jan Rhomberg-Kauert and Prof. Dr. Gottfried Mandlbürger work at TU Wien.

annika.walter@hcu-hamburg.de

Introduction

High-resolution habitat mapping of freshwater ecosystems is essential for understanding biodiversity patterns, ecosystem functions and for guiding conservation efforts. In August 2025, the Lake Alm (Almsee) in Austria was surveyed in a joint survey campaign by TU Wien, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH and HafenCity University Hamburg with shipborne and airborne sensors. The lake is characterised by an extremely clear water condition, fed by multiple freshwater spring funnels, which are clearly depictable as several metre deep depressions in the lake bottom, where the clear water furthermore allows the prosperous growth of macrophytes. Hence, this lake provides optimal conditions for evaluating the suitability of different optical remote sensing technologies for detailed habitat mapping, assessing their ability to capture the structural complexity of the lakebed and the prevailing aquatic vegetation. Lake Alm was surveyed using multiple remote sensing technologies, including an underwater laser scanner, a single-beam echo sounder, a side-scan sonar, a drone-based topo-bathymetric laser scanner as well as a drone equipped with a camera. The project scope and preliminary results will be presented.

Environment

Lake Alm is located within the municipality of Grünau im Almtal at approximately 47°45' north latitude and 13°57-58' east longitude. The lake was formed at the end of the Würm Ice Age 13,000 years ago by a late-glacial rockslide where about 0.5 km³ of rock material detached. As a result, the Alm River and the Weißeneggbach were dammed and Lake Alm was formed. Nowadays, Lake Alm has a size of 0.85 km², a volume of 2.1 Mio m³ and an average depth of 2.5 m (Land Oberösterreich 2021), whereas the deepest spot is a spring funnel with a depth of 9 m (Bergwelten 2022). With an exception of this spring funnel, the depth of the lake equals the maximum viewing depth and thus, the lake offers visibility to the ground throughout.

Due to the overall shallow water depth and the clarity of the water, the lake naturally offers sufficient light for photosynthesis (Land Oberösterreich 2010) resulting in large areas of the lake bottom being densely covered by macrophytes. *Charophyceae* and *Elodea* cover large areas of the lake bottom, building a dense low-grown vegetation layer. Additionally, patches of high-grown *Potamogeton* extend up to 2 m from the bottom (Blatterer 2020). Together with autotrophic plankton, the macrophytes provide the necessary foundation for life in the water and function as a source of food for waterfowl (Drack 1992).

Sensor technology and data acquisition

The survey took place in August 2025, with different shipborne (underwater laser scanner, single-beam echo sounder, side-scan sonar, handheld underwater camera) and airborne (bathymetric LiDAR and photo camera) sensor technologies. Extensive geometric reference data were also acquired in a small part of the survey area (Dammert et al. 2026). To increase the position accuracy of all GNSS-derived trajectories, a base station was set-up on the northern shoreline of Lake Alm for continuous recording over the entire survey day. For the scope of comparing optical sensing methods, the used sensors are described in detail in the following.

ULi

The underwater laser scanner ULi uses a green laser with a wavelength of 532 nm and two rotating wedge prisms, which allows for a 44°-field of view, to capture the scene with a beam divergence of 2 mrad and a pulse repetition rate of up to 100 kHz (Fraunhofer IPM 2026). For a dynamic application, the trajectory of the underwater laser scanner is tracked by an attached and calibrated inertial navigation system, which was connected with two GNSS antennas on a 96-cm baseline. The overall structure was pole-mounted on the starboard side of a 3.5 m long and 1.4 m wide aluminium vessel. There, the scanning unit of ULi was mounted pointing slightly off-nadir underneath the ship to

ensure a side-view capturing of the aquatic vegetation. For data acquisition a palmer scan pattern was chosen and, depending on the topography of the lake, the scanning distances varied between 50 cm and 9 m.

