

DVW Arbeitskreis 3 „Messmethoden und Systeme“
Deutsche Hydrographische Gesellschaft

Hydrographie – Messen mit allen Sinnen

Beiträge zum 204. DVW-Seminar und 35. Hydrographentag
vom 14. bis 16. Juni 2022 in Bremerhaven



Schriftenreihe des DVW
Band 102/2022

Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH

DVW Arbeitskreis 3 „Messmethoden und Systeme“
Deutsche Hydrographische Gesellschaft

Hydrographie – Messen mit allen Sinnen

Beiträge zum 204. DVW-Seminar und 35. Hydrographentag
vom 14. bis 16. Juni 2022 in Bremerhaven

Redaktion:
Tanja Dufek
Patrick Westfeld

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



Schriftenreihe des DVW
Band 102
Wißner-Verlag

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

www.dvw.de
INTERGEO®

Schriftenreihe des DVW
Band 102

Tipps zur Navigation in der PDF-Datei:

Die PDF enthält zur Navigation Lesezeichen und Hyperlinks.
Der Mausklick auf ein Lesezeichen führt zur ersten Seite des angewählten Beitrags.
Der Mausklick auf einen dunkelblau markierten Abbildungs- oder Tabellenverweis im Text führt zur verknüpften Abbildung oder Tabelle. Zurück zur ursprünglichen Stelle im Text gelangt man mit dem Klick auf den dunkelblau markierten Verweis in der Abbildungsunterschrift oder Tabellenüberschrift.
Internetadressen und E-Mail-Adressen sind ebenfalls mit Hyperlinks hinterlegt.
Kostenfreier PDF-Download unter www.geodesie.info.

Zitierhinweis:

[Nachname, Vorname]: [Titel des Beitrags]. In: DVW e.V. (Hrsg.):
Hydrographie – Messen mit allen Sinnen. DVW-Schriftenreihe, Band 102,
Augsburg, 2022, S. x–y.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-95786-317-1
ISSN 0940-4260

© Wißner-Verlag, Augsburg 2022
www.geodesie.info

Herstellung: Wißner-Verlag, Augsburg
Bildnachweis Cover: Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie (BSH)

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in
anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf deshalb der vorherigen
schriftlichen Einwilligung des Verlags.

Inhalt

Vorwort	5
Tanja Dufek Harald Sternberg Annette Scheider Trockenschwimmer oder Eintaucher – Die Rolle der Geodäsie in der Hydrographie	7
Session 1: Hydrographie – zu Wasser, aus der Luft und aus dem All	
Gottfried Mandlburger Von nah und fern – Optische Methoden in der Bathymetrie	15
Björn Baschek Tobias Brehm Möglichkeiten der Fernerkundung für Hydrographie und Gewässerkunde	23
Lars Schiller Hydrographie von A bis Z	31
Session 2: Datenerfassung	
Niklas-Maximilian Schild Wo geht's lang im Dunkeln? Positionierung und Navigation unter Wasser am Beispiel eines AUV	39
Thomas Thies Olaf Lautenschläger USVs – Innovative Technologie im täglichen Einsatz für die Hydrographie	45
Hans-Gerd Maas Quantitative Bildsequenzanalyse im Umweltmonitoring	51
Wilhelm Weinrebe Bathymetrie mit temporär installierten Fächerloten – Erfahrungen mit kleinen Booten und Museumsschiffen	55
Session 3: Datenmodellierung	
Jean-Guy Nistad Patrick Westfeld Fusion of Measured and Synthetic Sound Speed Profiles: A Viable Technique to Improve the Accuracy of Multibeam Bathymetry?	61
Bahareh Mohammadivojdan Frederic Hake Hamza Alkhatib Ingo Neumann Robert Weiss Thomas Artz Preprocessing and Analysis Strategies for Hydrographic Measurements at Very Shallow Water Depths	65
Julian Sievers Frank Sellerhoff Aktuelle Methoden und Verfahren der Verarbeitung, Modellierung und Bereitstellung hydrographischer Daten	69

Inhalt

Session 4: Datenverarbeitung und Datenfusion

Janko Petererit	
Teilautomatisierte Flachwasserplattform zur simultanen Über- und Unterwasserkartierung	75
Melanie Elias	
Open Water Levels – Vorstellung einer Smartphone-App zur mobilen photogrammetrischen Erfassung von Wasserständen	81
Kristine M. Larson Makan Karegar Simon Williams	
Using GNSS Signals to Measure Water Levels in ITRF	87
Christian Hesse	
Digitalisierung von Wasserbauwerken – Anwendungen, Chancen und Herausforderungen in der Praxis	89

Session 5: Qualitätssicherung von Beobachtungsdaten

Andreas Miggelt Bianca Berlin	
Gewässervermessung in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) – Qualitätssicherung durch einheitliche Standards	97
Thomas Luhmann Robin Rofalski Oliver Kahmen	
Möglichkeiten und Grenzen der hochgenauen photogrammetrischen Objekterfassung unter Wasser	109
David Mader Patrick Westfeld Katja Richter Hans-Gerd Maas	
Laserbathymetrie in küstennahen Bereichen der Nordsee: Entwicklung erweiterter Auswerteverfahren und deren Qualitätssicherung	117
Andreas Bauer Manfred Stender	
Höhenbezug und Referenzpunkte auf See – (wiederholte) Vermessung von Unterwasserinfrastrukturen und ihre Hürden	127

Session 6: Zukunftstrends

Holger Klindt	
Digitalisierung und autonome Verkehre – zwischen Fakten und Visionen	135
Mona Reithmeier Knut Hartmann Thomas Heege Julian Wenzel	
Skalierbare Methoden zur Vermessung und Überwachung des Seegrundes – Entwicklung und Anwendung von satelliten- und drohnengestützten Verfahren	141
Frederic Hake Hamza Alkhatib Ingo Neumann	
Automatische Schadenserkennung an Wasserbauwerken mittels hybrider Messplattform und Machine-Learning	147
Patrick Bethke Detlef Lemke Peter Menzel Uwe Freiherr von Lukas	
Ocean Technology Campus Rostock: Innovationsökosystem für digitale Unterwassertechnik	153

Vorwort

Hydrographie ist eine angewandte Wissenschaft. Sie befasst sich mit der Vermessung und Beschreibung der physikalischen Merkmale von Ozeanen, Randmeeren, Küstenzonen, Seen und Flüssen sowie mit der zeitlichen Variation dieser Merkmale.

Hydrographie ist eine Disziplin, die nur wenige Fachleute kennen. Selbst für die Geodätinnen und Geodäten ist sie vielfach fremd. Deren besondere, ja strategische Bedeutung bleibt erst recht verborgen. Der Nutzen tritt eben selten unmittelbar zu Tage. Dabei sind die hydrographischen Informationen entscheidende Voraussetzung für nahezu alle Nutzungen der Meere und Binnengewässer. Gleches gilt für deren Schutz. Das vorrangige Ziel der Hydrographie ist somit, das Wissen über unsere Gewässer zu erweitern, um sie verantwortungsvoll und sicher nutzen zu können und als Lebensraum zu schützen.

Das in ingenieurpraktische und geowissenschaftliche Arbeiten unterteilte Tätigkeitsfeld der Hydrographie geht bereits seit Jahren weit über die klassische Gewässervermessung mit Echoloten hinaus. Zum Einsatz kommen zum Beispiel zur Hydroakustik komplementäre Verfahren wie Airborne Laserscanning Bathymetrie und multispektrale Satellitenbilddatenauswertung. Auch findet Gewässervermessung nicht (mehr) ausschließlich schiffsgestützt statt: Neben Flugzeugen und Satelliten haben unbemannt fliegende, schwimmende und tauchende Drohnen längst Einzug als Sensorträger gehalten.

„Messen mit allen Sinnen“ – das gemeinsam vom DVW-Arbeitskreis 3 „Messmethoden und Systeme“ und der Deutschen Hydrographischen Gesellschaft (DHyG) veranstaltete Seminar zeigt die vielfältigen Facetten der Hydrographie und belegt den gelebten Schulterschluss zwischen unseren Verbänden. Von der Datenerfassung und deren qualitätsgesicherten Weiterverarbeitung über innovative Neu- und Weiterentwicklungen bis hin zu spannenden Zukunftstrends.

Eine gute Vernetzung ist entscheidend, um den Stand der Wissenschaft und Technik zu halten und voranzutreiben. Mindestens ebenso wichtig ist es, unseren Nachwuchs zu interessieren und für den Beruf zu gewinnen. Das DVW-Seminar in Symbiose mit dem Hydrographentag leistet für beides einen ganz wesentlichen Beitrag.

Sie, die Sie diesen Tagungsband in der Hand halten, gehören zu den Einweihnten und wissen, dass die Hydrographie der Schlüssel zum Meer, zu den Flüssen und Seen ist. Tragen Sie es weiter, denn es gibt viel zu erzählen über diese geheimnisvolle Profession, deren Bedeutung rasch wächst.

Thomas Dehling und Patrick Westfeld

Trockenschwimmer oder Eintaucher – Die Rolle der Geodäsie in der Hydrographie

Tanja Dufek | Harald Sternberg | Annette Scheider

Die Hydrographie ist ein Teilgebiet der Geodäsie und setzt sich speziell mit der Vermessung im Zusammenhang mit Gewässern auseinander. Besonders durch die technischen Entwicklungen und die sich ändernden Anforderungen sind beide (Teil-)Disziplinen in jüngster Zeit verstärkt zusammengewachsen. In diesem Kurzbeitrag wird zunächst ihre Entwicklung dargestellt, bevor auf ihre enge Verknüpfung eingegangen wird.

1 Entwicklung der Geodäsie und Hydrographie

Der Begriff *Geodäsie* leitet sich von den griechischen Wörtern für *Erde* und *Teilung* ab und wird das erste Mal von Aristoteles im 2. Buch der Metaphysik (384–322 v. Chr.) verwendet (Schmidt 1935). Die Grundlagen der Geodäsie reichen noch weiter bis um 3000 v. Chr. in Mesopotamien zurück, wo sich Hinweise zu den Anfängen von Astronomie und der sogenannten Feldmesstechnik finden (Torge 2009). Die heutige Geodäsie entwickelte sich aus diesen regionalen und globalen Aufgabenstellungen ab: der Landvermessung und Erdbeschreibung. Letzterer Aspekt wird nach Helmert (1880) als „die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche“ beschrieben.

Hydrographie leitet sich von den griechischen Begriffen für *Wasser* (*hydor*) und *schreiben* (*graphein*) ab (Dudenredaktion o. J.). Der bisher älteste Nachweis einer Handlotung geht auf einen Fund von Schiffsmodellen aus der Zeit von etwa 2040 v. Chr. in einer Grabkammer in Theben, Ägypten, zurück (Geomar et al. 2014). Handlote wurden zunächst zum Zweck der Navigation, also für die Bestimmung der Schiffposition und weiteren Planung von Kurs und Geschwindigkeit (Oxford Dictionary), eingesetzt. Der Einsatz eines Lots wird auch in der Apostelgeschichte in der Bibel beschrieben: Eine sich reduzierende Wassertiefe deutet darauf hin, dass man sich dem Land nähert. In ersten Seehandbüchern und Seekarten in der Antike wurden relevante Informationen, wie beispielsweise bekannte Wassertiefen, für die Seefahrt dokumentiert und weitergegeben (Geomar et al. 2014). Sie dienen somit der klassischen Hauptaufgabe der Hydrographie: Der Sicherheit der Seefahrt (IHO 2022).

Die Unterschiede zwischen der Geodäsie und Hydrographie werden aus den historischen Anfängen deutlich: Die Geodäsie hört als *Trockenschwimmer* an Land auf und beschränkt sich auf den sichtbaren Teil der Erde, also das Ausbreitungsmedium Luft. Allerdings werden aus Wasserstandsmessungen Höhenbezüge abgeleitet. Es gibt somit einen Bezug zum Wasser, ohne jedoch *eintauuchen*. Die Hydrographie hat geschichtlich einen engen Bezug zu der Seefahrt, fokussiert sich ursprünglich auf Messungen im bzw. unter Wasser und setzt sich als *Eintaucher* somit im klassischen Sinne mit Messungen im Medium Wasser auseinander.

Beide Disziplinen sind eng miteinander verbunden und können nicht getrennt betrachtet werden. Die Geodäsie benötigt das Wasser, um die Erde als Ganzes zu erfassen. Die Hydrographie lebt von geodätischen Methoden. Beide haben historisch eine Schnittmenge im Bereich der Astronavigation und Höhenbezüge. Die Hydrographie ist ein Zweig der Geodäsie (DIN 18709-3:2012-10), der sich mit der Vermessung und Auswertung im Bereich von Gewässern befasst. Mit der Zeit rückten sie näher zusammen, da auch der Übergang von Land zu Wasser immer mehr an Bedeutung gewann, was unter anderem bedingt wurde durch die Intensivierung der Handelsschifffahrt, steigende Anforderungen an wasserangrenzende Bebauung, Rohstoffgewinnung, und Küsten- bzw. Naturschutz.

Die Geodäsie und Hydrographie gehören zu den Ingenieur- und Geowissenschaften und sind stark mit anderen Disziplinen, wie der Physik oder der Raumfahrtforschung, verknüpft. Ihre Entwicklung ist eng mit technischen und wissenschaftlichen Fortschritten verbunden. Besonders die rasante technische Entwicklung in den letzten Jahrzehnten führte dazu, dass ihre Definition und Aufgaben erweitert bzw. angepasst wurden. Zu diesen Entwicklungen mit großem Einfluss zählen unter anderem die satellitengestützte Vermessung (für die Navigation und Schwerefeldmessungen), die Digitalisierung und der Fortschritt im Bereich der Sensorik. Neben der Erfassung und Darstellung werden nun auch die Verwaltung und Analyse der Daten als Aufgaben erfasst. Dies gilt nicht mehr nur für allgemein räumliche Daten, sondern auch für dynamische Prozesse oder Zustände.

2 Rollen der Geodäsie in der Hydrographie

Durch die kontinuierlichen technischen Weiterentwicklungen wachsen die Hydrographie und Geodäsie immer mehr zusammen – die Grenzen zwischen *Trockenschwimmer* und *Eintaucher* weichen auf. Vor allem der verstärkte Einsatz von gleichen (bzw. adaptierten) Methoden und Sensoren in jüngster Zeit, lassen sie zusammenwachsen. Ansätze und Kenntnisse aus der einen (Teil-)Disziplin

lassen sich in die andere übertragen und durch Kombination ein Mehrgewinn erzielen. Diese enge Verknüpfung wird auch in den nachfolgenden Beiträgen in diesem Band deutlich und soll im Folgenden durch Beispiele für Anwendungen klassischer Aufgaben der Geodäsie in der Hydrographie dargestellt werden.

2.1 Positionsbestimmung

Unter Navigation versteht man frei übersetzt nach dem Oxford Dictionary „Methoden zur Bestimmung oder Planung der Position und Kurses eines Schiffes oder Flugzeit durch Geometrie, Astronomie, Funksignale, etc.“. Vernachlässigt man den Aspekt der Planung an dieser Stelle, so handelt es sich bei der Navigation um die Positionsbestimmung eines sich bewegenden Objektes in Echtzeit und am/auf dem Objekt selber (Groves 2013). Der Begriff *Navigation* leitet sich von dem lateinischen Wort für Schiffahrt (*navigatio*) ab und hat somit seinen Ursprung in der Seefahrt und damit eine enge Verknüpfung zur Hydrographie. In der Seefahrt wurden bei größerer Entfernung zum Land klassischer Weise Methoden der Astronavigation oder Instrumente wie Kompassen eingesetzt. Üblicherweise werden heute integrierte Lösungen basierend auf GNSS (Global Navigation Satellite System), INS (Inertiales Navigationssystem), oder Unterwasserpositionierungsmethoden (basierend auch auf Grundlagen der Triangulation und Triangulation) verwendet. In Ufernähe können auch Richtungs- und Streckenmessungen zum Land eingesetzt werden. Dies erfolgt in der Schiffahrt seit jeher zum Beispiel durch Peilungen zu Landmarken mit bekannten Koordinaten durch optische Methoden oder mit Hilfe von Funk oder Radar. Das Prinzip lässt sich auch umkehren und es lassen sich auch klassische *trockene* Methoden der Landvermessung wie Totalstation vom Ufer aus verwenden. Vor allen in Bereichen ohne GNSS Empfang, insbesondere an Binnengewässern, repräsentiert diese Methode eine wichtige Möglichkeit der Positionsbestimmung.

2.2 Formbestimmung

Die Formbestimmung in verschiedensten Maßstäben ist eine klassische Aufgabe der Geodäsie. Dies beginnt bei der Erfassung der Erdform, die hauptsächlich für die Bestimmung und Realisierung eines globalen Koordinaten-Referenzsystems und für die Definition von Höhen herangezogen wird. Dies beinhaltet zum einen die Bestimmung der Erdform (Geoid) als solches, als auch die von Hilfskörpern (Ellipsoid) sowie die Datumsfestlegung. Als Grundlage hierfür werden Satellitenbeobachtungen verwendet, die die Erdoberfläche erfassen. Darüber hinaus lässt sich durch Satellitenaltimetrie die Höhe der Meeresoberfläche und

ihre Rauigkeit messen. Diese Daten können für die Ableitung der Bathymetrie des Meeresbodens herangezogen werden.

Die satellitengestützte Erfassung von Geländeformen über und unter Wasser zeichnet sich durch eine große Abdeckung und geringe Auflösung aus. Für eine detailliertere Aufnahme der Topographie oder Bathymetrie wurden verschiedenste Erfassungsmethoden entwickelt, die je nach Anforderung an Abdeckung und Genauigkeit angepasst und kombiniert werden können (z. B. schiffsgestützte Fächerecholot-Vermessung für die Erfassung der Bathymetrie oder Befliegung mit Airborne Laserscanning für die Erfassung der Topographie).

Aber auch in einem anderen Zusammenhang ist die Formbestimmung von hoher Bedeutung in der Hydrographie: Die Erfassung der Geometrie des Schiffes als Messplattform. Da insbesondere bei Fächerecholot-Messungen ein Multisensorsystem eingesetzt wird (GNSS, INS, Fächerecholot, etc.) muss der räumliche Bezug der einzelnen Messkomponenten zueinander genau bekannt sein. Dieser lässt sich vor allem durch Messungen mit hochpräzisen Totalstationen (Brüggemann 2013) oder einem Lasertracker (Eschelbach und Overath 2014) ermitteln. Darüber hinaus kann das Schiff als Ganzes auch mittels terrestrischen Laserscannings (TLS) erfasst werden. Die aus den Messdaten erzeugten 3D-Modelle können bei der Ermittlung des Schwerpunktes (COG – centre of gravity) herangezogen werden.

2.3 Kartographie/Mapping

Eine weitere klassische Aufgabe der Geodäsie bzw. der Kartographie liegt in der Abbildung von auf der Erde gemessenen Größen in die ebene Karte unter Berücksichtigung der auftretenden Verzerrungen. Neben der zweidimensionalen Darstellung von Teilen der Erde bzw. der Erde als Ganzes, spielt heute auch ihre dreidimensionale Erfassung und Visualisierung eine wichtige Rolle. Durch die Weiterentwicklung in der Sensorik lassen sich heute in kürzester Zeit große georeferenzierte Punktwolken von der Umgebung erzeugen. Dabei werden verschiedenste Plattformen eingesetzt, die fliegen, fahren oder schwimmen und sowohl bemannt als auch unbemannt sein können. Durch ihre vielfältige Einsetzbarkeit und die zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten von Messplattformen und Sensoren, eignen diese Multisensorplattformen sich auch zur dreidimensionalen lückenlosen Umgebungserfassung im Übergangsbereich zwischen Land und Wasser in unterschiedlichen Auflösungen: So kann ein Laserscanner auf einer schwimmenden Plattform in Kombination mit einem Fächerecholot eingesetzt werden, um gleichzeitig unter als auch über Wasser geometrische Informationen zu erfassen (Böder et al. 2010, Hesse et al. 2021). Alternativ lässt sich ein Laserscanner auch auf einer fliegenden Plattform einsetzen, um den Übergang

Land-Wasser oder gar flache Wassertiefen, unter Verwendung spezieller Wellenlängen, zu messen (Mandlburger et al. 2015). Einige Laserscanner sind inzwischen sogar speziell für den Einsatz und Messungen Unterwasser ausgelegt (Stemmler et al. 2019, Bleier et al. 2021). Die Realität lässt sich somit detailliert in Punktwolken erfassen und durch abgeleitete Produkte wie 3D-Modelle oder 2D-Karten darstellen.

3 Freischwimmer mit Tauchlizenz

Eine Abgrenzung zwischen der klassischen Geodäsie im Sinne von Landvermessung und der Hydrographie fällt im Hinblick auf die messtechnischen Aspekte immer schwerer: Neben dem Einsatz von hydroakustischen Echoloten, finden auch immer mehr eher *trockene* geodätische Methoden, Sensoren und Plattformen Anwendung in der Hydrographie. Sie werden nicht nur vom Land aus für hydrographische Anwendungen verwendet, sondern tauchen teilweise in das Medium Wasser ein und werden somit immer *nasser*. Beispiele hierfür sind die Unterwasser-Photogrammetrie oder Unterwasser-Laserscanning. Diese Erweiterung der Vielfalt einsetzbarer Sensoren wird durch den Konferenztitel verdeutlicht: *Messen mit allen Sinnen*. So übernehmen zum Beispiel Echoloten als hydroakustische Messinstrumente das *Hören*, chemische Sensoren das *Riechen*, Salzmesssonden das *Schmecken*, Taucher und Thermometer das *Tasten* und Sensoren, die elektromagnetische Wellen verwenden, das *Sehen*.