Bathymetric LiDAR

The topo-bathymetric LiDAR and photogrammetric data acquisition were conducted using uncrewed aerial vehicles (UAVs). The UAV surveys were launched from the shore. For the topo-bathymetric data acquisition, a RIEGL VQ-840-GE was used to survey the entire lake at a flying altitude of approximately 120 m above ground, with a beam divergence of 1 mrad and 100 kHz pulse repetition rate. In addition, a RIEGL VUX-820 scanner was used to map the central part of the lake at a flying height of 100 m above ground, with a beam divergence of 2 mrad at 100 kHz pulse repetition rate.

Photogrammetry

The photogrammetric survey used a DJI P1 camera at 100 m altitude. About 2,500 images were acquired and ground control points were installed on the shore. Furthermore, a GoPro Hero 12 Black was operated from the vessel and used to acquire underwater footage of the aquatic vegetation. To allow for a localisation of the captured underwater images, the camera was operated on a handheld stick with a GNSS antenna on top.

Data processing

To compute a navigation solution for the laser sensors, i.e., ULi and bathymetric LiDAR, the trajectories were processed with correction data of the GNSS base station using the softwares Qinteria and PosPac, respectively. After processing of the trajectories, they were merged with their respective data.

For ULi, the acquired LiDAR waveform data was processed using the software Pulsalyzer, developed by the Fraunhofer IPM, to compute a coherent georeferenced point cloud. The derived point clouds were further processed and manually filtered in CloudCompare.

For the bathymetric LiDAR, the data were processed using RiPROCESS and the scientific point cloud processing software OPALS (Pfeifer et al. 2014) for integrated and refraction-aware georeferencing. The latter describes the integrated georeferencing, refraction correction and strip adjustment of the data in an iterative procedure (Mandlbürger et al. 2026).

The photogrammetric data was processed using Agisoft Metashape and the navigation data from the DJI UAV. While the refraction-induced effects can be corrected in the photogrammetric point cloud, the occurring distortion also impacts the bundle-block adjustment and thus orienta-

tion estimation of the images. This leads to a deformed photogrammetric block as effects caused by the refraction are compensated by other parameters estimated by the bundle-block adjustment. Consequently, the photogrammetric block is distorted due to the impact of refraction on the estimation of the exterior orientation parameters.

Results

As a preliminary result of the campaign, three exemplary datasets of a selected area of interest are presented and visually compared: two freshwater spring funnels located close to each other forming a kidney-shaped depression and the prevailing vegetation. A combined visualisation of the two kidney-shaped depressions captured by ULi, the VUX-820 and the photogrammetric dataset, can be seen in Fig. 1.

Hence, Fig. 1 highlights the differences between the optical sensing methods with regard to coverage, achieved data quality and resolution.

While ULi, operated from a water surface vehicle, captured single measurement strips across the depressions, the VUX-820 bathymetric LiDAR and the camera photos cover a much larger extent within a shorter acquisition time. Despite differences in sensor platforms, all three optical sensors achieve full depth penetration. The deepest points of the two kidney-shaped depressions show depths of 4.2 m and 4.6 m. The average water depth surrounding the depressions is 2.2 m, leading to a varying width of the measurement strips acquired by ULi from around 2.4 m to 4.7 m.