Durch die ständige Weiterentwicklung kommt es zu Schnittmengen mit neuen Nachbardisziplinen wie der Raumfahrt oder Robotik. Solche „neuen“ Problemstellungen und Themen werden sowohl in der *trockenen* Geodäsie wie auch der Hydrographie mit ähnlichen Methoden bearbeitet. Dazu zählt zum Beispiel die Steuerung autonomer Fahrzeuge (Automobil/Schiff/unbemannte Messplattform), Positionierung ohne GNSS (Indoor/unter Wasser) oder die automatische Detektion und Identifikation von Objekten mittels KI. Wie dieser Blick auf die jüngsten Entwicklungen in der Geodäsie und Hydrographie zeigt, ist auch in Zukunft eine anhaltende und sich steigernde Verschmelzung von Sensoren und Methoden zu erwarten. Aus einer Unterscheidung von *Trockenschwimmer* und *Eintaucher* geht die Entwicklung hin zu einem *Freischwimmer mit Tauchlizenz*.

Literatur

- Bleier, M., Lucht, J. v. d., Nüchter, A. (2021): SCOUT3D – ein Unterwasser-Laserscanner für mobile Kartierung. In: AVN, 128 (2021) 4, 171–180.
- Böder, V., Kersten, T., Hesse, C., Thies, T., Sauer, A. (2010): Initial Experience with the Integration of a Terrestrial Laser Scanner into the Mobile Hydrographic Multi Sensor

- System on a Ship. ISPRS Istanbul Workshop 2010 on Modelling of Optical Airborne and Spaceborne Sensors, WG I/4, Oct. 11–13, IAPRS Vol. XXXVIII, part 1/W4. www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/1-W17/11_Kersten.pdf.
- Brüggemann, T. (2013): Ingenieurgeodätische Fragestellungen bei der Einmessung von Vermessungsschiffen. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.). Neue Entwicklungen in der Gewässervermessung, BfG-Kolloquium, 20./21. November 2012 in Koblenz, 32–40.
- DIN e. V. (Hrsg.) (2012): DIN ISO 18709-3:2012-10: Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen in der Geodäsie – Teil 3: Gewässervermessung.
- Dudenredaktion (Hrsg.) (o. J.): Hydrographie. Duden online. www.duden.de, letzter Zugriff 04/2022.
- Eschelbach, C., Overath, T. (2014): Einsatz eines mobilen Lasertrackers zur hochpräzisen Justierung von Flächenlotssystemen bei Hochseevermessungsschiffen. In: Wieser, A. (Hrsg.): 17. Internationaler Ingenieurvermessungskurs (2014), Zürich. Berlin, Wichmann Verlag, 347–360.
- Geomar; L-3 ELAC Nautik; CAU; DHyG (Hrsg.) (2014): 100 Jahre Echolot – Die Tiefe hören. https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/30830/1/140624_Echolot_Broschuere_June2014.pdf, letzter Zugriff 04/2022.
- Groves, P. (2013): Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems. 2. Auflage, Artech House, London.
- Helmert, R. F. (1880): Die Mathematischen und Physikalischen Theorien der Höheren Geodäsie, Einleitung und 1. Teil: Die Mathematischen Theorien. Teubner, Leipzig.
- Hesse, C., Holste, K., Neumann, I., Esser, R., Geist, M. (2021): 3D HydroMapper – Ein innovatives Messsystem für die Erfassung, Prüfung und das Management von Wasser-Infrastrukturbauwerken. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 4/2021, 146. Jg., 259–265. DOI: [10.12902/zfv-0371-2021](https://doi.org/10.12902/zfv-0371-2021).
- IHO (2022): Definition of Hydrography. Homepage der IHO. <https://ihd.int/en/importance-of-hydrography>, letzter Zugriff 04/2022.
- Mandlburger, G., Hauer, C., Wieser, M., Pfeifer, N. (2015): Topo-Bathymetric LiDAR for Monitoring River Morphodynamics and Instream Habitat – A Case Study at the Pießlach River. In: Remote Sensing, 7 (2015), 5, 6160–6195. DOI: [10.3390/rs70506160](https://doi.org/10.3390/rs70506160).
- Schmidt, F. (1935): Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter. Unveränderter Nachdruck: K. Wittwer, Stuttgart 1988.
- Stemmler, S., Werner C. S., Reiterer, A. (2019): Development of a time-of-flight laser scanning system for underwater applications. Proceedings Volume 11150, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2019, 111500M (2019).
- Torge, W. (2009): Geschichte der Geodäsie in Deutschland. De Gruyter. Berlin.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Harald Sternberg
HafenCity Universität Hamburg
Henning-Voscherau-Platz 1, 20457 Hamburg
harald.sternberg@hcu-hamburg.de

Session 1: Hydrographie – zu Wasser, aus der Luft und aus dem All

Von nah und fern – Optische Methoden in der Bathymetrie

Gottfried Mandlburger

1 Einleitung

Für die Vermessung der Unterwassertopographie des Meeresbodens und tiefer Inlandseen kommen zumeist hydroakustische oder geophysikalische Messmethoden zum Einsatz. Optische Methoden sind aufgrund der starken Signalabsorption auf die Erfassung seichter Gewässer wie Küstenbereiche, flache Seen und alpine Flüsse beschränkt. Gerade das Litoral, also derjenige Uferbereich, zu dem Sonnenlicht vordringen kann, ist aber von sehr großer ökologischer und sozioökonomischer Bedeutung. Im Flachwasserbereich verlieren hydroakustische Methoden zunehmend an Effizienz und sind bei Gewässertiefen von wenigen Dezimetern nicht mehr einsetzbar. In diesem Bereich haben aber gerade optische Methoden vor allem aus der Luft ihre Stärken und stellen eine synergetische Ergänzung zur Hydroakustik dar.

Zur Erfassung des Gewässerbodens und von Unterwasserobjekten kommen im Wesentlichen folgende Methoden zum Einsatz: (i) Tiefenbestimmung durch Analyse der Radiometrie multispektraler Bilder, (ii) Mehrmedienphotogrammetrie und (iii) Laserbathymetrie. Dabei nutzen die bildbasierten passiven Ansätze die Reflexionen einer Lichtquelle (Sonnenstrahlung, künstliche Beleuchtung) zur Tiefenbestimmung. Die Laserbathymetrie hingegen ist ein aktives Verfahren basierend auf der Laufzeitmessung von kurzen Laserpulsen im grünen Bereich des elektromagnetischen Spektrums.

Die genannten Methoden können entweder gänzlich unter Wasser eingesetzt werden, wobei die Sensoren von Tauchern geführt oder von bemannten oder ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen (Remotely Operated Vehicles, ROV) aus betrieben werden. Die Nähe zu den zu erfassenden Objekten ermöglicht dabei eine sehr hohe räumliche Auflösung mit beispielhaften Anwendungen zur Erfassung von Korallenriffen (Rossi et al. 2020), prähistorischen Anlagen (Wright et al. 2020), Rohrleitungen und offshore Anlagen (Cheminsky et al. 2021). Während mit diesen Methoden kleine Bereiche sehr detailliert erfasst werden können, weisen luftgestützte Erfassungsmethoden von unbemannten Fluggeräten (Unmanned Aerial Vehicle, UAV), bemannten Flugzeugen oder auch satelliten-basierten Plattformen aus eine mit der Flughöhe über Grund steigende Flächenleistung bei gleichzeitig sinkender räumlicher Auflösung auf (Mandlburger 2020, Parrish et al. 2019).

Die folgenden beiden Abschnitte geben einen Überblick über die in der Bathymetrie eingesetzten optischen Messmethoden und -trägerplattformen. Der Beitrag schließt mit einem zusammenfassenden Ausblick.

2 Aktiv oder passiv – Optisch-bathymetrische Messmethoden

2.1 Bathymetrie aus multispektralen Bildern

Bei der Tiefenbestimmung aus spektraler Bildinformation (engl. Spectrally Derived Bathymetry, SDB) wird ein Zusammenhang zwischen dem radiometrischen Bildinhalt und der Gewässertiefe hergestellt (Lyzenga 1978). Die von der Lichtquelle zum Sensor rückgestreute Strahlung besteht prinzipiell aus Signalanteilen aus der Atmosphäre, von der Wasseroberfläche, vom Wasserkörper und schließlich den Unterwasserobjekten (Pflanzen, künstliche Objekte, Boden) in Abhängigkeit der Wellenlänge λ (Legleiter et al. 2009). Im Wasserkörper erfährt das Signal eine exponentielle Dämpfung durch Streuung und Absorption sowie eine zusätzliche Minderung durch die Rückstreuung an den beleuchteten Objekten gemäß deren Reflexionsgrad und Oberflächenbeschaffenheit (Lyzenga et al. 2006). Die meisten Ansätze verwenden dabei Regression, um basierend auf Referenzdaten einen möglichst einfachen Zusammenhang zwischen den radiometrischen Messwerten der Bilder und der Gewässertiefe abzuleiten. Neben einfachen linearen Modellen werden in jüngster Zeit auch verstärkt komplexe Regressionsfunktionen über maschinelles Lernen, z. B. auf Basis von Convolutional Neural Networks (Mandlburger et al. 2021), eingesetzt.

2.2 Mehrmedienphotogrammetrie

Mehrmedienphotogrammetrie ist ein rein geometrisches, bildbasiertes Verfahren, dessen Grundlagen auf Rinner (1948) zurückgehen. Mit dem Aufkommen automatisierter Auswerteverfahren hat das Thema der photogrammetrischen Tiefenbestimmung wieder eine starke Aufmerksamkeit erfahren (Dietrich 2016). Aufbauend auf der grundlegenden Kollinearitätsgleichung der Photogrammetrie kommt bei der Mehrmedienphotogrammetrie erschwerend die Strahlbrechung an der Wasseroberfläche hinzu (Mandlburger 2019, Agrafiotis et al. 2019b). Wird die Kamera unter Wasser eingesetzt, ist die Strahlbrechung an den unterschiedlichen Luft-Glas-Wasser-Grenzschichten zu berücksichtigen (Maas 2015, Menna et al. 2016). Gegenüber dem konventionellen photogrammetrischen Fall ist Unterwasser jedenfalls mit einer Verschlechterung der Ergebnisse um einen Faktor 2 zu rechnen (Maas 2015).

2.3 Laserbathymetrie

Laserbathymetrie ist ein aktives Verfahren, wobei die Erfassung von Unterwassertopographie und -objekten mittels eines gepulsten, grünen Lasers erfolgt (Guenther et al. 2000). Die Entfernung zwischen Sensor und Ziel wird durch die Messung der Laufzeit eines sehr kurzen Laserpulses (Wellenlänge $\lambda = 532$ nm, Pulsdauer $\Delta t = 1 - 7$ ns) durch Luft und Wasser bestimmt. An der Wasseroberfläche wird der Laserstrahl teilweise reflektiert und der verbleibende Teil dringt in den Wasserkörper ein. Wie bei der Mehrmedienphotogrammetrie erfährt der Laserstrahl beim Eintritt in den Wasserkörper eine Richtungsänderung sowie eine Reduktion der Ausbreitungsgeschwindigkeit gemäß dem Snellius'schen Brechungsgesetz. Während die rohen Gewässertiefen bei der Mehrmedienphotogrammetrie stets zu gering sind, erscheinen die nicht korrigierten 3D-Unterwassermesspunkte zu tief. Die Auswertung der Lasermessungen erfolgt dabei durch Analyse der vollen rückgestreuten Echowellenform, wobei moderne Ansätze auch die Erfassung von sehr geringen Wassertiefen kleiner als der halben Laserpulsebreite erlauben (Schwarz et al. 2019). Die maximale Eindringtiefe ist abhängig von der Gewässertrübung und wird i.d.R. in Vielfachen der Secchi-Tiefe angegeben. Mit topo-bathymerischen Laserscannern, die für die hochauflösende Erfassung flach überströmter Bereiche ausgelegt sind, wird ca. die 1,5-fache Secchi-Tiefe erreicht und sogenannte deep-bathy-Systeme erreichen etwa 3-fache Secchi-Tiefe allerdings auf Kosten der räumlichen Auflösung. Mittlerweile existieren bathymetrische Laserscanner einerseits bereits in miniaturisierter Form für den Einsatz auf UAV (Mandlburger 2020). Ein weiterer Trend geht in Richtung einzelphotonsensitiver Sensoren, die auch auf Satellitenplattformen eingesetzt und zur Bathymetrieerfassung genutzt werden können (Parry et al. 2019).

3 Nah oder fern – Messplattformen

Wie bereits im Abschnitt 1 erläutert, kann bei der Erfassung von Unterwasserszenen prinzipiell unterschieden werden, ob sich der Sensor selbst unter- oder oberhalb der Wasseroberfläche befindet. Je nach Entfernung zum Objekt variieren Flächenleistung und die Genauigkeit bzw. räumliche Auflösung.

3.1 Unterwasservermessung

Bei der Unterwasserdatenerfassung wird der Sensor entweder von einer Person (Taucher/in) oder von einem ggf. ferngesteuerten Unterwasserfahrzeug aus

bedient. In beiden Fällen ist die Distanz zwischen Sensor und Objekt gering und der Detaillierungsgrad bzw. die räumliche Auflösung sehr hoch, z. B. im mm-Bereich. Man kann diese Art der Datenerfassung daher als Unterwasser-Nahbereichsphotogrammetrie bezeichnen. Dabei kommen sowohl rein bildbasierte Stereophotogrammetrie, Lichtschnittverfahren (Triangulation durch strukturiertes Laserlicht und Kamerabild) und LiDAR (Impulslaufzeitverfahren) zur Anwendung. Neben der Erfassung und Überwachung von Anlagen im offshore Bereich (Chemisky et al. 2021) kommt Unterwasservermessung u. a. auch zur 3D-Erfassung von Korallenriffen (Rossi et al. 2020) und Schiffswracks (Nocerino und Menna 2020) zum Einsatz.

3.2 UAV-Bathymetrie

Durch die fortschreitende Miniaturisierung von Sensoren und Plattformen gewinnt die luftgestützte Erfassung von Unterwassertopographie von UAV-Plattformen (Drohnen) aus zunehmend an Bedeutung. Waren es zunächst Kompaktkameras, die als Grundlage für Mehrmedienphotogrammetrie herangezogen wurden (Agrafiotis et al. 2019a), so sind heute auch kompakte topo-bathymetrische Laserscanner mit einem Gewicht von 2 bis 12 kg verfügbar, die auf leistungsfähigen UAV-Plattformen integriert werden können (Mandlburger 2020). Während die maximale Eindringtiefe bei Mehrmedienphotogrammetrie und spektraler Tiefenbestimmung inhärent mit der einfachen Secchi-Tiefe begrenzt ist, ermöglichen moderne UAV-LiDAR Sensoren die Erfassung der zwei- bis dreifachen Secchi-Tiefe. UAV-basierte Bathymetrie ist immer dann vorteilhaft einsetzbar, wenn das Erfassungsgebiet von überschaubarer Größe ist und gewundene, lineare Verläufe zu erfassen sind, wie dies z. B. bei (alpinen) Flüssen der Fall ist. Die relativ hohe räumliche Auflösung (dm-Bereich) erlaubt auch die Erfassung von Kleinstrukturen wie Unterwasservegetation, archäologischen Features, Unterwasserrohrleitungen, etc.

3.3 Airborne Bathymetrie

Die klassische Anwendung von optischer Bathymetrie ist vom bemannten Flugzeug aus. Die Anfänge reichen dabei bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück. Dabei kommen alle in Abschnitt 2 besprochenen Erfassungsmethoden (Mehrmedienphotogrammetrie, spektrale Tiefenbestimmung, Laserbathymetrie) zum Einsatz. Im Bereich Airborne Laserbathymetrie unterscheidet man Sensoren, die auf Maximierung der Eindringtiefe optimiert sind und moderate räumliche Auflösung (2 bis 5 m) und Tiefengenauigkeit (diverse IHO-Standards,

Richtwert: 25 bis 30 cm) liefern (Guenther et al. 2000) und topo-bathymetrische Sensoren, welche eine simultane und nahtlose Erfassung der Flachwasserzone und der umgebenden Topographie erlauben (Mandlburger 2020). Einige Sensoren integrieren beide Konzepte (deep/shallow channels) in einem einzigen Instrument und ermöglichen dadurch die Kombination von guter Eindringtiefe im Bereich der dreifachen Secchi-Tiefe und hoher räumlicher Auflösung (ca. 50 cm) sowie Tiefenmessgenauigkeit (ca. 10 cm) im Flachwasserbereich. Aktuelle Entwicklungen beim Flugzeuglaserscanning gehen auch in die Richtung von einzelphotonsensitiven Systemen. Manche dieser prinzipiell für topographische Anwendungen konzipierten Systeme verwenden grünes Laserlicht und bringen damit moderate bathymetrische Fähigkeiten mit (Degnan 2016).

3.4 Satellitenbathymetrie

Satelliten-basierte optische Methoden zur Bestimmung von Gewässertiefen werden bereits seit mehreren Jahrzehnten durch Auswertung von Multispektralbildern angewandt (Lyzenga 1978). Vor allem bei Nadirsystemen ist dabei vorteilhaft, dass der Refraktionseinfluss eine untergeordnete Rolle spielt. Durch das Aufkommen von hochauflösenden Satelliten, die auch in Stereokonfiguration genutzt werden können, hat auch der Bereich der satellitenbasierten Mehrmedienphotogrammetrie an Stellenwert gewonnen (Cao et al. 2019). Darüber hinaus kommen derzeit auch satellitenbasierte Laseraltimeter wie das ATLAS-Instrument an Bord des ICESat-2-Satelliten für bathymetrische Zwecke zum Einsatz (Parrish et al. 2019). Dabei handelt es sich um einen einzelphotonsensitiven LiDAR-Sensor, der grünes Lasersicht verwendet, und damit sowohl gute Reflexionseigenschaften über Schnee und Eis aufweist aber auch Wasser durchdringt. Der Vorteil dieser Mission liegt weniger in der räumlichen Auflösung als viel mehr in der globalen Abdeckung.

4 Quo vadis – Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden einerseits die grundlegenden optischen Methoden in der Bathymetrie und andererseits die verschiedenen Trägerplattformen besprochen. Optische Methoden kommen in allen Maßstabsbereichen zum Einsatz, von der Erfassung kleinräumiger Detailstrukturen mit sub-mm-Genauigkeit bis zur globalen Erfassung von Inland- und Küstengewässern mit einer maximalen Tiefe von 20 bis 50 m.

Beschränkender Faktor für optische Bathymetrie ist die Gewässertrübung. Während die Erfassung von großen Tiefen hydroakustischen und geophysika-

lischen Verfahren vorbehalten bleibt, leisten optische Methoden einen wertvollen Beitrag für die nahtlose Erfassung von Topographie und Hydrographie der Flachwasserzone und können auch für die detaillierte Erfassung von Anlagen, Infrastruktur, Vegetation und natürlichen Kleinformen im Unterwasserbereich eingesetzt werden.

Während die Gesetze der Physik nicht außer Kraft gesetzt werden können und eine Vergrößerung der maximalen Eindringtiefe wesentlich über die dreifache Secchi-Tiefe hinaus unwahrscheinlich erscheint, geht der Trend bei der Sensorik hin zur Miniaturisierung bei gleichbleibender Genauigkeit und Performance. Dadurch können verstärkt robotische Systeme, sei es in der Luft (UAV) oder unter Wasser (ROV), als kinematische Trägerplattformen für bathymetrische Sensoren eingesetzt werden. Dies wird in Zukunft weitere Anwendungsbereiche der optischen Bathymetrie auftun, sei es im Bereich der Industrie, der Wasserwirtschaft, der Ökologie oder des Küsten- und Gewässerschutzes.

Literatur

- Agrafiotis, P., Skarlatos, D., Georgopoulos, A., Karantzalos, K. (2019a): Shallow Water Bathymetry Mapping from UAV Imagery based on Machine Learning, In: Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W10, 9–16. DOI: [10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-9-2019](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-9-2019).
- Agrafiotis, P., Karantzalos, K., Georgopoulos, A., Skarlatos, D. (2019b): Correcting Image Refraction: Towards Accurate Aerial Image-Based Bathymetry Mapping in Shallow Waters. In: Remote Sens., 12(2), 322. DOI: [10.3390/rs12020322](https://doi.org/10.3390/rs12020322).
- Cao, B., Fang, Y., Jiang, Z., Gao, L., Hu, H. (2019): Shallow water bathymetry from WorldView-2 stereo imagery using two-media photogrammetry. In: European Journal of Remote Sensing, 52:1, 506–521. DOI: [10.1080/22797254.2019.1658542](https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1658542).
- Chemisky, B., Menna, F., Nocerino, E., Drap, P. (2021): Underwater Survey for Oil and Gas Industry: A Review of Close Range Optical Methods. In: Remote Sens., 13, 2789. DOI: [10.3390/rs13142789](https://doi.org/10.3390/rs13142789).
- Degnan, J. (2016). Scanning, Multibeam, Single Photon Lidars for Rapid, Large Scale, High Resolution, Topographic and Bathymetric Mapping. In: Remote Sens., 8 (11): 923–58. DOI: [10.3390/rs8110958](https://doi.org/10.3390/rs8110958).
- Dietrich, J. (2016): Bathymetric Structure-from-Motion: Extracting Shallow Stream Bathymetry from Multi-View Stereo Photogrammetry. In: Earth Surface Processes and Landforms 42(2), 355–64.
- Guenther, G. C., Cunningham, A. G., Laroque, P. E., Reid, D. J. (2000): Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry. In: Proceedings of the 20th EARSeL Symposium: Workshop on Lidar Remote Sensing of Land and Sea, Dresden.
- Legleiter, C., Roberts, D., Lawrence, R. (2009): Spectrally based remote sensing of river bathymetry. In: Earth Surface Processes and Landforms, 1059, 1039–1059. DOI: [10.1002/esp.1787](https://doi.org/10.1002/esp.1787).