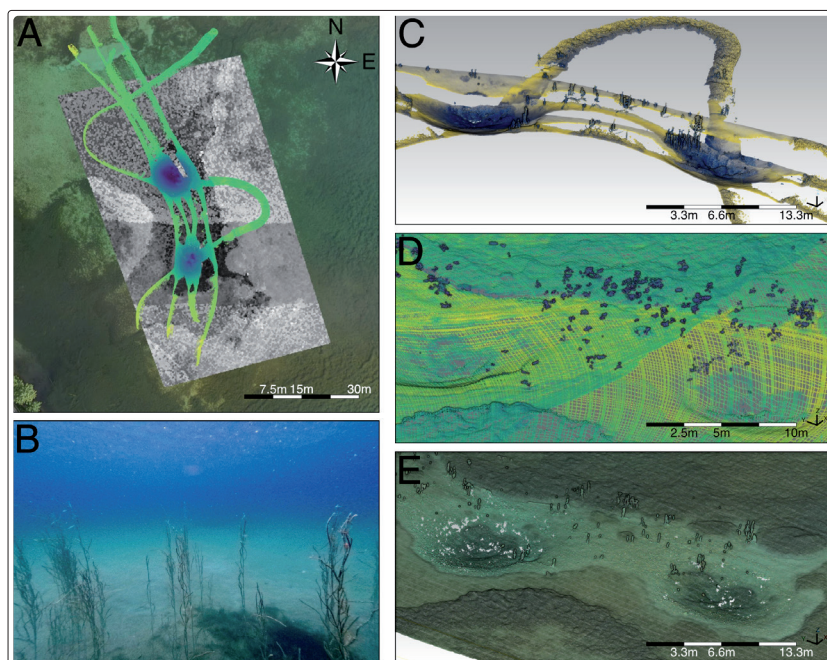
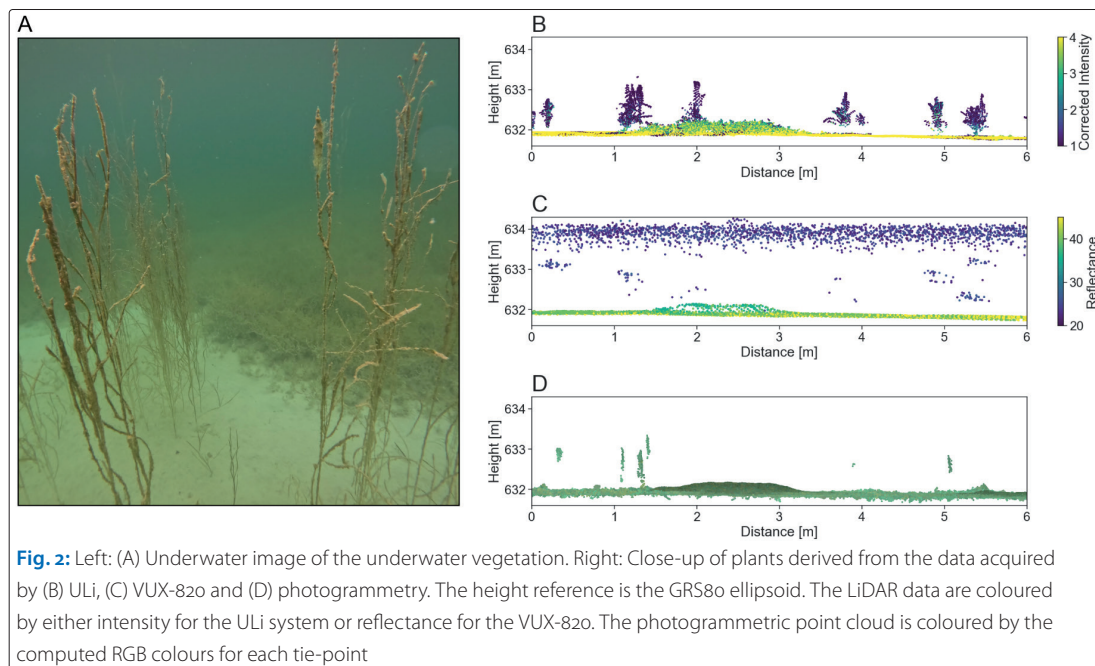


Fig. 1: Left: (A) Combined top-view visualisation of the three datasets acquired during the Lake Alm measurement together with (B) an underwater image of the presumable *Potamogeton* present in the area of interest. Right: Oblique visualisation of the spring funnel depressions derived from the data acquired by (C) ULi, (D) the VUX-820 and (E) photogrammetry



The oblique view visualisation of all three datasets further emphasises that all datasets are able to resolve point-wise elevations, in this case single plants in the water column. However, those features are less distinct in the point cloud derived from the bathymetric LiDAR VUX-820. Thus, the individual datasets highlight the resolution capability of ULi and the photogrammetric captured data.

A close-up view of underwater vegetation captured by ULi, the bathymetric LiDAR VUX-820 and the photogrammetric approach in Fig. 2 (right) further outlines the achievable level of detail of each sensor. While ULi reveals the most detailed representation of the plants, the other two methods display singular detections. In the depicted figure, two different kinds of macrophytes are visible: A fully ground covering, densely grown vegetation, where none of the optical sensors are able to penetrate through and another type of vegetation, where plants singularly protrude in the water column, some up to 2 m high, to the water surface. Images of the respective plants taken with the GoPro are shown in Fig. 2 (left). The high-grown vegetation refers most likely to *Potamogeton* and the low-grown vegetation to *Charophyceae*.