- Lyzenga, D. (1978): Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. In: *Applied Optics*, 17(3), 379–383.
- Lyzenga, D., Malinas, N., Tanis, F. (2006): Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm. In: *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 44(8), 2251–2259.
- Maas, H.-G. (2015): On the Accuracy Potential in Underwater/Multimedia Photogrammetry. In: *Sensors* 15, 18140–18152. DOI: [10.3390/s150818140](https://doi.org/10.3390/s150818140).
- Mandlburger, G. (2019): Through-Water Dense Image Matching for Shallow Water Bathymetry. In: *PE&RS* 85(6). DOI: [10.14358/PERS.85.6.445](https://doi.org/10.14358/PERS.85.6.445).
- Mandlburger, G. (2020): A review of airborne laser bathymetry for mapping of inland and coastal waters. In: *Hydrographische Nachrichten*, 116, 6–15.
- Mandlburger, G., Kölle, M., Nübel, H., Soergel, U. (2021): BathyNet: A Deep Neural Network for Water Depth Mapping from Multispectral Aerial Images. In: *PFG* 89, 71–89. DOI: [10.1007/s41064-021-00142-3](https://doi.org/10.1007/s41064-021-00142-3).
- Menna, F., Nocerino, E., Fassi, F., Remondino, F. (2016): Geometric and Optic Characterization of a Hemispherical Dome Port for Underwater Photogrammetry. In: *Sensors*, 16, 48. DOI: [10.3390/s16010048](https://doi.org/10.3390/s16010048).
- Nocerino, E., Menna, F. (2020): Photogrammetry: Linking the World across the Water Surface. In: *J. Mar. Sci. Eng.* 8, 128. DOI: [10.3390/jmse8020128](https://doi.org/10.3390/jmse8020128).
- Parrish, C. E., Magruder, L. A., Neuenschwander, A. L., Forfinski-Sarkozi, N., Alonso, M., Jasinski, M. (2019): Validation of ICESat-2 ATLAS Bathymetry and Analysis of ATLAS's Bathymetric Mapping Performance. In: *Remote Sens.*, 11, 1634. DOI: [10.3390/rs11141634](https://doi.org/10.3390/rs11141634).
- Rinner, K. (1948): Abbildungsgesetz und Orientierungsaufgaben in der Zweimedienphotogrammetrie. In: *Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen*, Sonderheft 5; Eigenverlag: Wien, Österreich.
- Rossi, P., Castagnetti, C., Capra, A., Brooks, A. J., Mancini, F. (2020): Detecting change in coral reef 3D structure using underwater photogrammetry: critical issues and performance metrics. *Appl. Geomatics* 12, 3–17. DOI: [10.1007/s12518-019-00263-w](https://doi.org/10.1007/s12518-019-00263-w).
- Schwarz, R., Mandlburger, G., Pfennigbauer, M., Pfeifer, N. (2019): Design and Evaluation of a Full-Wave Surface and Bottom-Detection Algorithm for LiDAR Bathymetry of Very Shallow Waters. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 150. DOI: [10.1016/j.isprsjprs.2019.02.002](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.02.002).
- Wright, A. E., Conlin, D. L., Shope, S. M. (2020): Assessing the Accuracy of Underwater Photogrammetry for Archaeology: A Comparison of Structure from Motion Photogrammetry and Real Time Kinematic Survey at the East Key Construction Wreck. In: *J. Mar. Sci. Eng.*, 8, 849. DOI: [10.3390/jmse8110849](https://doi.org/10.3390/jmse8110849).

Kontakt

Dr. Gottfried Mandlburger

TU Wien, Department für Geodäsie und Geoinformation

Forschungsbereich Photogrammetrie (E120.7)

Wiedner Hauptstraße 8–10, 1040 Wien, Österreich

gottfried.mandlburger@geo.tuwien.ac.at

Möglichkeiten der Fernerkundung für Hydrographie und Gewässerkunde

Björn Baschek | Tobias Brehm

1 Einleitung

Fernerkundung kann großflächig Zustände erfassen, durch wiederholte Beobachtung Veränderungen detektieren und somit wertvolle Informationen für die Erforschung und das Management von Gewässern erzielen. Lange Beobachtungsserien geeigneter Parameter können zur Beobachtung von möglichen Klimafolgen beitragen. Mit der Fernerkundung werden in der Regel für einzelne Punkte nicht dieselben Genauigkeiten erzielt, wie es durch in-situ-Messungen möglich ist oder Ergebnisse liegen z. B. durch gegebene Wiederholraten und durch Bewölkung beeinflusst unregelmäßig und lückenhaft vor. Mögliche Messverfahren beschränken sich zudem auf Eigenschaften, die durch Licht bzw. elektromagnetische Strahlung durch die Atmosphäre übermittelt werden können.

Wesentliche Vorteile der Fernerkundung sind jedoch die – je nach Plattform – mehr oder weniger großflächige und Überblick schaffende Information, die reduzierte Notwendigkeit als Person vor Ort zu sein und der hohe erreichbare Automatisierungsgrad. Die Nutzbarkeit kann durch eine Kombination von Fernerkundung mit in-situ-Daten zur Validierung und Kalibration erhöht werden. Nur sporadisch vorliegende in-situ-Daten können durch Fernerkundungsdaten zeitlich ergänzt werden oder es kann auf Basis der Fernerkundungsdaten entschieden werden, wann es sich lohnt in-situ-Daten zu erheben.

Ziel dieses Beitrags ist es, einen Überblick über die vielfältigen Anwendungsbereiche und Möglichkeiten der Fernerkundung für Hydrographie und Gewässerkunde zu geben (Kap. 2) und auf einzelne Beispiele exemplarisch einzugehen (Kap. 4). Hierbei werden verschiedene Plattformen mit ihren Vor- und Nachteilen berücksichtigt und mögliche Datenquellen aufgezeigt (Kap. 3).

2 Anwendungsbereiche

Bestimmbare Parameter und Anwendungsbereiche der Fernerkundung für Hydrographie und Gewässerkunde lassen sich auf verschiedene Art und Weisen aufteilen. In Tab. 1 werden Beispiele aufgelistet, die nicht nur Potenzial bieten, sondern zu denen aktuelle FuE-Aktivitäten bis hin zu Anwendungen bekannt

Tab. 1: Beispielhafte, mit Hilfe von Fernerkundung (plattformabhängig) bestimmbare Parameter und Anwendungsbereiche der Fernerkundung für Hydrographie und Gewässerkunde

Gewässer	Uferbereiche und Bauwerke	Einzugsgebiete
Gewässergüteparameter (Temperatur, Trübung, Chlorophyll-a, etc.) z. B. zur Beurteilung des Gewässerzustandes, Sediment- und Baggergutmanagements oder zur Warnung bei Entwicklungen von Cyanobakterien in Badegewässern.	Monitoring von Vegetation und Hydromorphologie zur Erfassung von Zustand und Veränderung z. B. als Beitrag zur Beurteilung von Entwicklungsmaßnahmen an Gewässern.	Großflächige hydrologisch relevante Parameter (Eis- und Schneebedeckung, Bodenfeuchte, Niederschlag) z. B. zur Validierung oder für die Assimilation in numerische, hydrologische Modelle.
Monitoring von Verschmutzungen durch Öl, andere filmbildende Chemikalien oder Makroplastik z. B. zur Untersuchung von Quellen, Verbreitung und Einleitung von Gegenmaßnahmen.	Erstellung von digitalen Geländemodellen als Basisinformation für vielfältige weitergehende Auswertungen.	Für Einzugsgebiete gibt es eine Vielzahl weiterer Parameter, wie z. B. Landnutzung, Landbedeckung, Geländemodelle, Bodenbewegung, die auch ohne Gewässerbezug verwendet werden – aber zudem für die Betrachtung von Einzugsgebieten relevant sind.
Geometrische Information zur Ausdehnung von Gewässern z. B. bei Extremereignissen, Wasserspiegellagen/Meeresoberfläche und aus „optisch“ flachen Gewässern Tiefeninformation.	Monitoring von Zustand und Veränderung von Bauwerken und Bodenbewegungen.	
Informationen zu Strömungsmustern und zur Querdurchmischung von Fließgewässern.		

sind. Hierbei sind nicht alle Parameter sinnvoll mit Satellitendaten zu erfassen. Zum Teil müssen höher auflösende Daten anderer Fernerkundungsplattformen wie beispielsweise Flugzeuge oder Drohnen zum Einsatz kommen. Die Parameter in der Tabelle lassen sich in die drei Kategorien aufteilen, je nachdem, ob sie primär dem Wasserkörper, den Uferbereichen und Bauwerken oder auch ganzen hydrologischen Einzugsgebieten zuzuordnen sind. Mehrere Ansätze werden z. B. bei Carbonneau und Piégay (2012) beschrieben. Für beabsichtigte Anwendungen ist generell ein Abgleich zwischen Anforderungen und technischen Möglichkeiten notwendig, wo Genauigkeit des Parameters, zeitliche- und räumliche Auflösung (Datenlücken durch Wolken!), Kosten, relevanter Tiefenbereich usw. berücksichtigt werden sollten (Baschek et al. 2018a).

3 Fernerkundungsdatenquellen

3.1 Satellitendaten und -dienste

Das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus bietet mit dem Start des ersten Sentinel-Satelliten im Jahre 2014 (CODE-DE 2022) einen Meilenstein für die Verfügbarkeit von Satellitendaten. Gerade die kostenlose Bereitstellung und die angelegte langfristige Kontinuität boten im Gegensatz zu Forschungsmissionen eine wesentliche Voraussetzung für den Schritt aus der Forschungslandschaft zu vermehrten Nutzungsansätzen bei Behörden. Für den marin en Bereich gibt es einen eigenen Copernicus-Dienst (Copernicus CMEMS 2022) mit entsprechenden Produkten. Für den Binnenbereich dagegen standen eingangs vor allem die Daten im Vordergrund woraus Forschung, Behörden oder private Anbieter Anwendungen generierten und erprobten. Heute gibt es ein sich erweiterndes Angebot über mehrere Copernicus-Dienste verteilt. Exemplarisch seien hierbei genannt:

- Globale Wasserqualitätsdaten für Seen über den Landdienst (Copernicus CGLOPS 2022)
- Hochwasserinformationen über den Emergency Management Dienst (Copernicus EMS 2022) mit einer neuen kontinuierlichen globalen Überflutungsüberwachung (Copernicus GFM 2022)
- Bodenfeuchte im Klimadienst (Copernicus C3S 2022)
- Monitoring von Küstenzonen als Zusammenarbeit von Landdienst und marin em Dienst (Copernicus CLMS Küste 2022)
- Meeresumweltüberwachungsdienst (Copernicus CMEMS 2022)

Die jeweiligen Seiten bieten hierbei Datenzugriff und ergänzende Informationen z. B. zur Validierung. Parallel gibt es Datenzugriffs- und Automatisierungs-

und Auswertemöglichkeiten u. a. über die nationale Cloud-Plattform CODE-DE (CODE-DE 2022) oder die DIAS-Plattformen (Copernicus DIAS 2022).

3.2 Drohnen

Neben „klassischen“ Befliegungen durch Flugzeuge hat sich in den letzten Jahren vor allem Verfügbarkeit und Möglichkeiten von UAS (unmanned aircraft system) bzw. Drohnen stark entwickelt. Neuere europäische Regelungen und deren nationale Umsetzungen schaffen hier einen Rahmen, der für Einsatzszenarien mit geringerem Risiko den Genehmigungsaufwand reduziert und bei Beachtung der Rahmenbedingungen (z. B. Fähigkeitsnachweise, Abstände zu Personen und besonderen geographischen Gebieten, Gewichte der Drohnen) in der „offenen“ Kategorie bestimmte Szenarien genehmigungsfrei macht (DIPUL 2022). Im Vergleich zu Satelliten lassen sich Drohnen zwar mit geringerer Abdeckung, aber gezielter, zu variablen Zeitpunkten, auch unter Wolken und mit höherer räumlicher Auflösungen einsetzen. Dank der fortschreitenden Entwicklung und Miniaturisierung ist inzwischen eine Vielzahl von Sensorik für Drohnen verfügbar.

4 Anwendungsbeispiele

Als mögliche konkrete Anwendungen für Fernerkundungsdaten werden hier zwei Beispiele dargelegt. Das eine zeigt den Einsatz von großflächigen Trübungsdaten und das andere die Anwendung und Klassifikation von Uferbereichen basierend auf UAS-Daten.

4.1 Trübungsmonitoring per Satellit

Um die Schwebstoffverteilung und auch -frachten in Gewässern zu untersuchen, werden in-situ-Messungen der Gewässertrübung durchgeführt. Möglich sind hierbei dauerhafte Messungen, die aber nur die Verhältnisse an einem Punkt im Gewässer erfassen. Abb. 1 zeigt beispielhaft – oberflächennahe – Trübungswerte, die mit Hilfe von Satelliten nun für bestimmte Zeitpunkte flächenhaft vorliegen. Die Trübung eines Gewässers ist sehr variabel. In der Abbildung ist beispielhaft zu sehen, dass das Wasser der Mosel zum Aufnahmezeitpunkt deutlich trüber als das Wasser des Rheins ist. Für quantitative Aussagen wurde eine Kalibration mit in-situ-Daten (Trübung in FNU – Formazin Nephelometric Units) durchgeführt. Für eine hohe Datenqualität ist neben einer mit Gewässern gekoppelten Atmosphärenkorrektur eine sorgfältige Filterung der Daten notwendig, um

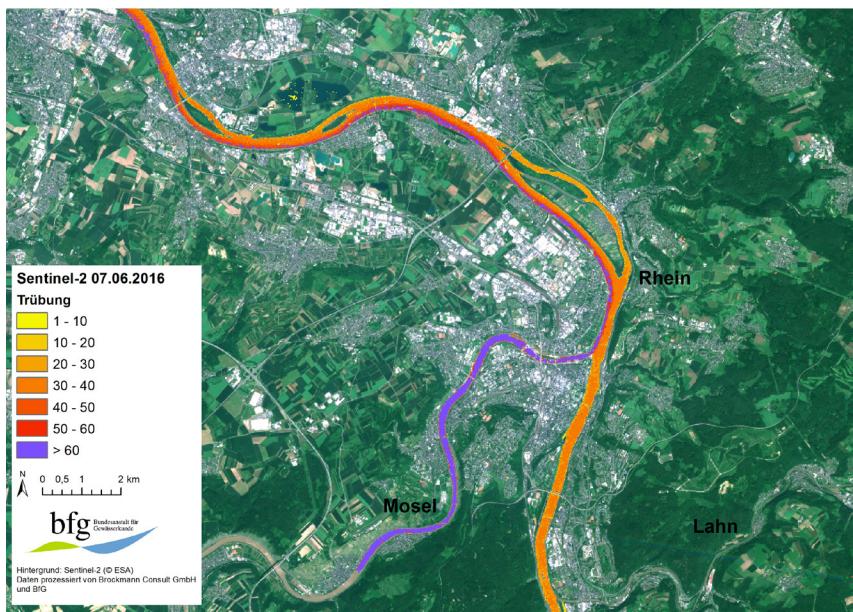


Abb. 1: Kalibrierte Trübungsdaten im Mündungsgebiet von Mosel und Rhein. Prozessierung von BfG und Brockmann Consult auf Basis von Sentinel-2-Daten (© ESA) aus dem Juni 2016 (© BfG).

z. B. Wolkenschatten oder Flachwasserbereiche zu entfernen (siehe auch Baschek et al. 2018b, Mishra et al. 2017).

4.2 Klassifikation von Uferrandbereichen mit dem UAS

Ein nachhaltiges Gewässermanagement sowie die Umsetzung ökologischer Renaturierungs- und Entwicklungsmaßnahmen setzen eine regelmäßige Erfassung von Vegetation, hydromorphologischen Substraten und Strukturen voraus. Drohnen und Gyrokopter mit multispektraler Sensorik bieten das Potenzial, selbst in schwer zugänglichen Gebieten, zeitlich und räumlich höchststauflösende Daten zu sammeln. Im Verbundprojekt mDrones4rivers (2022; mFUND, FKZ 19F2054A) wurden Verfahren zur automatisierten Klassifikation von Basiseinheiten, Vegetationseinheiten, Dominanzbeständen und Substratarten sowie Strukturen und standardisierte Aufnahme- und Verarbeitungsverfahren für Luftbilddaten entwickelt (Rommel et al. 2022). Hierbei kamen Methoden des maschinellen Lernens zum Einsatz. Die erzielten Ergebnisse ermöglichen in Zukunft die Ergänzung, Optimierung und ggf. auch eine Reduzierung klassischer

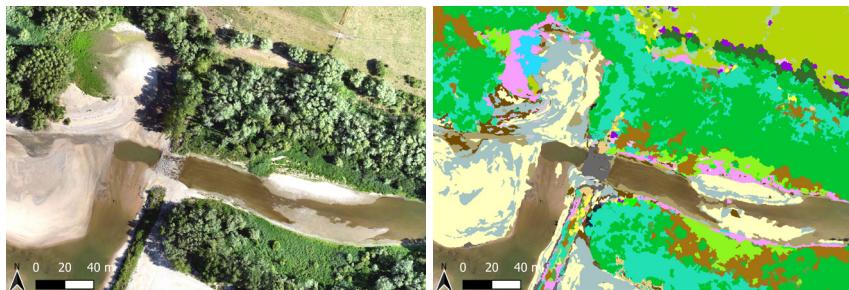


Abb. 2: Drohnenaufnahme (© GEOCOPTIX GmbH, mDRONES4rivers) und Klassifikation von Vegetation und Substrattypen

Felderhebungen. Gleichzeitig können räumlich detaillierte Informationen über Ökosysteme an Bundeswasserstraßen generiert und visualisiert werden (Abb. 2).

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde deutlich, dass Fernerkundung für die Erhebung und Verwendung einer Vielzahl von gewässerrelevanten Parametern einen Mehrwert liefern kann. Zukünftig wird sich das synergetische Gesamtbild aus in-situ-Messungen, Fernerkundung und – als drittes Element – numerische Modelle noch vereinheitlichen und zu einem verbesserten Systemverständnis beitragen. Neuere Sensoren und anwendungsorientierte, kombinierte Produkte werden die Angebotsseite erhöhen und Produkte z. B. zur Wasserqualität könnten verstärkt in die Umweltberichterstattung einfließen.

Literatur

- Baschek, B., Fricke, H., Dörnhöfer, K., Oppelt, N. (2018a): Grundlagen und Möglichkeiten der passiven Fernerkundung von Binnengewässern. In: Handbuch angewandte Limnologie, Wiley-VCH. DOI: [10.1002/9783527678488.hbla2018001](https://doi.org/10.1002/9783527678488.hbla2018001).
- Baschek, B., Brehm, T., Winterscheid, A. (2018b): Satellitenunterstützung für das Trübungsmonitoring an Bundeswasserstraßen. In: Ehlert, I., Schweitzer, C. (Hrsg.): Copernicus für das Umweltmonitoring. www.bsh.de/DE/PUBLIKATIONEN/_Anlagen/Downloads/Meer_und_Umwelt/Weitere_Publikationen/Copernicus-fuer-das-Umweltmonitoring.pdf.
- Carboneau, P., Piégay, H. (2012): Fluvial Remote Sensing for Science and Management, Wiley-Backwell.
- CODE-DE (2022): <https://code-de.org/de/>, letzter Zugriff 04/2022.
- Copernicus (2022): <https://www.d-copernicus.de/>, letzter Zugriff 04/2022.

- Copernicus C3S (2022): <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-soil-moisture?tab=overview>, letzter Zugriff 04/2022.
- Copernicus CGLOPS (2022): <https://land.copernicus.eu/global/products/wb>, letzter Zugriff 04/2022.
- Copernicus CLMS (2022): <https://land.copernicus.eu/global/products/wb>, letzter Zugriff 04/2022.
- Copernicus CLMS Küste (2022): <https://land.copernicus.eu/local/coastal-zones>, letzter Zugriff 04/2022.
- Copernicus CMEMS (2022): <https://marine.copernicus.eu/de>, letzter Zugriff 04/2022.
- Copernicus DIAS (2022): www.copernicus.eu/de/datenzugriff/dias, letzter Zugriff 04/2022.
- Copernicus EMS (2022): <https://emergency.copernicus.eu/>, letzter Zugriff 04/2022.
- Copernicus GFM (2022): www.globalfloods.eu/technical-information/glofas-gfm/, letzter Zugriff 04/2022.
- DIPUL (2022): www.dipul.de/homepage/de/informationen/kategorisierung-des-drohnenbetriebs/unterscheidung-der-betriebskategorien/, letzter Zugriff 04/2022.
- mDRONES4rivers (2022): www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/mdrone4rivers.html, letzter Zugriff 04/2022.
- Mishra, D. R., Ogashawara, I., Gitelson, A. A. (2017): Bio-optical Modeling and Remote Sensing of Inland Waters, Elsevier.
- Rommel, E., Giese, L., Fricke, K., Kathöfer, F., Heuner, M., Möller, T., Deffert, P., Asgari, M., Nätche, P., Dzunic, F., Rock, G., Bongartz, J., Burkart, A., Quick, I., Schröder, U., Baschek, B. (2022): Very High-Resolution Imagery and Machine Learning for Detailed Mapping of Riparian Vegetation and Substrate Types. In: *Remote Sens.* 2022, 14, 954. DOI: [10.3390/rs14040954](https://doi.org/10.3390/rs14040954).

Kontakt

Dr. Björn Baschek
Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG
Am Mainzer Tor, 56068 Koblenz
baschek@bafg.de

Hydrographie von A bis Z

Lars Schiller

Fragen

Jedes Fachgebiet hat eine eigene Fachsprache – auch die Hydrographie. Hydrographen nutzen ihre Fachsprache, um sich untereinander möglichst klar und effizient zu verständigen. Ihre Fachsprache ist geprägt durch spezielle Fachwörter, z. B. *ADCP* oder *Wassersäulenkartierung*. Diese Fachwörter ermöglichen die exakte, eindeutige und ökonomische Verständigung. In ihrer Gesamtheit bilden sie den Fachwortschatz.

Hydrographen haben sich bislang mit ihrem Fachwortschatz nicht in wissenschaftlicher Weise auseinandergesetzt. Auch Sprachwissenschaftler haben sich nicht für die Fachsprache der Hydrographie interessiert. Deshalb hat niemand Antworten auf diese Fragen:

- Welche Fachwörter nutzen Hydrographen bei ihrer Fachkommunikation, im Deutschen und im Englischen?
- Welche Fachwörter kommen besonders oft in Fachtexten vor?
- Welche Fachwörter gibt es nur, weil es die Hydrographie gibt?
- Welche Fachwörter sollten Hydrographen in ihrer Ausbildung kennenlernen?
- Wie brauchbar sind die DIN-Norm 18709-3, die sich mit Gewässervermessung beschäftigt, und das Hydrographic Dictionary (S-32) der IHO?
- Lassen sich, wenn ein Begriff mit mehreren synonymen Fachwörtern bezeichnet werden kann, Empfehlungen geben, welches Fachwort bevorzugt verwendet werden sollte?

Methoden

Antworten auf diese Fragen lassen sich mit den Methoden der Terminologielehre finden. Um den Fachwortschatz systematisch zu erschließen, müssen Fachwörter zunächst gesammelt, dann begrifflich sortiert sowie abschließend bewertet werden. Sinnvollerweise wird der Fachwortschatz in einer Terminologiedatenbank für die praktische Nutzung bereitgestellt.

Folgende Vorgehensweise habe ich gewählt:

- Zunächst habe ich ein umfangreiches Textkorpus zusammengestellt (rund 2500 Normseiten), das als Grundlage für alle Untersuchungen dient. Dieses

Textkorpus wird später erweitert. Das initiale Textkorpus besteht aus 40 Quellen, im Wesentlichen aus den Ausgaben der Hydrographischen Nachrichten (Ausgabe 80 bis 118), in denen 368 deutsche Fachartikel veröffentlicht wurden.

- Aus dem Textkorpus habe ich softwaregestützt nach und nach die verschiedenen Fachwörter extrahiert.
- Dann habe ich untersucht, welche Fachwörter im Textkorpus synonym verwendet werden (z. B. *Tiefenlinie*, *bathymetrische Konturlinie*, *Isolinie*).
- Als nächstes habe ich nach Homonymen gesucht, also nach Fachwörtern, die mehrere Bedeutungen haben (z. B. *Untiefe*, was zum einen eine seichte Stelle im Gewässer meint, zum anderen eine besonders tiefe Stelle).
- Damit es in der Kommunikation nicht zu Missverständnissen kommt, weil ein und derselbe Begriff mit unterschiedlichen Fachwörtern bezeichnet wird, ist es sinnvoll, sich über die Verwendung der Fachwörter Gedanken zu machen. Auf Basis von linguistischen Kriterien habe ich abgewogen, welche Fachwörter bevorzugt verwendet werden sollten und welche Synonyme besser nicht (lieber *Tiefenlinie* als *bathymetrische Konturlinie*).
- Sodann habe ich ermittelt, wie häufig jedes Fachwort im Textkorpus vorkommt (*Tiefenlinie* kommt 40-mal vor, *bathymetrische Konturlinie* nur einmal). Die Häufigkeit sagt etwas über die Relevanz und Gebräuchlichkeit der Fachwörter aus. Ich unterscheide fünf Häufigkeitsklassen (bis zu zehn Fundstellen, bis 25, bis 50, bis 100, über 100).
- Ein weiterer Schritt besteht darin, festzustellen, welche Fachwörter exklusiv zur Hydrographie gehören und welche eher aus anderen Bereichen kommen. Ich unterscheide zwischen intrafachlichen, interfachlichen und extrafachlichen Fachwörtern. Intrafachliche Fachwörter entstammen der Fachsprache der Hydrographie und werden überwiegend in fachinterner Kommunikation verwendet. Interfachliche Fachwörter stammen aus anderen Fachsprachen, z. B. der Ozeanographie oder der Kartographie, und werden in interdisziplinärer Kommunikation verwendet. Extrafachliche Fachwörter haben ihren Ursprung in den Fachsprachen der grundlegenden Wissenschaftsbereiche, z. B. Geographie, Physik, Mathematik.
- Hilfreich ist der Blick in vorhandene Nachschlagewerke – Wörterbücher, Lexika, Normen, Glossare –, z. B. in die DIN 18709-3 oder in das Hydrographic Dictionary (S-32), um erste Definitionen und fremdsprachige Äquivalente zusammenzutragen.
- Der entscheidende Schritt besteht darin, Begriffssysteme zu erstellen, um optisch aufzuzeigen, wie die einzelnen Begriffe zusammenhängen (z. B. lassen sich sowohl Tiefenlinien in Gewässern als auch Höhenlinien an Land dem allgemeineren Oberbegriff der Isolinien zuordnen).

- Sobald aus einem Begriffssystem die Ordnung der Begriffe hervorgeht, lassen sich für alle wesentlichen Begriffe Definitionen verfassen. Definitionen zeigen die Beziehung zu anderen Begriffen mit sprachlichen Mitteln auf (so lässt sich die Tiefenlinie definieren als „Isolinie, die Punkte verbindet, die auf gleicher Tiefe unter einer Bezugsfläche liegen“).
- Sobald die Definitionen feststehen, steht die Suche nach den englischen Äquivalenten an (*Tiefenlinie* lässt sich übersetzen mit *depth contour*, *depth curve*, *bathymetric contour*, *isobath* etc.). Die Äquivalente müssen mit Fachleuten abgestimmt werden, deren Muttersprache Englisch ist. Außerdem muss festgelegt werden, welches englische Äquivalent bevorzugt verwendet werden sollte.
- Im letzten Schritt geht es dann darum, den Fachwortschatz online in einer Terminologiedatenbank öffentlich verfügbar zu machen. In der Terminologiedatenbank sind alle Informationen zu einem Begriff auf einen Blick erkennbar (Abb. 1). Zu diesen Informationen gehören mindestens die Definition, sämtliche Synonyme und Äquivalente sowie die Angabe, welches Fachwort im Deutschen und im Englischen bevorzugt verwendet werden sollte.

The screenshot shows the ZINDEL Terminologiedatenbank interface. At the top, there is a navigation bar with the ZINDEL logo, a search input field containing 'Tiefenlinie', and a language dropdown set to 'de-DE'. Below the search bar, there is a button labeled 'Suchergebnisse' (Search results) and a 'Kopieren' (Copy) button. The main content area displays the search results for 'Tiefenlinie' in German ('de-DE'). The results include:

- DEFINITION:** Isolinie, die Punkte verbindet, die auf gleicher Tiefe unter einer Bezugsfläche liegen.
- WORTSCHATZGRUPPE:** intrafachlich
- VERWENDUNG:** bevorzugt
- AKTUALITÄT:** aktuell
- HÄUFIGKEIT:** +++
- ABSOLUTE HÄUFIGKEIT:** 40/10
- KONTEXT:** In der Ausgangskarte hob sich jede zehnte Tiefenlinie von den anderen Linien ab, weil sie dicker dargestellt wurde und in einem dunkleren Blau gehalten war.
- QUELLE:** HN081, DIN 18709-3
- de-DE:** Depth contour | Höhenkontur | Höhenlinie | Höhenlinie im Gewässer | Höhenlinie unter Wasser | Isobathe | Isolinie | Konturlinie | Tiefenkontur | Tiefenkurve | Unterwasserhöhenlinie | bathymetrische Konturlinie
- en-US:** depth contour | bathymetric contour | contour | contour-line | depth-contour line | depth-curve | elevation-contour | fathom-curve | fathom-line | height-contour | isobath | submerged-contour

Abb. 1: Web-Oberfläche der Terminologiedatenbank mit Definition, bevorzugtem Fachwort, verbotenen Synonymen und Äquivalenten

Erste Antworten

Nach den bisher erledigten Arbeitsschritten lässt sich ungefähr abschätzen, wie umfangreich der Fachwortschatz der Hydrographie ist. Im bisherigen Textkorpus konnte ich rund 5900 verschiedene Fachwörter identifizieren. Mit jeder Erweiterung des Textkorpus kommen jedoch noch neue Fachwörter hinzu, wenn auch nicht so viele wie am Anfang.

Aus Nachschlagewerken und anderen Quellen, z. B. Websites, konnte ich etwa 700 weitere Fachwörter ergänzen. Dabei handelt es sich um Synonyme zu bereits extrahierten Fachwörtern. Insgesamt summiert sich die Anzahl der bisher zusammengetragenen Fachwörter auf 6600 (Abb. 2a).

Diese 6600 Fachwörter stehen für etwa 4500 Begriffe. Es gibt also zahlreiche Synonyme. Insgesamt konnte ich fast 3300 Synonyme erkennen, die für 1200 Begriffe stehen. Für die meisten Begriffe sind nur zwei oder drei Synonyme bekannt, für einige wenige aber deutlich mehr.

Von den 5900 aus dem Textkorpus extrahierten Fachwörtern kommen mehr als 5100 nur ein- bis maximal zehnmal im Textkorpus vor; sie spielen also eine nachrangige Rolle (Abb. 2b). Ganze 3500 Fachwörter kommen sogar nur in einer einzigen Quelle des Textkorpus vor. Davon kommen etwa 2350 Fachwörter nur ein einziges Mal vor. Diese Fachwörter sind offenbar nicht sehr verbreitet.

Es ist absehbar, dass sich von den rund 6600 Fachwörtern etwa 1000 bis 1200 exklusiv der Hydrographie zuordnen lassen; diese intrafachlichen Fachwörter gibt es nur, weil es die Hydrographie gibt. Sehr viele von diesen intrafachlichen Fachwörtern kommen im Textkorpus jedoch nur sehr selten vor, meist handelt es sich um spontan gebildete zusammengesetzte Substantive (z. B. *Fächercholodatenauswertung*). Nur für etwa 300 Fachwörter gibt es mehr als zehn Fundstellen (Abb. 2c). Diese 300 Fachwörter sollte jeder Hydrograph kennen.

Doch Hydrographen müssen auch interfachliche und extrafachliche Fachwörter kennen, um sich untereinander und über Disziplingrenzen hinweg verständigen zu können. Zusammengenommen konnte ich etwa 500 interfachliche und extrafachliche Fachwörter identifizieren, die nennenswert oft im Textkorpus vorkommen.

Unter diesen insgesamt 300 intrafachlichen und 500 interfachlichen sowie extrafachlichen Fachwörtern gibt es auch Synonyme. Die zusammengerechnet 800 Fachwörter stehen für ungefähr 500 bis 600 zentrale Begriffe der Hydrographie. Diese Begriffe sollte jeder Hydrograph in seiner Ausbildung kennenlernen.

Folglich sollten diese zentralen Begriffe in einem Nachschlagewerk verzeichnet sein – mitsamt Definition, Synonymen und englischen Äquivalenten. Es gibt jedoch kein Nachschlagewerk, das diese zentralen 500 bis 600 Begriffe verzeichnet.

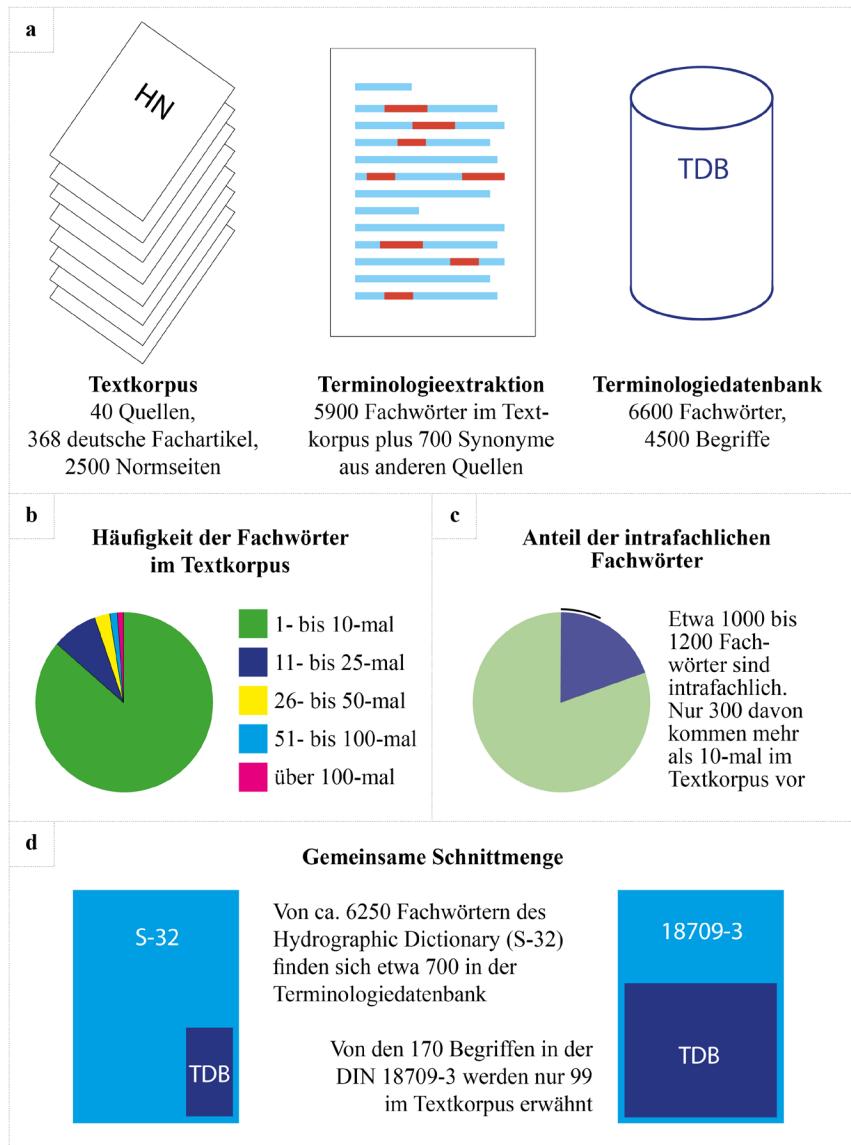


Abb. 2: Veranschaulichung ausgewählter Erkenntnisse

Nicht einmal das mit rund 6250 Einträgen durchaus umfangreiche Hydrographic Dictionary (S-32) kennt die Gesamtheit der Begriffe. Die gemeinsame Schnittmenge zwischen den rund 6250 Einträgen und den rund 6600 Fachwörtern aus dem Textkorpus liegt bei gerade einmal 700 Fachwörtern ([Abb. 2d](#)).

In der DIN 18709-3 sind 170 Begriffe definiert. Von diesen 170 Begriffen kommen lediglich 99 im Textkorpus vor ([Abb. 2d](#)). Die anderen 71 spielen für die Fachkommunikation womöglich keine Rolle. Andere wichtige Einträge hingegen fehlen.

Einerseits sind längst nicht alle Fachwörter in den vorhandenen Nachschlagewerken verzeichnet, schon gar nicht in nur einem Nachschlagewerk. Andererseits stehen aber auch viele Fachwörter in den Nachschlagewerken, die keinen wirklichen Bezug zur Hydrographie haben oder die längst veraltet sind.

Dies zeigt, wie geboten es ist, den Fachwortschatz systematisch zu erschließen und in einer Terminologiedatenbank festzuhalten – mit dem Ziel, das Wissen der Hydrographie zugänglich zu machen und die Fachkommunikation zu verbessern.

Kontakt

Lars Schiller

ZINDEL AG – Technische Dokumentation und Multimedia

Tangstedter Landstraße 83, 22415 Hamburg

lars.schiller@zindel.de | lars.schiller@dhyg.de

Session 2: Datenerfassung

Wo geht's lang im Dunkeln? Positionierung und Navigation unter Wasser am Beispiel eines AUV

Niklas-Maximilian Schild

1 Einleitung

Die Anwendungsbereiche und Einsatzmöglichkeiten eines autonomen Unterwasserfahrzeugs (AUV) wachsen infolge der fortschreitenden technologischen Entwicklung enorm. So werden AUVs unter anderem für geophysikalische Untersuchungen des Meeresbodens (Sture et al. 2018, Linke und Lackschewitz 2016), ozeanografische Erhebungen der Wassersäule (Brignone und Opderbecke 2017) sowie zur Inspektion von Tiefsee-Infrastrukturen (Fernande et al. 2015) eingesetzt.

Abhängig von der Anwendung werden dabei unterschiedliche Sensoren innerhalb eines AUV benötigt. In jedem Fall ist jedoch eine zuverlässige Sensorik für die Positionierung und Navigation eines AUV unverzichtbar und von essentieller Bedeutung. Dies hat zwei zentrale Gründe: Zum einen, um die aufgezeichneten Beobachtungen der anderen Sensoren georeferenzieren zu können, und zum anderen, damit das AUV nach Ende seiner Messkampagne zu einem bekannten Sammelpunkt zurücknavigieren oder anhand seiner ausgesendeten Position wiedergefunden werden kann.

Anders als über der Wasseroberfläche kann die Ortung in der Tiefsee nicht durch das globale Satellitennavigationssystem (GNSS) erfolgen, weil das GNSS-Signal unter Wasser zu schwach ist (Niedzwiedz und Schories 2020). Stattdessen werden Inertialnavigationssysteme (INS), akustische Unterwasser-Positionierungssysteme oder auch Verfahren bei denen Umgebungsinformationen genutzt werden für die AUV-Lokalisierung eingesetzt (Paul et al. 2014).

Der folgende Beitrag gibt einen allgemeinen Überblick über die in Abb. 1 aufgeführten Ansätze und beschreibt, welche Sensoren jeweils verwendet werden um eine integrierte Navigationslösung zu erhalten.

2 Möglichkeiten zur Positionierung und Navigation unter Wasser

Bei einem INS beobachtet eine Inertiale Messeinheit (engl.: inertial measurement unit, IMU), die optimal im Schwerpunkt eines AUVs eingebaut ist, die Beschleunigung und Winkelgeschwindigkeit in Richtung der drei Raumachsen. Die erfassten Messelemente werden dabei durch systematische Effekte nachteilig beeinflusst. Entscheidende Faktoren sind beispielsweise: Die Wirkung der Gravitation, Temperaturschwankungen oder Coriolisbeschleunigungen. Ein Großteil der systematischen Einflüsse kann durch eine geeignete Kalibrierung weitgehend bestimmt werden, so dass die resultierenden Messwerte durch entsprechende Korrekturen berichtigt werden können (Gelze 2015).

Bei einer anschließenden Integration der korrigierten Messwerte ergeben sich die Translationen und Rotationen eines AUV in Bezug auf die drei Raumachsen. Diese werden daraufhin auf eine zuvor bekannte Position und Ausrichtung angebracht und so wird die aktuelle Position und Orientierung in einem globalen System bestimmt.

Allerdings werden durch die ständige Integration der Messwerte auch Unsicherheiten integriert und mit zunehmender Zeit pflanzen diese sich immer weiter fort, wodurch die ermittelte Position und Orientierung immer ungenauer werden. Dieser Effekt wird als Drift bezeichnet und sollte durch Unterstützung des INS durch weitere Methoden oder Sensoren reduziert werden. Dazu eignet sich beispielsweise ein Doppler-Geschwindigkeitsmesser (engl.: Doppler Velocity Log, DVL) oder ein Drucksensor. Mit Hilfe eines DVL werden Geschwindigkeiten ermittelt (Snyder 2010) und mit einem Drucksensor lässt sich die Höhe ableiten. Bei Verwendung verschiedener Sensoren können die erfassten Daten mit Hilfe eines Kalman-Filters kombiniert werden.