Conclusion and outlook

The preliminary results of the joint research campaign of different optical sensing technologies at Lake Alm already show the high potential of the integrated datasets. Due to the optimal visibility conditions in the lake, Lake Alm appears as a suitable environment for comparing optical sensing methods.

As outlined, all three optical sensors achieve full depth penetration of the lake. While the shipborne underwater laser scanner ULi offers, due to

its much smaller distance to the measured objects and therewith its smaller footprint size, the highest potential in terms of resolution and detailed datasets, it is still limited in coverage to small survey strips. Meanwhile, the airborne systems (bathymetric LiDAR and camera data) collected from UAV flight campaigns provide full coverage, but are not able to resolve plants at the same level of detail. Finally, at least two different species of macrophytes are detected in the (underwater and airborne) LiDAR and photogrammetric datasets, and therefore enhance the ability to capture diverse aquatic vegetation.

Until now, the lake Alm data is being assessed in three studies addressing the bathymetric LiDAR data. The studies investigate (i) integrated refraction-aware georeferencing of bathymetric LiDAR data (Mandlbürger et al. 2026), (ii) the accuracy analysis of bathymetric LiDAR (Dammert et al. 2026) and (iii) the classification of vegetation using bathymetric LiDAR data. Further analysis of the data will concentrate on enhancing for example the photogrammetric data by implementing a refraction-aware bundle-block adjustment to derive a correct underwater model for the airborne photogrammetric data. In addition, the collected ULi data will be further evaluated, taking environmental parameters such as temperature into account. Besides, the achievable data quality will be optimised by enhancing the refraction correction. The ULi and photo datasets will be used for a detailed comparative plant detection analysis. For a joint assessment of the varying sensor technologies, the penetration depth of the individual sensors, in areas where the lake floor is covered by dense mats of macrophytes, will be analysed and difference models will be computed. //

References

Bergwelten (2022): Der Almsee in Grünau im Portrait. www.bergwelten.com/a/der-almsee-im-portraet

Blatterer, Hubert (2020): Algen im Almsee. www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/Dokumente%20UWD%20Abt_WW/Web_Infotafel%20Almsee.pdf

Dammert, Lucas; Jan Rhomberg-Kauert; Philipp Amon; Hans-Berndt Neuner; Gottfried Mandlbürger (2026): Accuracy assessment of bathymetric LiDAR using planar reference geometries and total station measurements. ISPRS Archives, Toronto [submitted]

Drack, Gertrude (1992): Die Bedeutung des Almsees als Lebensraum einer Wasservogelgemeinschaft. www.zobodat.at/pdf/OEKO_1992_3_0017-0022.pdf

Fraunhofer IPM (2026): Underwater LiDAR System. Optical inspection of underwater infrastructure. www.ipm.fraunhofer.de/de/gf/objekterfassung-laserscanning/anw/unterwasser-laserscanning/unterwasser-infrastruktur.html

Land Oberösterreich (2010): Gewässerschutzbericht Seenaufsicht in Oberösterreich, Gewässerschutzbericht 43. www.land-oberoesterreich.gv.at/files/publikationen/uwd_ogw_seenaufsicht.pdf

Land Oberösterreich (2021): Seeprofil Almsee. www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/Dokumente%20UWD%20Abt_WW/Almsee-2021.pdf

Mandlbürger, Gottfried; Lucas Dammert; Jan Rhomberg-Kauert; Florian Pöppl; Martin Pfennigbauer (2026): Refraction-aware integrated Georeferencing of bathymetric Laser Scanning Data. ISPRS Archives, Toronto [submitted]

Pfeifer, Norbert; Gottfried Mandlbürger; Johannes Otepka; Wilfried Karel (2014): OPALS – A framework for Airborne Laser Scanning data analysis. Computers, Environment and Urban Systems, DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2013.11.002



Obtain comprehensive hydrographic data in deep water and coastal regions

Our hydrographic survey services, including our lidar bathymetry, acoustic surveys, satellite imagery analysis, and subsurface mapping, are used by both government and private sector clients for various applications along the coastline and offshore to support nautical charting, cable route surveys and coastal zone management.