Ein weiterer Navigationsansatz für die Unterwasserortung ist der Einsatz von akustischen Unterwasserpositionierungssystemen. Diese Systeme verwenden Sensoren, die als aktive akustische Festpunkte verstanden werden können, und Sensoren, die am zu verortenden Fahrzeug angebracht sind. Der Abstand zwischen den akustischen Festpunkten wird in der Regel zur Definition des akustischen Ortungssystems verwendet. Auf diese Weise werden drei Haupttypen definiert: LBL (Long Baseline), SBL (Short Baseline) und USBL (Ultra Short Baseline).

Beim LBL werden aktive Sensorelemente an bekannten Positionen auf dem Meeresboden in größerer Distanz platziert. Empfängt der Sensor des Fahrzeugs das Signal von einem akustischen Festpunkt, kann die Entfernung über die Signallaufzeit berechnet werden. Werden Signale von mindestens drei verschiedenen akustischen Festpunkten gleichzeitig empfangen, lässt sich die relative Position des AUV zu den Festpunkten bestimmen. Abschließend wird durch die

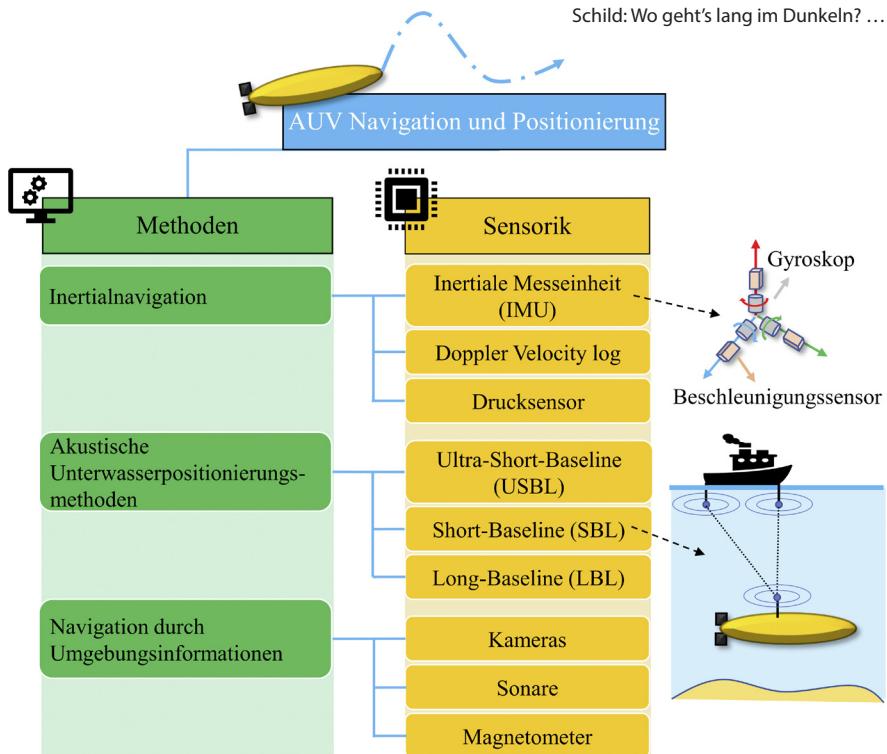


Abb. 1: Möglichkeiten zur Positionierung und Navigation eines autonomen Unterwasserfahrzeugs

bekannten Koordinaten der Festpunkte die globale Position des AUV berechnet (Otero et al. 2022).

Im Gegensatz zu LBL erfordern SBL und USBL keine speziell errichtete Infrastruktur. Hier wird ein Begleitschiff eingesetzt, wodurch diese Verfahren flexibel angewendet werden können. Die akustischen Festpunkte werden bei beiden Ansätzen am Schiffsrumph installiert. Mit dem Unterschied, dass diese bei SBL an den gegenüberliegenden Enden des Rumpfes angebracht sind, während sie bei USBL dicht beieinander an der selben Sensoreinheit liegen. Die Positionierung mit SBL erfolgt analog zur Positionierung mit LBL. Bei USBL hingegen ergibt sich die relative Position aus der Bestimmung der Entfernung und der Richtung zum AUV. Die Entfernung wird anhand der Signallaufzeit ermittelt und die Richtung wird durch die Erfassung der Phasendifferenz des Antwortsignals berechnet (Vickery 1998). Die globale Referenz für USBL und SBL wird in der Regel über das schiffsgestützte GNSS hergestellt.

Mit LBL und SBL lassen sich höhere Positionierungsgenauigkeiten erzielen als mit USBL. USBL bietet dafür den Vorteil, dass die akustischen Kontroll-

punkte kompakter beieinander sind und daher kein großes Schiff und auch keine speziell angelegte Infrastruktur erforderlich ist.

Die Lokalisierung eines AUV kann außerdem anhand von Umgebungsinformationen erfolgen. Voraussetzung dafür sind Sensoren im AUV, die ihre Umgebung beobachten und mit deren Daten Merkmale sowohl identifiziert als auch klassifiziert werden können. Werden diese Geländebeobachtungen mit externen Umgebungsinformationen, wie zum Beispiel Geländemodellen, korreliert, kann die Position des AUV berechnet werden (Carreño et al. 2010).

Stehen keine externen Umgebungspositionen als Referenz zur Verfügung, kann die Positionierung des AUV auch mit Hilfe des SLAM-Verfahrens (Simultane Lokalisierung und Kartierung) erfolgen. Bei diesem Ansatz wird anhand der aufgezeichneten Sensordaten eine Karte der Umgebung des AUV in Echtzeit erstellt und gleichzeitig seine Position innerhalb dieser Karte geschätzt (Ribas et al. 2010).

3 Zusammenfassung

Ein Großteil der Tiefsee ist noch unerforscht. Durch die rasante Entwicklung von AUVs gibt es immer bessere Möglichkeiten, das Unbekannte zu erforschen. Aber wo geht's lang „im Dunkeln“?

Ein vielversprechender und häufig genutzter Ansatz zur Positionierung und Navigation unter Wasser ist die Inertialnavigation. Diese Methode benötigt keine externen Sensoren und ist nicht von einer markanten Umgebung abhängig, dafür driften die Ungenauigkeiten innerhalb kürzester Zeit ins Unermessliche. Daher sollte diese Methode durch andere Techniken unterstützt werden.

Hierfür eignen sich akustische Unterwasserortungssysteme. Hierbei wird zwischen LBL, SBL und USBL unterschieden. Mit LBL kann die Position mit hoher Genauigkeit bestimmt werden, erfordert aber eine speziell aufgebaute Infrastruktur. Durch SBL kann ebenfalls eine hohe Positionierungsgenauigkeit erreicht werden, wenn ein großes Begleitschiff eingesetzt wird und die akustischen Festpunkte in großer Distanz voneinander platziert sind. Bei USBL reicht ein kleines Begleitschiff aus, aber dafür lässt sich die Position nicht mit höchster Genauigkeit ermitteln.

Wenn das Fahrzeug ohne Begleitschiff in unbekannten Gebieten eingesetzt wird, ist die Positionierung anhand von Umgebungsinformationen ebenfalls möglich. Dies erfordert besondere Merkmale der Umgebung, welche in der Tiefsee nicht immer vorhanden sind.

Die besten Ortungsergebnisse werden erzielt, wenn verschiedene Methoden und Sensoren eingesetzt und die aufgenommenen Daten kombiniert werden.

Literatur

- Brignone, L., Opderbecke, J. (2017): CORAL: The new deepwater AUV program by IFREMER. OCEANS 2017 – Aberdeen. DOI: [10.1109/OCEANSE.2017.8084640](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8084640). <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8084640>, letzter Zugriff 03/2022.
- Carreño, S., Wilson, P., Ridao, P., Petillot, Y. (2010): A survey on Terrain Based Navigation for AUVs. OCEANS 2010 – Seattle. DOI: [10.1109/OCEANS.2010.5664372](https://ieeexplore.ieee.org/document/5664372). <https://ieeexplore.ieee.org/document/5664372>, letzter Zugriff 03/2022.
- Fernandes, V., Neto, A., Rodrigues, D. (2015): Pipeline inspection with AUV. OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics). DOI: [10.1109/RIO Acoustics.2015.7473607](https://ieeexplore.ieee.org/document/7473607). <https://ieeexplore.ieee.org/document/7473607>, letzter Zugriff 03/2022.
- Gelze, J. (2015): Entwicklung eines MEMS-basierten integrierten Navigationssystems für den Einsatz in einem druckneutralen, tiefseetauglichen AUV. Dissertation an der TU Berlin.
- Linke, P., Lackschewitz, K. (2016): Autonomous Underwater Vehicle „ABYSS“. In: Journal of large-scale research facilities JLSRF. GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung. DOI: [10.17815/jlsrf-2-149](https://jlsrf-2-149), letzter Zugriff 03/2022.
- Niedzwiedz, G., Schories, D. (2020): Georeferenzierung von Unterwasserdaten: Iststand und Perspektiven. In: Rostocker Meeresbiologische Beiträge 2020.
- Otero, P., Hernández-Romero, Á., Luque-Nieto, M.-A. (2022): LBL System for Underwater Acoustic Positioning: Concept and Equations. DOI: [10.48550/ARXIV.2204.08255](https://arxiv.org/abs/2204.08255).
- Paull, L., Saeedi, S., Seto, M., Li, H. (2014): AUV Navigation and Localization: A Review. In: IEEE Journal of Oceanic Engineering. DOI: [10.1109/JOE.2013.2278891](https://ieeexplore.ieee.org/document/6678293). <https://ieeexplore.ieee.org/document/6678293>, letzter Zugriff 03/2022.
- Ribas, D., Ridao, D., Neira, J. (2010): Underwater SLAM for Structured Environments Using an Imaging Sonar. In: Springer Tracts in Advanced Robotics 65. ISBN: 3642140394.
- Snyder, J. (2010): Doppler Velocity Log (DVL) navigation for observation-class ROVs. OCEANS 2010 – Seattle. DOI: [10.1109/OCEANS.2010.5664561](https://ieeexplore.ieee.org/document/5664561). <https://ieeexplore.ieee.org/document/5664561>, letzter Zugriff 03/2022.
- Sture, Ø., Fossum, T., Ludvigsen, M., Wiig, M. (2018): Autonomous Optical Survey Based on Unsupervised Segmentation of Acoustic Backscatter. OCEANS – MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO). DOI: [10.1109/OCEANSKOBE.2018.8559211](https://ieeexplore.ieee.org/document/8559211). <https://ieeexplore.ieee.org/document/8559211>, letzter Zugriff 03/2022.
- Vickery, K. (1998): Acoustic positioning systems. A practical overview of current systems. In: Proceedings of the 1998 Workshop on Autonomous Underwater Vehicles. DOI: [10.1109/AUV.1998.744434](https://ieeexplore.ieee.org/document/744434). <https://ieeexplore.ieee.org/document/744434>, letzter Zugriff 04/2022.

Kontakt

M. Sc. Niklas-Maximilian Schild
HafenCity Universität Hamburg
Henning-Voscherau-Platz 1, 20457 Hamburg
niklas-maximilian.schild@hcu-hamburg.de

USVs – Innovative Technologie im täglichen Einsatz für die Hydrographie

Thomas Thies | Olaf Lautenschläger

1 Einleitung

Innerhalb der Hydrographie existieren bereits viele Anwendungszwecke für autonome/automatisierte Oberflächenfahrzeuge zur Gewässervermessung. Im ersten Schritt können diese Systeme die herkömmlichen Peilarbeiten der Vermessungsschiffe unterstützen und ergänzen. Zusätzlich kann die Nutzung von USVs (Unmanned Surface Vehicle) bei Lagebeurteilungen von Stör- und Schadensfällen sinnvoll sein, um eine potenzielle Gefährdung der Besatzung eines herkömmlichen Schiffes zu vermeiden.

Zukünftig spielen aber sicher auch Gründe zur Effizienzsteigerung durch automatisierte/autonome Messplattformen bei 24/7-Einsätzen für zum Beispiel eine kontinuierliche Dauerüberwachung von bestimmten, kleinräumigen Gebieten oder bei kurzfristigen „survey on demand“-Anwendungen für Kunden der hydrographischen Dienstleistungen eine Rolle.

Auch wenn die Einsparung von Schiffspersonal beim Einsatz solcher Systeme nicht zwingend im Fokus steht, werden sich die Aufgaben und Einsatzbereiche des Schiffspersonals und ganze Berufszweige durch den technischen Wandel mit dem Einsatz von unbemannten Schiffen verändern.

Teilweise schon jetzt, wie am Beispiel des Hamburger Hafen aufgezeigt wird, aber spätestens in den nächsten Jahren werden USV-Systeme als Zusatzwerkzeuge die Standardpeilungen übernehmen können. Das Fachpersonal kann sich somit auf hydrographische Spezialaufgaben konzentrieren. Die neuen Systeme müssen aber auch mittelfristig weiterhin von nautischem Fachpersonal überwacht und geleitet werden.

In einiger Zukunft ist es dann sicherlich auch möglich KI-Systeme an Bord und in Leitzentralen einzusetzen, die das Maß des menschlichen Eingreifens minimieren und somit bestimmte Berufsgruppen ersetzen, so dass sich die gesellschaftlich-ethischen Rahmenbedingungen in näherer Zukunft an den neuen Technologien orientieren müssen.

2 Technische Umsetzung

Kongsberg Maritime beschäftigt sich seit langem mit USVs und AUVs. Neben dem *HUGIN* als Unterwasserfahrzeug und dem *Sounder* als USV ist in diesen Zusammenhang mit der Autonomie die *Yara Birkeland* ein Begriff. Das Büro in Deutschland hat sich mit „kleineren“ USVs und deren Systemintegration auseinandergesetzt, die speziell auf Seen, Flüssen und Häfen ihren Einsatz finden.

Im Bereich der USVs unterscheiden wir Fahrzeuge nach ihrem jeweiligen Einsatzgebiet und Handhabung. Diese werden in den folgenden Abschnitten einzeln betrachtet.

2.1 Fahrzeuge bis ca. 1 m

Kleinfahrzeuge, die von einer Person ins Wasser gebracht und sicher betrieben werden können. Einsatzgebiet ist in der Regel das abgeschlossene Gewässer mit geringer Strömung und Wellengang. Der Einsatz auf Fließgewässern ist jedoch möglich. Aufgrund der geringen Größe und Gewichts ist die Handhabung mit einer Person möglich; die Messtechnik, die auf diese Fahrzeuge gebracht wird, ist aufgrund der „kleinen“ Payload beschränkt. In der Regel werden diese USVs für Messungen mit Einstrahlecholoten oder Strömungsmessern (ADCP) und Wasserprobenentnahmen eingesetzt. Neben der Bootsteuerung und der Funktelemetrie ist in der Regel keine weitere Messtechnik oder Sicherheitssystem verbaut.

2.2 Fahrzeuge im Bereich von 1,5 m bis 2,5 m

Fahrzeuge in dieser Größenordnung können von zwei Personen ohne Hilfsmittel zu Wasser gelassen werden. Katamarane werden am Ufer zusammengebaut und zu Wasser gebracht. Der Einsatzbereich ist im Binnenbereich sowie in ruhigen küstennahen Gewässern. Im Gegensatz zu den vorherbeschrieben USVs können diese Fahrzeuge mit komplexerer Messtechnik wie einem Fächerecholot, Sidescan und einer Winde für eine SVP, inklusive sonstiger Peripherie, ausgestattet werden. Neben der Messtechnik und der Elektronik für die Steuerung des Bootes sind auch sicherheitsrelevante Instrumente wie Wassersensoren zu Erkennung von Wassereinbruch, ein Horn, Navigationslichter, AIS, Kameras, Anti-Kollisions-Systeme usw. verbaut. Die Messdaten werden auf einem PC, der sich auf dem USV befindet, gespeichert und das Fahrzeug kann unabhängig von der Landstation operieren.

2.3 Fahrzeuge im Bereich bis 5 m

Diese Fahrzeuge können im Küsten- und Offshore-Bereich sowie Seehäfen eingesetzt werden. Das USV kann mit vollwertiger Messtechnik wie auf einem „normalen“ Vermessungsschiff betrieben werden. Die Versorgung erfolgt nicht mehr rein elektrisch wie bei den kleineren Fahrzeugen und damit ist auch der Einsatzzeitraum nicht mehr abhängig von den eingesetzten Batterien. Die Maschinenüberwachung sowie Wartung sind komplexer und kostenintensiver. Die Kommunikation und Überwachung des USV erfolgt nicht mehr nur über ein Extended WIFI/4G/5G sondern über MBR (Maritime Broadband Radio), VSAT.

2.4 Fahrzeuge > 7,5 m

Der Einsatzbereich dieser USVs befindet sich ebenfalls im Küsten- und Offshore-Bereich. Der wesentliche Unterschied zu den USVs der Größe bis 5 m liegt in der Größe der Payload sowie Seegangsfähigkeit und der Dauer der Einsatzfähigkeit.

Die Kongsberg Maritime Germany GmbH hat in Zusammenarbeit mit der HPA (Hamburg Port Authority) ein USV-Konzept entwickelt, das nunmehr seit über zwei Jahren im Einsatz bei der HPA ist. Die *Echo.1* erweitert die Einheit



Abb. 1: Echo.1 im Messeinsatz im Hamburger Hafen

Hydrographie der HPA bei den vielfältigen Aufgabenstellungen, wobei es zunächst für die Vermessung flacher und schwer zugänglicher Bereiche eingesetzt wurde (Abb. 1). Die Herausforderung bei dem nur 1,6 m langen USV bestand darin, den messtechnischen sowie sicherheitsbedingten Anforderungen unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Payload und Batteriekapazität gerecht zu werden.

3 USV Einsatzbereich Hamburger Hafen

Da sich die räumlichen und nautischen Gegebenheiten in Häfen sehr stark von den Binnen- und Offshore-Gebieten unterscheiden, bestehen für den Einsatz von unbemannten Wasseroberflächenfahrzeugen in Hamburg spezielle Anforderungen in Bezug auf Systemzuverlässigkeit, Störunempfindlichkeit sowie Kollisionsverhütung.

Neben den herausfordernden nautischen Bedingungen im Tidehafen Hamburg besitzt dieses urbane Umfeld auch viele Vorteile zum Einsatz von USV-Systemen. Zum Beispiel ist durch die flächendeckende Verfügbarkeit des Mobilfunknetzes und damit auch des Internets eine permanente Kommunikation und damit der Zugriff und die Steuerung der Systeme auch außerhalb der Sichtweite möglich. Zudem ist die Ortung und Positionierung der Systeme weniger komplex und fehleranfällig als bei Unterwassersystemen. Nicht zuletzt führt die Sichtbarkeit des USVs und seines manövriertechnischen Verhaltens zur Toleranz und Akzeptanz sowie Vertrauen bei der Hafenwirtschaft.

Das Messsystem *Echo.1* ist mit kompakten Hochleistungssensoren ausgestattet, welche gemäß der HPA-internen Qualitätsanforderungen eine flächenhafte Vermessung von sehr flachen bis zu binnenschiffstiefen Hafenbereichen ermöglichen und damit die Peilschiffe in den flacheren und schwer zugänglichen Hafenbereichen unterstützen. Gerade durch seine geringe Größe und hohe Manövrierfähigkeit zeichnet sich dieses System als mobile und transportable Vermessungslösung aus.

Aufgrund der Payload-Beschränkungen dieses USV und der damit verbundenen kompakteren Messtechnik ist die Messgenauigkeit und Leistungsfähigkeit gegenüber einem klassischen Messschiff reduziert, erfüllt dennoch die hydrographischen Standards. Dieser Unterschied wirkt sich gerade in größeren Wassertiefen aus, so dass die *Echo.1* sicherlich keine Konkurrenz, sondern vielmehr eine sinnvolle Erweiterung zu den Vermessungsschiffen darstellt.

Trotz seiner geringen Größe ist die *Echo.1* auch für weitere Anwendungen im Hamburger Hafen geeignet und kann modular mit Zusatz- oder Austausch-Sensorik wie zum Beispiel einem ADCP ausgestattet werden. Auch verschiedene Einstrahl- oder Sedimentecholote für zukünftige Anwendungen im Rahmen

der Nautischen Tiefe sind möglich. Weiterhin kann dieses Fahrzeug zum Sammeln von Oberflächenwasserproben und zum Messen von Emissionen eingesetzt werden.

Neben dem Einsatz der *Echo.1* in der operativen Wassertiefeninstandhaltung als Zusatzwerkzeug bei der Gewässervermessung sieht die Hydrographie der HPA aktuell auch viele Verknüpfungspunkte mit bereits laufenden oder in Planung befindlichen Digitalisierungsprojekten innerhalb des Hafens.

Zusätzlich zu den technischen Voraussetzungen waren vor allem die nautischen Rahmenbedingungen bzw. die schifffahrtspolizeiliche Genehmigung die Grundlage für einen Einsatz von *Echo.1* im Hafengebiet.

Da das Hamburger Oberhafenamt von Anfang an in diesem Projekt eingebunden war, konnten die Mindestanforderungen und Startgebiete für die Pilotphase I zeitnah definiert und verabschiedet werden.

Eine Auflage der Nautik ist zum Beispiel die Erstellung der obligatorischen Risikobetrachtung, welche alle realistischen Risiken beim Einsatz des unbemannten Fahrzeugs abdecken muss.