Hydrography also has significant applications in supporting the blue economy and underpins our climate and nature activities, providing essential data for sustainable development and environmental conservation.



Scan the QR code to find out more about our hydrographic surveys

Dienstag, 23. Juni 2026

Eröffnung – Keynote und Vorträge zum Student Excellence Award

Moderation: Patrick Westfeld, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

- 14:00 Uhr **Begrüßung**
- 14:15 Uhr **Hydrographie als Schlüsseltechnologie**
Beiträge zu Sicherheit, Nachhaltigkeit und maritimer Infrastruktur
Harald Sternberg, HafenCity Universität Hamburg
- 14:45 Uhr **AI-driven detection of quartzite blocks in the River Rhine using CNN U-Net with backscatter and bathymetric data**
Eric Idun, HafenCity Universität Hamburg
- 15:15 Uhr **Verleihung des DHyG Student Excellence Award**
- 15:30 Uhr Pause

Session 1 – Zukunft gestalten: Beiträge der Hydrographie und Geodäsie zur Nachhaltigkeit

Moderation: Harald Sternberg, HafenCity Universität Hamburg

- 16:00 Uhr **Ein gesunder Ozean für alle**
Transdisziplinäre Ansätze zur Wiederherstellung unserer Meere
Toste Tanhua, Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung
- 16:30 Uhr **Open Data! – Immer richtig?**
Geoinformationen im Spannungsfeld zwischen der Open-Data-Philosophie und den aktuellen Sicherheitsanforderungen
Paul Becker, ehemals Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
- 17:00 Uhr **Aus der Forschung in die Praxis**
Trends in maritimen Methoden, Verfahren und Systemen
Uwe von Lukas und Sascha Krohmann, Fraunhofer IGD
- 18:30 Uhr Icebreaker in der Fachausstellung

Mittwoch, 24. Juni 2026

Session 2 – Hydrographische Beiträge zum Umweltmonitoring

Moderation: Jens Schneider von Deimling, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

- 9:00 Uhr **Cost-effective seafloor geodesy with GNSS-acoustic measurements from a wave glider**
James Foster, Universität Stuttgart
- 9:30 Uhr **Erweiterte Perspektive**
Einsatz von Fernerkundung in der maritimen Notfallvorsorge
Björn Baschek, Bundesanstalt für Gewässerkunde
- 10:00 Uhr **Sensoren in Bewegung: MoBo als mobile Plattform für marines Monitoring**
Entwicklung, Stand und Perspektive
Jens Fischer, Kevin Hett, Dennis Kühnel und Kai Herklotz, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
- 10:30 Uhr Pause

Session 3 – Dynamische Seekarten

Moderation: Florian Zimmermann, Bundesanstalt für Gewässerkunde

- 11:00 Uhr **Elektronische Seekarte im Wandel**
Jens Schröder-Fürstenberg, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
- 11:30 Uhr **Aktuelle Tiefen auf den Bundeswasserstraßen nutzbar machen**
Alisa Yakhontova, Bundesanstalt für Gewässerkunde
Wolfram Bahn, FGeoWSV
- 12:00 Uhr **Live auf Kurs**
Automatisiertes und interaktives Echtzeit-Monitoring des Schiffsverkehrs mit GIS
Natascha Jakobsen, Esri Deutschland GmbH
- 12:30 Uhr Mittagspause

Session 4 – Überwachung von Infrastrukturen

Moderation: Berit Jost, HydroMapper GmbH

- 13:30 Uhr **Satelliten statt Sensoren**
Hebt InSAR das Monitoring auf ein neues Level?
Florian Zimmermann, Bundesanstalt für Gewässerkunde
- 14:00 Uhr **Wie lange hält die Spundwand wirklich?**
Hydrographie als Werkzeug für Bauingenieure zur präzisen Restlebensdaueranalyse
Karsten Holste, WK Consult
- 14:30 Uhr **Effizienz durch USV-gestützte Plattform- und Kabelinspektionen als neuer Standard – von lokalen Einsätzen zu großflächigen Surveys**
Connor Schulze, Fugro Germany Marine GmbH
Andreas Bauer, TenneT TSO GmbH
- 15:00 Uhr **Digitalisierung der Sturmflutabarbeitung am Hafenstandort Bremerhaven**
Christian von Deetzen, bremenports GmbH & Co. KG

Donnerstag, 25. Juni 2026

Session 5 – Smart Port

Moderation: Thorsten Döscher, bremenports GmbH & Co. KG

- 9:00 Uhr **Aus der Tiefe in die Cloud**
Hafeninfrastruktur erfassen, analysieren und managen
Berit Jost, HydroMapper GmbH
- 9:30 Uhr **Vom Sensor zum Service**
Ein Framework für die hochgenaue Seekarte
Matthias Steidel, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
- 10:00 Uhr **Port Call Optimization für die Bremischen Häfen**
Matthias Hinz, bremenports GmbH & Co. KG
- 10:30 Uhr Pause

Session 6 – Erfassung und Analyse von Unterwasserhabitaten

Moderation: Tina Kunde, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

- 11:00 Uhr **Vom Ufer bis zur Gewässersohle**
Ein Praxisbericht zur Laserbathymetrie in Binnengewässern
David Monetti, Skyability GmbH
- 11:30 Uhr **Detektion von Hydrothermalfeldern in der Tiefsee**
Tanja Dufek, ehemals HafenCity Universität Hamburg
- 12:00 Uhr **Fernerkundung und Modellierung mariner Habitate**
Herausforderungen und Ergebnisse der Helgoland-Vermessungskampagnen
Jens Schneider von Deimling, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- 12:30 Uhr **Zu Luft und zu Wasser**
Habitatkartierung eines Bergsees in Österreich
Ellen Heffner und Annika Walter, HafenCity Universität Hamburg
Lucas Dammert, Technische Universität Wien

Impressum

Journal of Applied Hydrography
HN 134 – Juni 2026

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Offizielles Organ der Deutschen Hydrographischen
Gesellschaft – DHyG

Herausgeber

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

ISSN: 0949-5657 (Print), 1866-9204 (Online-Ausgabe)

© 2026

Chefredakteur

Lars Schiller
E-Mail: lars.schiller@dhyg.de

Redaktion

Dipl.-Ing. Peter Dugge; Ellen Heffner, M.Sc.;
Dr. Jens Schneider von Deimling; Dr.-Ing. Patrick Westfeld