Die Gebiete der ersten Pilotphase umfassten nur Hafenbereiche mit minimalem Schiffsverkehr. Nach vielen Messungen im Jahr 2020 und den durchaus guten Erfahrungen mit dem System wurde zum Start der zweiten Pilotphase im November 2020 die neue Sammelgenehmigung erteilt. Diese ermöglicht den Einsatz von *Echo.1* in allen binnenschiffstiefen Bereichen des Hamburger Hafens. Zudem entfällt für viele Gebiete die Verpflichtung eines Begleit- bzw. Sicherungsschiffes, was die Effizienz der Einsätze erhöht.

Mit dem gemeinsamen Kongsberg/HPA-USV-Konzept wurde nun der Grundstein für den effizienten Einsatz von USV-Technik im Hamburger Hafen gelegt. Eine Erweiterung der USVs und deren Aufgabenbereiche führt zwangsläufig zur Effizienzsteigerung bei den hydrographischen Messaufgaben und verringert zukünftig den CO₂-Fußabdruck bei Messeinsätzen. Herausforderungen bei der Payload werden durch eine Auswahl von verschieden großen und für die jeweiligen Messeinsätze konfigurierten USVs gelöst.

Kontakt

Thomas Thies
Hamburg Port Authority AöR
Neuer Wandrahm 4, 20457 Hamburg
thomas.thies@hpa.hamburg.de

Olaf Lautenschläger
Kongsberg Maritime Germany GmbH
Sorthmannweg 21, 22529 Hamburg
olaf.lautenschlager@km.kongsberg.com

Quantitative Bildsequenzanalyse im Umweltmonitoring

Hans-Gerd Maas

Bildgebende Verfahren aus Photogrammetrie und Fernerkundung stellen etablierte Werkzeuge für das Monitoring von Umweltprozessen unterschiedlicher Zeitskalen auf lokalen, regionalen und globalen räumlichen Skalen dar. Die räumliche Natur von Bildern qualifiziert sie unmittelbar für spatio-temporale Analysen, durch Stereoverfahren werden dreidimensionale quantitative Messungen möglich, und durch die Verwendung multispektraler Kameras können vielfältige Attribute bestimmt werden. Die Anwendung von Verfahren der Bildanalyse erlaubt eine weitgehende Automatisierung von Messaufgaben, und die konsequente Anwendung von Verfahren der geometrischen und stochastischen Modellierung ermöglicht zusammen mit Verfahren der Selbstkalibrierung ein hohes Genauigkeitspotenzial (Luhmann et al. 2016).

Neben luftgestützten Systemen auf Flugzeugen oder UAVs kommen in der Photogrammetrie zunehmend auch statische oder bewegte terrestrische bildgebende Sensoren als Einzelsysteme oder als Teil eines Geosensornetzwerkes zum Einsatz. Insbesondere statische Systeme erlauben dabei eine fast beliebig hohe zeitliche Auflösung bei der Analyse von Umweltprozessen. Der Beitrag stellt exemplarisch zwei Anwendungsbeispiele photogrammetrischer Verfahren der quantitativen Bildsequenzanalyse im Umweltmonitoring vor.

- Glacier Lake Outburst Floods (GLOFs) stellen angesichts des Rückgangs von Gletschern in vielen Gebieten der Welt ein Umweltrisiko mit einem stark zunehmenden Gefahrenpotenzial dar (siehe Abb. 1). GLOFs können entstehen, wenn durch Gletscher aufgestaute Seen sich einen Weg unter dem Gletscher hindurch bahnen. Diese Seen entleeren sich dadurch in kurzer Zeit und führen zu Flutwellen und Überschwemmungen in größeren Gebieten talabwärts.

© R. Koschitzki, TU Dresden



Abb. 1: Gletscherrandsee im nördlichen patagonischen Eisfeld

Die Verwendung außerhalb des Gefährdungsbereichs aufgestellten terrestrischen Kameras erlaubt hier die Bestimmung von Wasserspiegel- und Volumenänderungen in Gletscherrandseen mit hoher zeitlicher Auflösung und hoher Genauigkeit. Durch die automatische Detektion der Wasserspiegellinie und die Projektion eines digitalen Geländemodells ins Bild der Kamera ergibt sich ein virtueller Pegel mit einer Genauigkeit im Bereich von wenigen Zentimetern (Mulsow et al. 2015). Das Konzept eignet sich auch zur Verdichtung aufwendiger und teurer konventioneller Pegelnetze an Flüssen.

- Monoskopische terrestrische Bildsequenzen stellen ein flexibles Werkzeug zur räumlich-zeitlich aufgelösten Analyse des Bewegungsverhaltens von Gletschern dar (Maas et al. 2013, Schwalbe und Maas 2017). In den Bildsequenzen werden durch Verfahren der automatischen Merkmalsverfolgung Punkte an der Gletscheroberfläche über längere Zeit verfolgt. Die so bestimmten 2D-Trajektorien stellen eine Grundlage für Untersuchungen zum Bewegungsverhalten eines Gletschers dar. Am Jacobshavn Isbræ in West-Grönland (siehe Abb. 2) wurde dadurch eine Zunahme der Geschwindigkeit des Gletschers von 20 Meter pro Tag im 20. Jahrhundert auf nunmehr 40 Meter pro Tag bestimmt. Außerdem konnte eine Gezeitenabhängigkeit der Gletscherbewegung im vorderen Teil der Gletscherzunge nachgewiesen werden. Aus dieser Gezeitenabhängigkeit können Rückschlüsse über die Lokalisierung der Aufsetzlinie (grounding line) des Gletschers gezogen werden (Dietrich et al. 2007), wodurch bisher messtechnisch nicht erfassbare Informationen über das Bewegungsverhalten des Gletschers gewonnen werden.



© E. Schwalbe, TU Dresden

Abb. 2: Kamera am Jacobshavn Isbrae, Grönland

Literatur

- Dietrich, R., Maas, H.-G., Baessler, M., Rülke, A., Richter, A., Schwalbe, E., Westfeld, P. (2007): Jakobshavn Isbræ, West Greenland: Flow velocities and tidal interaction of the front area from 2004 field observations. In: Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 112(3). DOI: [10.1029/2006JF000601](https://doi.org/10.1029/2006JF000601).
- Luhmann, T., Fraser, C., Maas, H. G. (2016): Sensor modelling and camera calibration for close-range photogrammetry. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, 37–46. DOI: [10.1016/J.ISPRSJPRS.2015.10.006](https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2015.10.006).
- Maas, H.-G., Casassa, G., Schneider, D., Schwalbe, E., Wendt, A. (2013): Photogrammetric techniques for the determination of spatio-temporal velocity fields at Glaciar San Rafael, Chile. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 79(3). DOI: [10.14358/PERS.79.3.299](https://doi.org/10.14358/PERS.79.3.299).
- Mulsow, C., Koschitzki, R., Maas, H.-G. (2015): Photogrammetric monitoring of glacier margin lakes. In: Geomatics, Natural Hazards and Risk, 6(5–7). DOI: [10.1080/19475705.2014.939232](https://doi.org/10.1080/19475705.2014.939232).
- Schwalbe, E., Maas, H.-G. (2017): The determination of high-resolution spatio-temporal glacier motion fields from time-lapse sequences. In: Earth Surface Dynamics, 5(4). DOI: [10.5194/esurf-5-861-2017](https://doi.org/10.5194/esurf-5-861-2017).

Kontakt

Prof. Dr. habil. Hans-Gerd Maas
Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Dresden
Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden
hans-gerd.maas@tu-dresden.de

Bathymetrie mit temporär installierten Fächerloten – Erfahrungen mit kleinen Booten und Museumsschiffen

Wilhelm Weinrebe

1 Einleitung

Moderne Fächerlote ermöglichen eine effektive Kartierung des Meeresbodens. Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse sind dabei in hohem Maße abhängig vom perfekten Einbau aller Komponenten in das Vermessungsschiff sowie von der präzisen Einmessung und Kalibrierung des Gesamtsystems. Der Aufwand bei Einbau und Inbetriebnahme ist erheblich. Folglich werden für bathymetrische Arbeiten bevorzugt Schiffe mit fest-installierten Fächerlotssystemen eingesetzt. Leider stehen aber manchmal nur Boote oder Schiffe ohne derartige Ausrüstung zur Verfügung. In so einem Fall kann ein temporärer Anbau eines mobilen Gerätes helfen. Aber ist damit ein sicherer Betrieb überhaupt möglich und sind die so gewonnenen bathymetrischen Daten brauchbar? Die Forschungseinheit Marine Geodynamik des GEOMAR hat in den letzten 20 Jahren viele Projekte mit temporär installierten Fächerloten durchgeführt. Die Erfahrungen zeigen, dass dieser Ansatz bei guter Vorbereitung mehr sein kann als ein Notbehelf.

2 Einsatzplanung

Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz eines mobilen Systems sind eine sorgfältige Planung und eine umfassende Vorbereitung. Dabei müssen insbesondere die folgenden Punkte geklärt werden.

Was ist das Ziel der bathymetrischen Messungen, welche Anforderungen an die Genauigkeit der Daten müssen erfüllt werden? Wie ist die maximale Wassertiefe, die kartiert werden soll? Dieser Parameter beeinflusst ganz entscheidend die Auswahl des Systems: je höher die Frequenz des Fächerlotes, desto geringer die erreichbare Tiefe. Aber: je niedriger die Frequenz, desto größer die Schwinger, möglicherweise zu gewichtig für das zur Verfügung stehende Boot. Der An- oder Einbau der Schwinger ist ein entscheidender Punkt. Wie können die weiteren Komponenten (Decks-Einheit, Motion-Sensor, SSV-Sensor,

GNSS-Antennen) installiert werden? Ist eine stabile Stromversorgung gewährleistet? Wie sind Wetter- und Seegangbedingungen im Arbeitsgebiet, muss mit Eisgang gerechnet werden? Ist die GNSS-Abdeckung im Gebiet gewährleistet? Sind Tideninformationen verfügbar? Ist ein geeignetes Areal für die Kalibrierung vorhanden? Ist die Logistik geregelt?

3 Erfahrungsberichte

3.1 Flachwasserkartierung in der Bucht von Salalah, Oman

Zur Erkundung von submarinen Süßwasseraustritten wurden 2016 Kartierungen in der Bucht von Salalah, Oman, durchgeführt. Zur Verfügung stand das Mehrzweckarbeitsboot „Al Salt“ des Fischereiministeriums. Aufgrund der zu erwartenden Wassertiefe von max. 100 m wurde ein Kongsberg EM2040C mit einer Frequenz von 200 kHz bis 400 kHz eingesetzt. Zum Anbau der Schwinger vor dem Bug konnte eine flexible Halterung eingesetzt werden, die vom Institut für Geowissenschaften der Universität Kiel konstruiert worden war. Die Halterung lässt sich flexibel an die Form des Bugs anpassen und wird mit Spanngurten fixiert. Die Installation einschließlich aller Sensoren war in wenigen Stunden durchgeführt und das vorgesehene Gebiet konnte erfolgreich kartiert werden.

3.2 Zwischen Eisbergen im Ilulissat-Icefjord, Grönland

Mit einer Geschwindigkeit von ca. 30 m pro Tag schiebt sich eine mehr als einen Kilometer breite und bis zu 60 m hohe Front von Eisbergen durch den Ilulissat-Icefjord in die Disko-Bucht, West-Grönland. Die Befahrung dieser dynamischen Zone vor der Eisfront mit Schiffen ist gefährlich, nur kleine, wendige Boote können sich hierhin wagen. Das lokale Boot „Smilla“, normalerweise mit Touristen unterwegs, stand im August 2008 für eine Kartierung dieses einmaligen Arbeitsgebietes zur Verfügung. Eingesetzt wurde ein Seabeam1180 Fächerlot (180 kHz). In diesem sich stetig veränderndem Areal war ein systematisches Abfahren vorher festgelegter Profile illusorisch. Zudem mussten wegen treibender Eisschollen zum Schutz der vor dem Bug temporär angebrachten Schwinger häufig Ausweichmanöver gefahren werden. Trotz aller Schwierigkeiten konnte das Areal erfolgreich vermessen werden (Schumann et al. 2012).

3.3 „Offshore“-Kartierung in der Andaman-See, Thailand

Nach dem verheerenden Tsunami in Südost-Asien im Dezember 2004 wurden bathymetrische Kartierungen des thailändischen Teils der Andaman-See

durchgeführt, um potenzielle Gefährdungen durch submarine Hangrutschungen zu erkennen. Für diese Arbeiten stand ein ausgezeichnetes Schiff zur Verfügung: die 35 m lange „Chakratong Tongyai“, gebaut 1995 in Dänemark. Zusätzlich zu dem Fächerlot, einem Seabeam1050 (50 kHz), sollte bei den geplanten Arbeiten auch ein Sediment-Echolot (Innomar SES2000 Medium) eingesetzt werden. Dazu wurden zwei schwenkbare Halterungen aus Stahlrohr konstruiert und angeschweißt, eine an Backbord für das Fächerlot und eine an Steuerbord für das Sediment-Echolot. In den Jahren 2006 und 2007 konnte ein großer Teil des Arbeitsgebietes erfolgreich kartiert werden (Jintasaeranee et al. 2012); ein weiterer Einsatz im Jahre 2011 war dagegen leider nicht erfolgreich.

3.4 Fjord-Kartierung mit einem Segelschoner, Grönland

Ganz besondere Herausforderungen mussten überwunden werden bei einem Einsatz in Ost-Grönland im August 2014: Das zur Verfügung stehende Schiff war ein alter Dreimast-Schoner, die „Activ“. Zu den Schwierigkeiten des Arbeitsgebietes selbst – unbekannte, unbewohnte Küste, teilweise Eisbedeckung und treibende Eisschollen, enge Fjorde mit steilen Wänden, dadurch zeitweise kein



Abb. 1: Dreimast-Schoner „Activ“ im Arbeitsgebiet; der Ausschnitt zeigt die schwenkbare Schwinger-Halterung.

GNSS-Empfang – kamen Hindernisse bei der Installation und dem Betrieb des Fächerlotssystems Seabeam1050 (50 kHz). Das Schiff verfügte weder über hydraulische noch elektrische Winden oder Hebezeuge, die Montage erfolgte ausschließlich mit Flaschenzug und Muskelkraft. Trotzdem konnten die ca. 200 kg schweren Schwinger in einer schwenkbaren Halterung stabil an der Bordwand montiert werden (Abb. 1). Arbeit und Leben auf diesem Museumsschiff war in jeder Hinsicht schwierig, hatte aber einen ganz besonderen, einmaligen Reiz. Und im Ergebnis konnten einige bisher nicht-kartierte Fjorde umfassend vermessen werden (Kjeldsen et al. 2017).

4 Schlussfolgerungen

Die Erfahrungen aus den hier beschriebenen sowie vielen weiteren Projekten hat gezeigt, dass der temporäre Betrieb eines mobilen Fächerlates mit verschiedenen Booten und Schiffen mehr ist als nur eine Notlösung. Gerade bei speziellen Projekten in entlegenen Gegenden steht oft nur ein Universal-Boot oder -Schiff ohne Fächerlot zur Verfügung. Mit einer gewissenhaften Planung und einem sorgfältigen Anbau können auch mit einem mobilen System erfolgreiche Kartierungen durchgeführt werden, zumindest im Flachwasser sowie in mitteltiefen Bereichen.

Literatur

- Jintasaeranee, P., Weinrebe, W., Klaucke, I., Snidvongs, A., Flueh, E. R. (2012): Morphology of the Andaman outer shelf and upper slope of the Thai exclusive economic zone. In: Journal of Asian Earth Sciences, 46, 78–85. DOI: [10.1016/j.jseaes.2011.11.003](https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.11.003).
- Kjeldsen, K. K., Weinrebe, W., Bendtsen, J., Bjørk, A. A., Kjaer, K. H. (2017): Multibeam Bathymetry and CTD-Measurements in two Fjord-Systems in Southeast-Greenland. In: Earth Syst. Sci. Data, 9, 589–600. DOI: [10.5194/essd-9-589-2017](https://doi.org/10.5194/essd-9-589-2017).
- Schumann, K., Völker, D., Weinrebe, W. (2012): Acoustic mapping of the Ilulissat Ice Fjord mouth, West Greenland. In: Quaternary Science Reviews 40, 78–88. DOI: [10.1016/j.quascirev.2012.02.016](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.02.016).

Kontakt

Dr. Wilhelm Weinrebe
(jetzt im Ruhestand)
GEOMAR – Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
wilhelm@weinrebe-kiel.de

Session 3:

Datenmodellierung

Fusion of Measured and Synthetic Sound Speed Profiles: A Viable Technique to Improve the Accuracy of Multibeam Bathymetry?

Jean-Guy Nistad | Patrick Westfeld

1 Introduction

An important error source in multibeam echo sounder depth measurements in shallow and highly stratified water column environments is the sound speed error. The impact of this error in hydrographic data acquisition and processing is potentially two-fold. First, an incorrectly measured sound speed value at the echo sounder's transmit and receive arrays will affect their directivity pattern steering angles and lead to an erroneous array-relative beam pointing angle. Second, an incorrectly measured water column sound speed structure will not account for the true path travelled by the acoustic pulse, because it is affected by a propagation error in distance and direction. These two impacts lead to similar yet distinct error signatures, which in both cases propagate to the final 3D point solution referenced in a terrestrial reference frame. While a calibrated sound speed probe mounted at the antenna arrays should preclude the first error source, an undersampled water column relative to a changing sound speed structure in both time and space, inevitably leads to so-called refraction errors. Given that in-situ knowledge of the water column dynamics is difficult to assess while surveying and in order to optimize survey time, a common approach is to use an underway profiling system to increase the number of measured sound speed profiles. However, excessive profile measurements leading to premature wear of the profiling system is often the consequence. As such, an optimal sampling period that balances cost with survey specifications should always be sought. In this work, we seek to determine the gain in accuracy achievable by combining measured with synthetic sound speed profiles to minimize the impact of sound speed errors in multibeam surveys conducted in the shallow waters of the south-western Baltic Sea.

Previous work has demonstrated the added value of applying synthetic sound speed profiles in the absence of measured profiles for multibeam ray-tracing purposes. These synthetic profiles may be derived directly from regional hydrodynamic models, from spatiotemporal interpolation, or from a combination of the

above. The following is a synthesis of work conducted at the Federal Maritime and Hydrographic Agency (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, BSH) to combine synthetic with measured sound speed profile. More detailed information is available in Nistad and Westfeld (2022).

2 Material and Method

The BSH vessel VWFS Deneb was newly fitted with an AML Oceanographic MVP-30 underway profiling system ([Fig. 1](#)), which was used to collect a high number of sound speed profiles during three multibeam bathymetry surveys, which are representative of survey conditions in the southwestern Baltic Sea.



Fig. 1: The BSH survey vessel VWFS Deneb (left) and the newly installed (June 2020) AML Oceanographic MVP-30 underway profiling system (right)

This high number of profiles, together with the depth measurement data, was used to generate the most accurate portrayal possible of the bottom topography. This accurate bathymetric model would then serve as reference for statistically meaningful comparisons between measured and synthetic profiles.

BSHcmmod is an operational baroclinic regional forecast model operated by BSH consisting of two two-way nested grids covering the entire North Sea and Baltic Sea. The model version used in this work has a horizontal resolution of half a nautical mile (approx. 900 m) and a vertical resolution of approx. 4 m. At each node of the model, hourly forecasts of temperature and salinity are available. Synthetic sound speed profiles were derived from BSHcmmod using the dependencies on temperature, salinity and pressure on depth for every available node location and time covering the spatial and temporal extent of the survey datasets.

A spatiotemporal interpolation routine from Roemer et al. (2017) was used to generate a synthetic sound speed profile at any chosen location and time as

a weighted mean of the measured profiles. The weights are customizable exponential functions that account for the distance (in both space and time) between each measured profile and synthetic profile.

In order to quantify the depth accuracy of soundings ray-traced using synthetic profiles, a traditional ray-tracing technique following the so-called “layer cake model” was used. Given two sound speed profiles (measured or synthetic), a chosen reference depth and beam launch angle, the differing ray-traced solutions between the two profiles is measurable as a vertical and horizontal bias in the ray-tracing plane and is indicative of the relative impact of using one profile versus the other for the determination of the 3D sounding position. This assessment can be performed without or with measured soundings. In this investigation, the 65° beam angle was used and the desired maximum vertical bias was fixed at 0.25 % of depth.