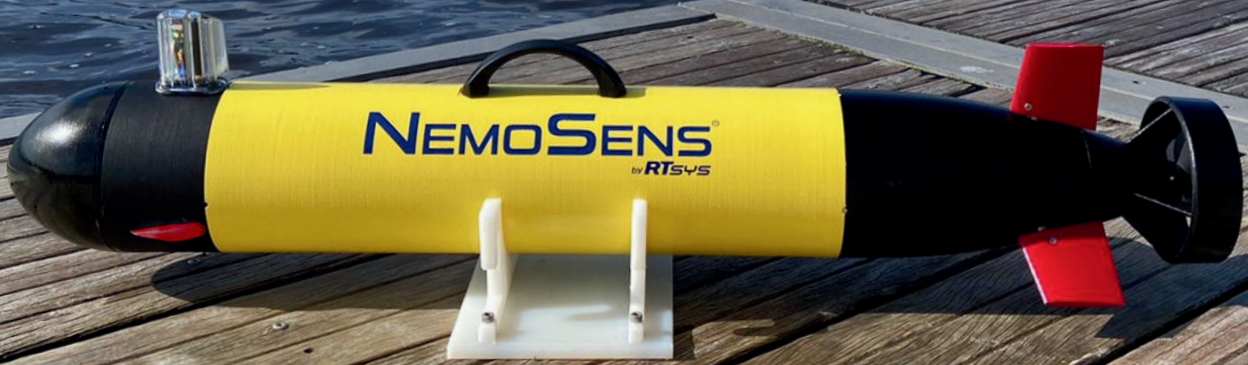
Hinweise für Autoren und Inserenten

www.dhyg.de > Journal of Applied Hydrography >
Mediadaten und Hinweise

Alle Ausgaben im Archiv

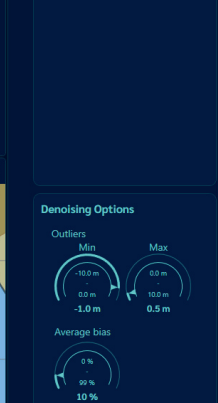
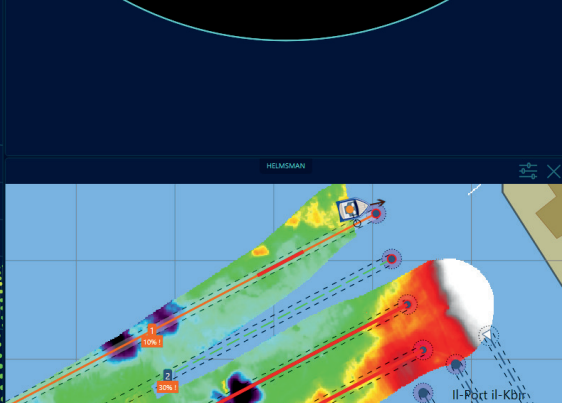
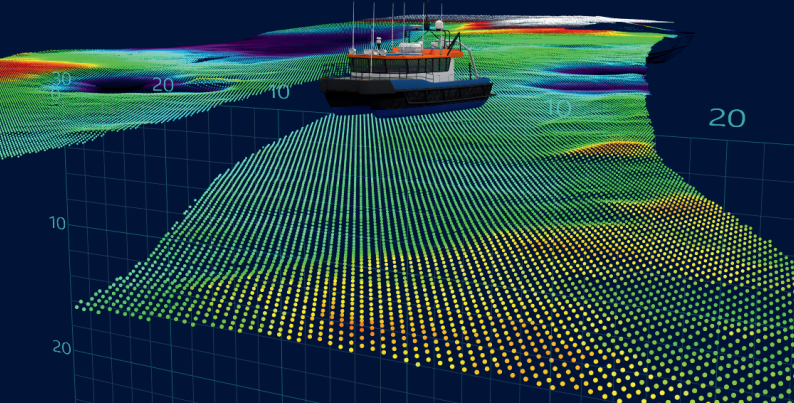
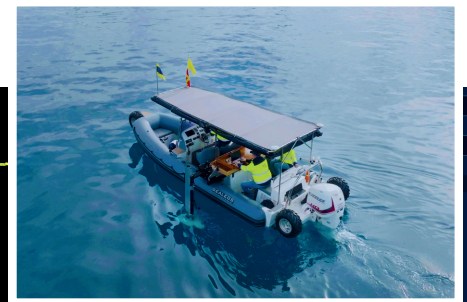
www.dhyg.de > Journal of Applied
Hydrography > Archiv





Powering Energy. Enabling Science Equipment. Expertise. Integration.

From sonars and ADCPs to crewed and autonomous survey platforms, our marine technology drives offshore energy and ocean science operations across Europe. Whether purchasing, renting, or integrating equipment, our expert team ensures fast delivery and responsive support, keeping your next project on time and on budget.



Now stocking Voxometer from R3 Vox and Origin ADCP from Sonardyne
Contact our expert team today: sales@subsea-europe.com

Consulting



Ocean engineering from space into depth

Realise your projects in cooperation with our hydrographic services

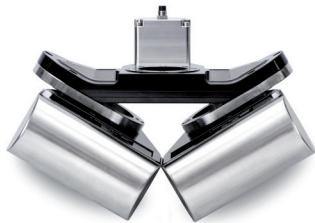
CTDs & SVPs



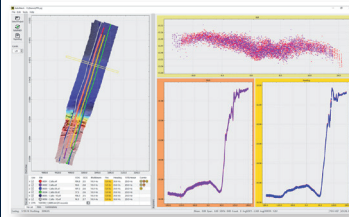
Our hydrography engineers are happy to develop systems tailored exactly to your needs and to provide professional advice and support for setting up your systems and training your staff.

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

Acoustic sensors



Software



Position and motion sensors



Integration