3 Results and Discussion

The accuracy of synthetic sound speed profiles derived from BSHcmod was evaluated by comparing the ray-tracing solution of these profiles against the measured sound speed profiles from the MVP-30. For two of the three investigated datasets, the distribution of vertical biases fully exceeds the 0.25 % of depth limit. These results indicate that the evaluated BSHcmod version is not adequate to be used in production for ray-tracing purposes. However, BSHcmod has been in operational use since the early 1990s and was in the process of being renewed as

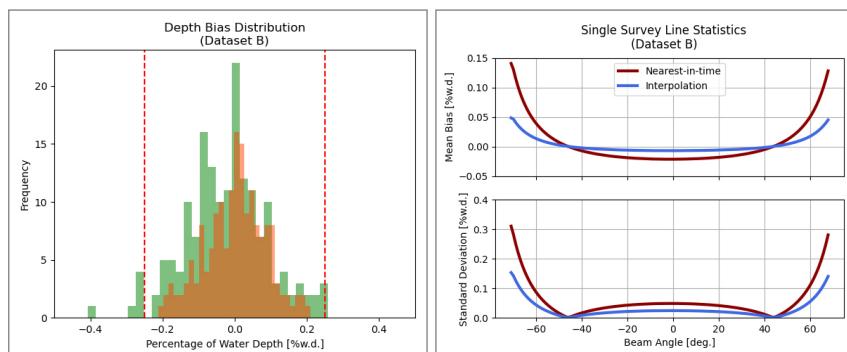


Fig. 2: Left: Histogram of depth biases incurred by ray-tracing at the 65° beam angle with a subset of the measured MVP-30 sound speed profiles with (in orange) and without (in green) interpolation. Right: Mean depth bias and standard deviation as a function of beam angle for a single survey line incurred by ray-tracing a subset of the measured MVP-30 sound speed profiles with (in blue) and without (in red) interpolation

this work took place. In early 2021, a new implementation of the BSH regional forecast model was released (now called BSH-HBM), which enhances BSHcmod by increasing the depth resolution and improving the quality of the forecast data. This updated model warrants a new evaluation. Finally, another advantage of models such as BSH-HBM in hydrographic operation is their utilization as planning tools prior to survey operations.

In order to evaluate the accuracy of interpolation in compensating for the lack of measured sound speed profiles, the MVP-30 dataset was sequentially subsampled; removed measured profiles were replaced with interpolated profiles and the impact of this change displayed as histograms ([Fig. 2 left](#)) and quantified as an RMS deviation of vertical biases. Interpolation displays a maximum RMS gain of 0.04 % of depth, representing 1 cm in 20 m depth. While this value may seem small, it represents the average for an entire dataset. The impact is much more pronounced when viewed for a single survey line within a dataset in which sound speed errors are known to be present. [Fig. 2 \(right\)](#) illustrates the gain in terms of reduced systematic and random error as a function of beam angle for a single survey line. For the higher beam angles, a factor three reduction in vertical bias is shown to be possible.

In order to guarantee the absence of sound speed induced beam steering errors, an evaluation of the MVP-30 dataset was attempted. During this process, it was discovered that a bias above 0.25 % of depth (5 cm in 20 m depth) for higher beam angles might be present. It is therefore hypothesized that a beam steering error is present in the datasets. Given that the surface sound speed sensor is subjected to a regular maintenance and calibration schedule, it is unlikely that a factory calibration would resolve the issue. A new project has been initiated to determine the exact cause of this problem.

References

- Nistad, J.-G., Westfeld, P. (2022): Improved Techniques to Resolve the Water Column Sound Speed Structure for Multibeam Ray-Tracing. In: International Hydrographic Review.
- Roemer, S., Hodnesdal, D. A., Ofstad, A. E., Dias, A. F. (2017): Sound velocity profile interpolation in space and time – a way to overcome one of the nightmares of multi-beam processing? Paper presented at the Teledyne CARIS International User Group Conference, 2017/19-22 June.

Contact

Jean-Guy Nistad | Dr.-Ing. Patrick Westfeld
Federal Maritime and Hydrographic Agency
Neptunallee 5, D-18057 Rostock
jean-guy.nistad@bsh.de | patrick.westfeld@bsh.de

Preprocessing and Analysis Strategies for Hydrographic Measurements at Very Shallow Water Depths

Bahareh Mohammadivojdan | Frederic Hake | Hamza Alkhatib | Ingo Neumann |
Robert Weiss | Thomas Artz

1 Introduction

Digital Terrain Models (DTMs) related to underwater or water exchange zones are an important source of information for various applications. The development of different methodologies including range based acoustic and optical scanning techniques, enable the possibility of attaining high-resolution maps of these areas. In particular, the surveying of shallow water areas is a challenge even today. Deep and shallow water area requires different measuring systems and their results must be fused in a meaningful way. In order to improve the processes for the determination of DTMs in very shallow areas of waterways, a project was initiated by the Federal Institute of Hydrology (Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG) and Geodetic Institute of the Leibniz University of Hannover (GIH). The very shallow or water exchange areas are highly sensitive since the classical measurement methods including Airborne Laser Scanning (ALS), bathymetry (ALB), and ship-borne echo sounder measurements are not usually suitable to sample the surface of interest due to coordinative, technical, and safety-relevant aspects.

Although the mapped areas are usually of high resolution, they are only a discrete sample from the region of interest derived from a point cloud. These captured point clouds, especially due to the rough environment, are typically corrupted with noise and outliers. In such data sets, it should be considered that the sampled point clouds might be unevenly distributed over the domain. Also, due to the surface geometry and possible measurement failures, there are areas with less point density or no measurements at all (data gaps). In water exchange areas these limitations are even more pronounced, due to the technical limitations, causing significant data gaps, which are usually compensated by interpolation to derive comprehensive models.

The solution to overcoming the aforementioned challenges and merging data from different platforms and sensor techniques is to find a unique mathematical model to represent such point clouds. Achieving a continuous surface from this

discrete point cloud is a complex task both from computational as well as mathematical aspects.

Overall preprocessing and analysis of these measurements are usually performed manually by experts. This process is expensive and time-consuming. The aim of this project is to define a pipeline approach that not only improves the current state of affairs, but also significantly reduces the dependence on manual processing.

2 Methodologies

The proposed pipeline consists of different stages: preprocessing, modelling and evaluation. A brief overview of the current status of the mentioned stages are given in the following.

2.1 Preprocessing and Data Cleaning

As described, the data includes measurement errors and outliers. Therefore, in modelling the data, it is essential to count for any possible errors in them. Otherwise, the final model is distorted. The effect of measurement noise could be considered in the surface modelling technique. The most critical aspect is dealing with the outliers before modelling in a pre-processing step. The main part of this step is usually handled manually or has at least significant manual steps after an initial automatic approach (Lorenz et al. 2021). To reduce the manual effort, a data-adaptive algorithm, with a density-based foundation is proposed to process the data and identify its outliers. The anomalies are detected based on the deviation of the data points to a fitted model in a hierarchical approach (Mohammadivojdan et al. 2021). The results of implementing this method show more than 70 % agreement to the manually detected outliers.

2.2 Surface Modelling

Considering the characteristics of a data set and its challenges, a method should be chosen that is able to not only handle large data sets and data gaps but also is computationally efficient. The method of Multilevel B-splines Approximation (MBA) is adapted to model such a data set (Lee et al. 1997).

The results of implementing MBA to approximate a sample data set related to a section of Kiel Canal are shown in Fig. 1. This data set is captured by multibeam echo sounder surveying system. The approximated model is color-coded based on the deviations to the real measurements. The mean of the deviations of the approximated model to the observed point cloud is close to zero (0.4 mm). This

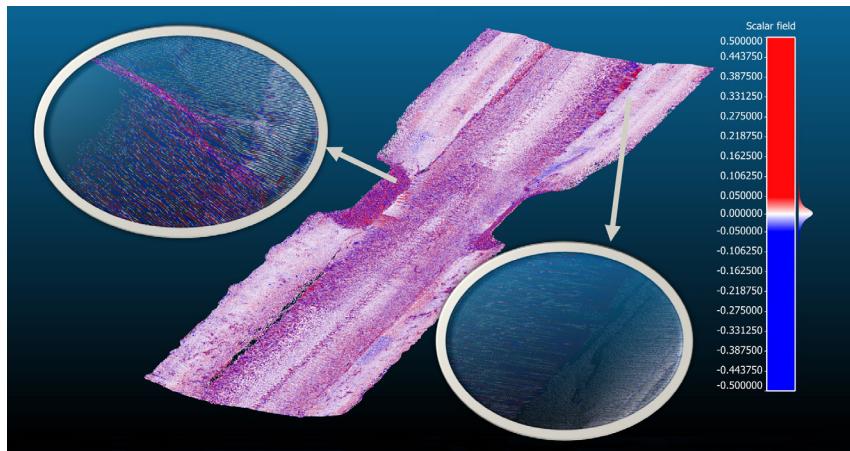


Fig. 1: Approximated sample data set of Kiel Canal. The largest deviations occur at the gaps.

means that there is not a significant systematic deviation between the derived model and the observations. As an error measure, the Root Mean Squared Error (RMSE) of the deviations is calculated, which is 0.045 m.

2.3 Evaluation

In order to evaluate the adapted methodologies, derive an uncertainty measure and describe the approximated model, a simulation is designed. In this simulated environment, the real measured data are imitated and the associated uncertainties are calculated. To achieve this, the physical and mathematical models of the sensors must be implemented in the environment. It is then possible to generate the measuring beams from the sensor and intersect them with a mathematically defined surface. The result is an error-free, point-wise representation of the mathematical surface. [Fig. 2](#) shows an example of one profile of a multi-beam echo sounder with the measurement beams in blue and the mathematical surface in brown.

3 Conclusion

In this project, a pipeline of methods is proposed for modelling the underwater observations. The main idea is to improve the quality of the final model as well as the efficiency of the final algorithm. Also, the final methodology is claimed to be fully automated, which helps to reduce the manual work of users to a minimum. Consequently, a unique mathematical model of the measurements can

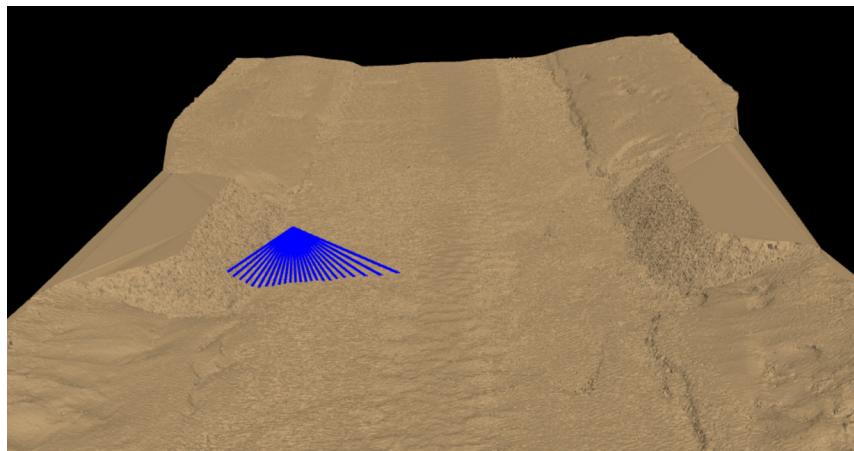


Fig. 2: Example of a sensor position with measurement beams in blue

be approximated, that efficiently represents the area of interest and also helps in unifying measurements from different platforms. For evaluation of the model, a detailed simulation of the area and sensors are suggested, which is still an ongoing part of the project.

References

- Mohammadiojdan, B., Brockmeyer, M., Jahn, C. H., Neumann, I., Alkhatib, H. (2021): Regional Ground Movement Detection by Analysis and Modeling PSI Observations. In: *Remote Sensing*, 13(12), 2246.
- Lee, S., Wolberg, G., Shin, S. Y. (1997): Scattered data interpolation with multilevel B-splines. In: *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 3(3), 228–244.
- Lorenz, F., Artz, T., Brüggemann, T., Reich, J., Weiß, R., Winterscheid, A. (2021): Simulation-based Evaluation of Hydrographic Data Analysis for Dune Tracking on the River Rhine. In: PFG 89, 111–120 (2021). DOI: [10.1007/s41064-021-00145-0](https://doi.org/10.1007/s41064-021-00145-0).

Contact

Bahareh Mohammadiojdan | Frederic Hake | Hamza Alkhatib | Ingo Neumann
Leibniz Universität Hannover, Geodätisches Institut
Nienburger Straße 1, 30167 Hannover
mohammadiojdan@gih.uni-hannover.de | hake@gih.uni-hannover.de |
alkhatib@gih.uni-hannover.de | neumann@gih.uni-hannover.de

Robert Weiß | Thomas Artz
Bundesanstalt für Gewässerkunde, M5 – Geodäsie und Fernerkundung
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
weiss@bafg.de | artz@bafg.de

Aktuelle Methoden und Verfahren der Verarbeitung, Modellierung und Bereitstellung hydrographischer Daten

Julian Sievers | Frank Sellerhoff

Der Klimawandel stellt den Küstenschutz vor immer neue und wachsende Herausforderungen. Durch den steigenden Meeresspiegel und sich verändernde Tideparameter ist die zielgerichtete Überwachung und Analyse von Meeresböden und Watten unerlässlich, um umweltgerechte und zukunftsorientierte Lösungen und Strategien zu entwickeln. Mit neuen Methoden der Erfassung von Geländehöhen über und unter Wasser in höchster Auflösung einerseits und dem Einbezug von historischen Informationen aus vielen Jahrzehnten andererseits rückt der Begriff der Massendaten sowohl für die Vorhaltung und Speicherung von hydrographischen Daten als auch deren Verarbeitung immer weiter in den Vordergrund. Die smile consult GmbH hat es sich zur Aufgabe gemacht, mithilfe von systematisch entwickelten adaptiven Softwarelösungen diese Herausforderungen langfristig zu lösen und strebt dabei an, die Arbeit mit Geodaten durch ein hohes Maß an Automatisierung wiederkehrender Prozesse effizienter zu gestalten.

Mit dem technischen Fortschritt haben sich über die Zeit die Messpunktichte, -fläche und -anordnung stark verändert. Angefangen bei Papierkarten mit händisch erzeugten Isobathen aus einer geringen Anzahl von Einzellotungen über linienhafte quer und längs der Gewässerachse vermessene Einzelschwingen bis hin zu akustischen Mehrfachschwingern und optischen LiDAR-Systemen ist die Datenbasis hinsichtlich Struktur, Informationsdichte und Umfang sehr heterogen. Modernste Systeme bieten einerseits die Möglichkeit der Erfassung größter Datenmengen und andererseits über sinkende Kosten die zeitlich hochdichte Überwachung der Gewässerbodenoberfläche und zeigen somit die zu erwartende Entwicklung der zu verarbeitenden Datenmengen auf.

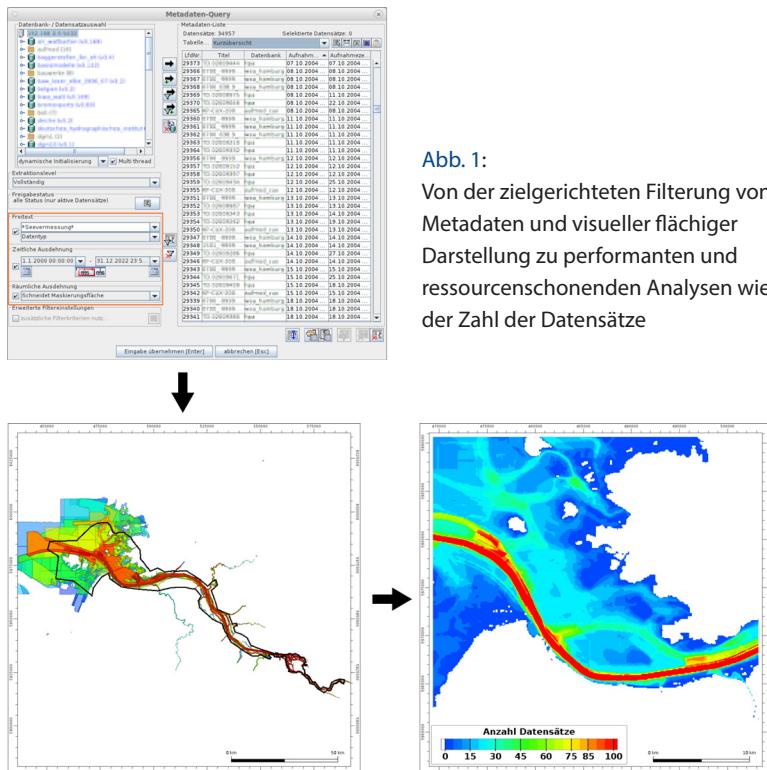
Die über Jahrzehnte organisch gewachsenen dateigestützten Ablagestrukturen spiegeln die heterogene Datenbasis wider und gelangen mehr und mehr an ihre Grenzen. Die in den GIS-Produkten der smile consult GmbH integrierte Datenbanklogik setzt an diesem Punkt an und bietet gegenüber anderen Formen der Datenhaltung einen entscheidenden Vorteil. Der Aufbau eines zukunftsfähigen Datenbankkonzeptes erlaubt schnelle und einfache Analysen, die schon vor der Handhabung der eigentlichen Datensätze bei ihren übergeordneten

Metadaten beginnen. Oberflächenanwendungen der smile consult GmbH ermöglichen das Analysieren und Bearbeiten solcher Metadateneinträge sowohl für einzelne als auch über Bulk-Editing-Operationen für zehn- und hunderttausende Metadatensätze gleichzeitig. Über einen so valide aufgebauten Schatz an Metainformationen sind mit kurzen Zugriffszeiten und geringem Speicheraufwand Recherchen möglich. So lassen sich beispielsweise selbst im Funktionalen Bodenmodell mit seinen hunderttausenden Basisdatensätzen Analysen hinsichtlich Region, Datenerheber, Datenart, Messzeitpunkt, abgedeckter Fläche u. v. a. m. komfortabel durchführen, siehe Abb. 1.

Die zielgerichtete Auswahl solcher Sammlungen von Metainformationen kann den Startpunkt tiefergehender Untersuchungen bilden. Die zeitliche Entwicklung der Gewässerbodenoberfläche kann für ein so vordefiniertes Fokusgebiet bereits ohne ressourcen- und zeitintensivere morphologische Analysetools untersucht werden, indem die in der Datenbankstruktur hinterlegte Suchbaumlogik performante Operationen, wie Profilschnitte, Zeitreihen und Heatmaps, über die Metainformationen selbst möglich macht (Abb. 1). Auch bei

Abb. 1:

Von der zielgerichteten Filterung von Metadaten und visueller flächiger Darstellung zu performanten und ressourcenschonenden Analysen wie der Zahl der Datensätze



sehr umfangreichen Datensätzen aus beispielsweise dem Umfeld der LiDAR-Erfassung werden auf diese Weise jeweils nur exakt solche Höheninformationen aus der Datenbank extrahiert, die für die jeweilige Analysefunktion überhaupt benötigt werden.

Zeitkritische Auswertungen über umfangreiche Datensätze werden auf diesem Wege auch dann noch ermöglicht und effizient steuerbar, wenn die Inaugenscheinnahme durch den Menschen bereits an der schieren Datenflut scheitern würde.

Beispielsweise sind für erste Maßnahmen der Qualitätssicherung von Terabytes an Basisdaten über die Analyse der Metadateneinträge und geometrischen Eigenschaften automatisiert Dopplungen auffindbar, die im späteren Verlauf gesondert behandelt werden können.

Kaum ein Datensatz wird jedoch in einer Form erhoben, die für eine direkte Verwendung in abgeleiteten Produkten, wie beispielsweise digitalen Geländemodellen, geeignet ist. Mit üblicherweise unstrukturiert bereitgestellten Punktmenigen ist das Konzept „*Plug and Play*“ noch kaum erreicht. So müssen also Vermessungsdaten homogenisiert und modelliert werden, dass eine vom ursprünglichen Messverfahren losgelöste Verarbeitung möglich wird. Erwartungsgemäß sind diese Modellierungsansätze sehr heterogen. Während Tiefeninformationen aus Kartenblättern und von Einzelschwingersystemen üblicherweise mit einer Dreiecksvermaschung und Strukturpolygonen versehen werden, werden hochauflöste Mehrfachschwinger und LiDAR-Daten in der Regel in gerasterte, gemittelte Höhenmodelle überführt. Die grafische Oberflächenanwendung GISMO (Geographisches Informationssystem für die Modellerstellung) hält hierzu auf beliebige Datenarten abgestimmte und hochindividualisierte Funktionen und Werkzeuge bereit. Als Eigenentwicklung der smile consult GmbH kann diese flexibel und schnell an neue Herausforderungen angepasst werden. Neben der eigentlichen Modellierung ist hierbei auch die nutzer- und systemübergreifende, durch Automatisierung gestützte Qualitätssicherung mit Dokumentationsfunktion entscheidend.

Über eine Vielzahl von Interpolations- und Approximationsverfahren entstehen so aus den hoch heterogenen Eingangsvermessungen modellierte Basisdaten, aus denen flächendeckende digitale Geländemodelle verschiedenster Erzeugungslogiken entstehen.

Sowohl bei DGM-W-Produkten, bei denen durch Vergabe von Prioritäten detaillierte Abbildungen des aktuellen Zustandes mit besonderem Fokus auf den Wasserlauf erzeugt werden, als auch bei räumlich-zeitlich interpolierten DGMen, bei denen sich an zurückliegende Zustände auch über Datenlücken hinweg genähert wird, können unter anderem hochauflöste LiDAR- und Mehrfachschwinger-Daten kombiniert werden, um beispielsweise den Übergangsbereich zwischen Über- und Unterwasserregionen nahtlos darzustellen.

Die Entstehungsgeschichte dieser auch als konsistente DGMe benannten Produkte wird dabei in den dazugehörigen Datenquellenkarten zur vollen Transparenz detailliert festgehalten. Für jede einzelne Stützstelle ist die Rückverfolgung der Information bis hin zu den beteiligten Basisdatensätzen einschließlich ihrer Metainformationen möglich. Auf diese Weise wird der Informationsfluss von der Datenaufnahme bis hin zu den Nutzerprodukten stets gewährleistet. Dieser Umstand ist nicht allein bei der weiteren wissenschaftlichen Verwertung der Produkte von hohem Wert für die Qualität der abgeleiteten Aussagen.

Auf den DGM-Produkten beider Erzeugungslogiken ermöglicht GISMO es, ohne weitergehende Notwendigkeit der Berücksichtigung der strukturell und räumlich hochheterogenen Datenbasis unter vielem anderen Talwege und Watteinzugsgebiete aus höchstaufgelösten Daten zu generieren, Wachstumsraten von Wattkörpern und -flächen zu berechnen, Baggerflächen und -volumina zu planen und Bereiche hoher morphologischer Aktivität sowie deren Beträge zu identifizieren, um beispielweise Verlegetiefen und Korridore für Kabeltrassen zu ermitteln. Mit Berichtserzeugungstools für gängige Dokumentenformate können solche Auswertungen einfach und standardisiert in eine teilbare Form gebracht werden.

In aktueller Entwicklung werden nicht nur die Berichte und Auswertungen, sondern auch die eigentlichen hydrographischen Daten leicht teilbar gemacht. Das Projekt Unstructured Data – Webservices and Technical Analysis (UnDaWatA) setzt auf dem bestehenden GISMO-Datenbankkonzept auf und macht diese Daten über OGC-konforme Dienste und Webanwendungen über das Internet verfügbar. Hierbei sind nicht nur die Daten selbst in ihrer originalen, unstrukturierten und gegebenenfalls mit Attributen versehenen Struktur verfügbar, sondern auch, wie in GISMO selbst, eigene Analysen, wie Schnitte und Zeitreihen, in gezielt zusammengestellten (Meta-)Datenmengen dynamisch möglich.

Die hier vorgestellten Tools und Workflows zeigen auf, wie unter der Verwendung nur von GISMO aus punkthaften Vermessungsdaten verschiedenster Formate digitale Geländemodelle erzeugt, analysiert und dokumentiert werden können. Die hohe Komplexität des Themas erlaubt es hier, nur einen kleinen Ausschnitt darzustellen. Mit der flexiblen Entwicklung von GISMO und weiteren Tools ist die smile consult GmbH bestrebt, für jede Herausforderung eine maßgeschneiderte Lösung zu erschaffen.

Kontakt

Julian Sievers

smile consult GmbH

Schiffgraben 11, 30159 Hannover

sievers@smileconsult.de

Session 4: Datenverarbeitung und Datenfusion

Teilautomatisierte Flachwasserplattform zur simultanen Über- und Unterwasserkartierung

Janko Petereit

1 Motivation und Überblick

Präzise und aktuelle Gewässerkarten sind eine wichtige Voraussetzung für eine sichere und effiziente Schifffahrt auf unseren Wasserstraßen. Der Kartierungsprozess befindet sich hierbei gerade im Wandel hin zu einer durchgehend digitalen Prozesskette. Am Beginn dieser Kette steht die Befahrung der Gewässer und eine entsprechende Messdatenaufnahme. Der hierfür heutzutage etablierte Prozess besteht jedoch aus einer großen Menge teils manueller Einzelschritte, was in der Konsequenz bedeutet, dass die Kartierung sehr ressourcenintensiv ist und die Zeitspanne zwischen zwei Messungen an einem gegebenen Ort somit in der Regel recht groß ist.

Im Hinblick auf die zukünftige Digitalisierung der Wasserstraßen wurde am Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in den vergangenen drei Jahren ein autonomes System entwickelt, welches in der Lage ist, teilautomatisiert flache Gewässer (Flüsse, Seen, Häfen) simultan über und unter der Wasseroberfläche zu kartieren. Auf diese Art und Weise kann eine gemeinsame konsistente Karte der Gewässersohle und der Uferstrukturen erzeugt werden. Das entwickelte System wurde dafür mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet: Ein Laserscanner und Videokameras erfassen Bäume, Brücken, Ufer und Hindernisse aller Art. Mit einem Multibeam-Sonar erfolgt die hochauflösende Unterwasserkartierung. Dazu kommen GNSS-Ortsdaten und eine inertiale Messeinheit, die aufzeichnet, wie sich das Schiff im Wasser bewegt. Die resultierenden Karten sind georeferenziert und bieten eine ganzheitliche Sicht auf die Wasserstraßen und die sie umgebende Infrastruktur.

Die autonome Navigation für Überwasserschiffe ist ein intensiv erforschtes Gebiet. Schiaretti et al. (2017) geben einen guten Überblick über 60 bestehende Autonomous Surface Vessels (ASV) und ihre Fähigkeiten im Hinblick auf Autonomie bis zum Jahr 2017. Clunie et al. (2021) und Iwen und Wąż (2019) beschreiben erste Ansätze zur Kartierung mit ASVs sowie rudimentären Verfahren zur automatischen Hindernisvermeidung.

2 Systemkonzept

Bei der Konzeption des Vermessungssystems standen die folgenden Aspekte im Vordergrund:

- offene Softwarearchitektur, um die Rekonfiguration der Sensoren zu erleichtern
- umfangreiche Sensorausstattung für eine umfassende Wahrnehmung der Umgebung über und unter der Wasseroberfläche
- Hinderniserkennung und -vermeidung für autonome Kartierungsfahrten
- Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Kommandierung und Überwachung des Systems in Echtzeit

Durch die Verwendung des Open-Source-Software-Frameworks ROS (Robot Operating System, <https://ros.org>) lassen sich Multisensor-Nutzlasten nahtlos integrieren und der Aufbau kann flexibel verändert werden. Die Daten sind auf jeder Ebene vollständig zugänglich, was die Interaktion mit bestehenden Sensoren und Systemen erleichtert und die Datenübergabe an ein Überwachungssystem ebenso einfach macht. Die Kartierungsfähigkeiten sowie die Bewegungsplanung und Hindernisvermeidung sind weitgehend von am Fraunhofer IOSB bestehenden landgestützten mobilen Robotersystemen übernommen worden.

2.1 Hardwarekonzept

Für die Umsetzung der Kartierungslösung wurde eine geeignete Hardwareplattform aufgebaut. Als erster Prototyp diente hierfür die Plattform *Water Strider*, ein Katamaran, welcher aufgrund seiner Größe ($6\text{ m} \times 6\text{ m} \times 4\text{ m}$) viel Raum für Sensorik und Rechentechnik bot. Mit einem Gesamtgewicht von ca. 500 kg erreichte die Plattform eine Geschwindigkeit von ca. 6,5 kn und eine maximale Missionsdauer von rund 4 h. Der vollständige Aufbau des Systems ist in Abb. 1 dargestellt.

2.2 Sensoren

Für die bildbasierte Kartierung sind zwei Sony SCN EB643R IP-Kameras an beiden Seiten des Mastes angebracht, wobei eine nach Steuerbord und die andere nach Backbord gerichtet ist (siehe Abb. 2 links). Das Kamerasystem wird genutzt, um durch Structure-from-Motion-Methoden eine 3D-Rekonstruktion von Uferstrukturen durchzuführen. Für die Wahrnehmung über Wasser

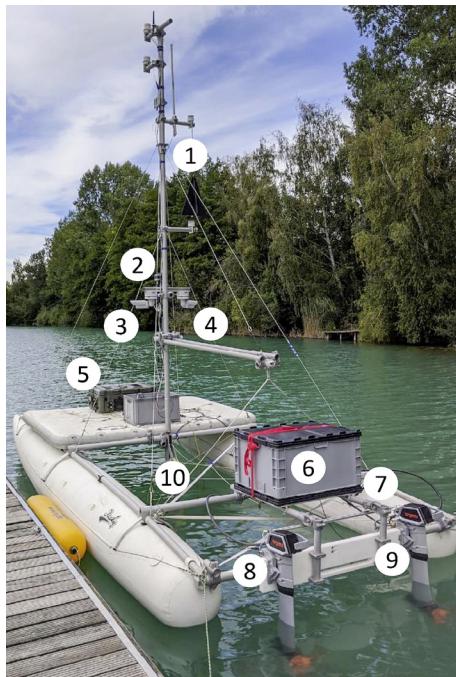


Abb. 1:

Erster Prototyp: ASV Water Strider.

Komponenten:

1. Bullet M2 WiFi Modul
2. Velodyne LiDAR
3. linke Kamera
4. rechte Kamera
5. Control Unit Box (CUB)
6. Torqeedo Batterien
7. Rudder SD10 Unit
8. Außenbordmotor (links)
9. Außenbordmotor (rechts)
10. Sonarhalterung

ist zusätzlich ein horizontal ausgerichteter Velodyne VLP-16 3D-LiDAR (Light Detection and Ranging) am Mast montiert. Er besitzt einen Messbereich von etwa 100 m mit einer Genauigkeit von typischerweise ± 3 cm. Mit seinen Daten wird für die Hindernisvermeidung eine Online-Karte der Oberfläche und der Umgebung erstellt. Weitere Einzelheiten sind in Kleiser et al. (2020) zu finden.

Als Sonarsystem kam das Bathyswath-2-Sonar von ITER Systems zum Einsatz, ein interferometrisches Sonar, welches mit Scanlinien die Gewässersohle



Abb. 2: Überwasser-Messsystem (links), Sonardyne INS und ITER Systems Bathyswath-2 Sonar (rechts)

erfasst. Bei einer Wassertiefe von etwa 15 bis 20 Metern, beträgt die Abdeckbreite etwa 150 bis 240 Meter, was zu einer konservativen Schätzung der Kartierungsleistung von etwa 1000 Quadratmetern pro Stunde führt (bei einer Messgeschwindigkeit von 4 Knoten). Für die Positionsbestimmung ist ein INS der Firma Sonardyne (siehe Abb. 2 rechts) verfügbar, welches durch ein RTK-GNSS unterstützt wird.

3 Ergebnisse

Mit dem aufgebauten System wurde ein teilautomatisierter Prozess zur Kartierung von Wasserstraßen umgesetzt. Nach anfänglicher Spezifikation des zu kartierenden Gebietes durch den Bediener berechnet das System einen Pfad zu dessen optimaler Abdeckung während der Messfahrt. Diese erfolgt vollautonom, wobei das System in der Lage ist, Hindernissen, wie z.B. Bojen oder anderen Schiffen, auszuweichen. Aus den aufgezeichneten Daten wird anschließend ein ganzheitliches dreidimensionales Umgebungsmodell erzeugt. Abb. 3 zeigt ein beispielhaftes Kartierungsergebnis der Uferregion eines Baggersees.

Im vergangenen Jahr wurde die Hardwareplattform grundlegend überarbeitet und miniaturisiert (siehe Abb. 4). Dies erlaubt einen erheblich einfacheren Transport des Systems und deutlich kürzere Rüstzeiten, ohne jedoch die Leistungsfähigkeit des Kartierungssystems zu beeinträchtigen.

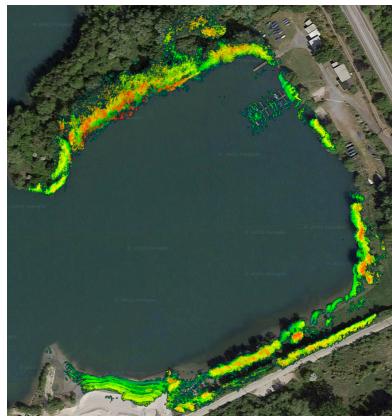


Abb. 3: 3D-Karte des Ufers überlagert auf Luftbild

(Imagery ©2021 Google, Imagery ©2021 GeoBasis-DE/
BKG, GeoContent, Maxar Technologies, Map data ©2021)



Abb. 4: Aktuelle Kartierungsplattform: Miniaturisierte Version auf Basis eines Maritime Robotics Otter (ca. 2 m x 1,1 m)

Literatur

- Clunie, T., Defilippo, M., Sacarny, M., Robinette, P. (2021): Development of a Perception System for an Autonomous Surface Vehicle using Monocular Camera, LIDAR, and Marine RADAR. In: Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). DOI: [10.1109/ICRA48506.2021.9561275](https://doi.org/10.1109/ICRA48506.2021.9561275).
- Iwen, D., Wąż, M. (2019): Benefits of using ASV MBES surveys in shallow waters and restricted areas. Proceedings of the 2019 European Navigation Conference (ENC). DOI: [10.1109/EURONAV.2019.8714128](https://doi.org/10.1109/EURONAV.2019.8714128).
- Kleiser D., Albrecht, A., Emter, T., Zube, A., Petereit, J., Woock, P. (2020): Mapping Shallow Water Environments using a Semi-Autonomous Multi-Sensor Surface Vehicle. In: Proceedings of the IEEE Oceans Conference 2020. DOI: [10.1109/IEEECONF38699.2020.9389482](https://doi.org/10.1109/IEEECONF38699.2020.9389482).
- Schiaretti, M., Chen, L., Negenborn, R. R. (2017): Survey on Autonomous Surface Vessels: Part II – Categorization of 60 Prototypes and Future Applications. In: Proceedings of Computational Logistics. DOI: [10.1007/978-3-319-68496-3_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68496-3_16).

Kontakt

Dr.-Ing. Janko Petereit

Fraunhofer-Institut für Opttronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB

Fraunhoferstraße 1, 76131 Karlsruhe

janko.petereit@iosb.fraunhofer.de

Open Water Levels – Vorstellung einer Smartphone-App zur mobilen photogrammetrischen Erfassung von Wasserständen

Melanie Elias

1 Einleitung

Der Begriff des globalen Klimawandels ist seit Beginn des letzten Jahrzehnts allgegenwärtig. Die Veränderung des Weltklimas ist mit einer Zunahme von Starkregenereignissen und damit einhergehenden Sturzfluten verbunden (Lehmann et al. 2015, Mueller und Pfister 2011). Ein dramatisches Beispiel zeigte sich im Sommer 2021 im Bezirk Ahrweiler, Rheinland-Pfalz. Schweren Unwetter begünstigten die Entwicklung von reißenden Sturzfluten, die innerhalb weniger Stunden weite Teile der lokalen Infrastruktur zerstörten und zahlreiche Tote und Verletzte zur Folge hatten – nicht zuletzt aufgrund ausgefallener Pegelmessstationen, deren Informationen essenziell für ein erfolgreiches Katastrophenmanagement gewesen wären (Spilcker 2021).

Folglich gewinnt die raumzeitlich hochauflöste Vermessung und Überwachung von Fließgewässern, als eine Kernkompetenz der Hydrographie (IHO 2022), zunehmend an Bedeutung. Ein wichtiger dabei zu beobachtender Parameter ist der Wasserstand. Pegelstationen erfassen kontinuierlich und präzise Wasserstände, sind aber sehr teuer in Anschaffung, Wartung und Betrieb. Aus diesem Grund werden sie vorzugsweise an wasserwirtschaftlich relevanten Gewässern mit großen Entfernungszügen zueinander installiert (Kirchner 2006). Kleinere Gewässer bleiben häufig unbeobachtet. Am Beispiel von Ahrweiler wird zudem die reduzierte Ausfallsicherheit im Falle von Extremereignissen deutlich. Um die Vorhersagequalität von Hochwasserereignissen zu verbessern, werden neuartige, kostengünstige und flexibel einsetzbare Pegelmessinstrumente zur Verdichtung von Pegelnetzen benötigt. Diese sollten sich an den Genauigkeitsanforderungen konventioneller Messsysteme orientieren, d. h. $\pm 2,5$ cm für Einzelwerte an Fließgewässern (LAWA 2018), um eine Option für den komplementären Einsatz in bestehenden Infrastrukturen darzustellen.

Ein solches Instrument findet sich in der Smartphone-App *Open Water Levels* (OWL) zur photogrammetrischen Messung von Wasserständen mittels Crowdsourcing, d.h. Einsatz interessierter Laien als „menschliche Sensoren“.

Die Kontrolle über Datenaufnahme und Zusammenführung obliegt dabei den Experten. Heutige Smartphones integrieren hochauflösende Kameras, eine Vielzahl von Sensoren, z. B. zur Georeferenzierung der Kamerabilder, leistungsfähige Prozessoren und Massenspeicher und scheinen aufgrund ihrer weitreichenden Verbreitung prädestiniert als Messgeräte für Crowdsourcing-Anwendungen. In Elias (2021) wird umfangreich der Einsatz von Smartphones als mobile Messgeräte adressiert und die Entwicklung der App OWL zur Pegelmessung beschrieben. Die vorliegende Publikation fasst die Kernpunkte der Methodik zusammen, zeigt das Genauigkeitspotenzial der App auf und verweist auf ausstehende Entwicklungsarbeiten bevor diese zum Crowdsourcing freigegeben werden kann.

2 Methodik

OWL gleicht auf den ersten Blick einer konventionellen Kamera-App basierend auf dem Open Source Framework *Open Camera 1.38* (Harman 2022). Nutzer/innen können Wasserstände an kleinen und mittleren Fließgewässern

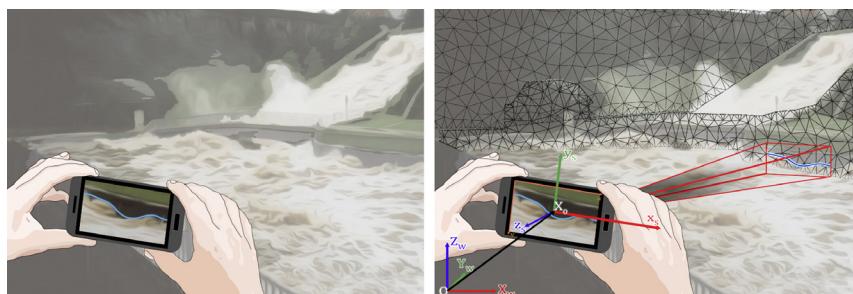


Abb. 1: Stilisiertes Messprinzip der App OWL. Links: Bildaufnahme und Wasserliniendetektion. Rechts: Referenzieren der Wasserlinie im Objektraum.

durch Bildaufnahmen des jeweiligen Uferbereichs photogrammetrisch messen ohne Expertenwissen, spezielle Ausrüstung und/oder Targets im Untersuchungsgebiet zu benötigen. Um aus Kameraaufnahmen Pegelinformationen ableiten zu können sind zwei essenzielle Probleme zu lösen. Zunächst wird ein Bildanalyseverfahren zur Bildmessung von Wasserlinien verlangt. Diese müssen anschließend in den Objektraum transferiert und referenziert werden, um als Pegelmessungen interpretiert werden zu können. Das Messprinzip ist in Abb. 1 veranschaulicht.

2.1 Bildmessung von Wasserlinien

In der Literatur sind zahlreiche Verfahren zur Erkennung und Segmentierung von Wasser- und Landflächen in Bildaufnahmen beschrieben, allerdings beziehen sich diese überwiegend auf die Auswertung multispektraler Luft- und Satellitenbilder und eignen sich nicht zur Implementation auf Smartphones. Abhilfe schafft das in Kröhnert und Meichsner (2017) vorgestellte Verfahren zur Segmentierung von Nahbereichsaufnahmen basierend auf der raumzeitlichen Variabilität der Aufnahmeszenerie. Anstelle eines Einzelbildes wird eine kurze, handgehaltene Zeitraffersequenz mit dem Smartphone aufgenommen, zur ersten Aufnahme, die als Referenzbild dient, ko-registriert und zur Berechnung einer Raum-Zeit-Textur eingesetzt. Bildbereiche, die im Beobachtungszeitraum keine Veränderungen zeigen, z. B. steiniges Ufer, lassen sich darin von variablen Bereichen, z. B. fließendes Wasser, trennen und die Abgrenzung als Wasserlinie interpretieren. Um Fehlinterpretationen infolge dynamischer Hintergrundszenerien zu vermeiden, werden die Nutzer/innen aufgefordert das Interessengebiet über ein angezeigtes Einzelbild, berechnet aus der Zeitraffersequenz, per Swipe entlang der Wasserlinie einzuschränken. Über die grob selektierte Wasserlinie wird ein Begrenzungsrahmen festgelegt, dessen Inhalt mittels Region-Growing-Ansatz in stabile Ufer- und dynamische Wasserbereiche segmentiert wird. Die Abgrenzung fungiert als erste Näherung der Wasserlinie, welche mittels lokal-gewichteter Regression von Ausreißern bereinigt und per Spline-Interpolation eingepasst wird. Die jeweils berechnete Wasserlinie muss von den Nutzern/Nutzerinnen verifiziert und zur weiteren Prozessierung freigegeben werden. Im Falle einer fehlerhaften Bestimmung wird die Messung entweder wiederholt oder die per Swipe selektierte Wasserlinie akzeptiert.

2.2 Bestimmung des Wasserstandes

Die Übersetzung der Bildmessung in den Objektraum erfolgt durch Verschnitt der Wasserlinie mit kolorierten, georeferenzierten 3D-Referenzdaten des zu untersuchenden Gewässerabschnitts, z.B. eine per Structure-from-Motion erzeugte 3D-Punktwolke. Die 3D-Daten dienen zur Erzeugung eines fotorealistischen Abbildes der Aufnahmesituation unter Verwendung von Näherungswerten zu Kameraposition und -orientierung, gemessen von in Smartphones integrierten Sensoren zur Standortbestimmung, Beschleunigungs- und Rotationsmessung sowie digitalen Kompass.

Die Zuordnung von Referenzbild und synthetisch erzeugtem Bild erlaubt die Bestimmung der inneren und äußeren Orientierungsparameter der Smartphone-Kamera zum Zeitpunkt der Zeitrafferaufnahme mittels räumlichen

Rückwärtsschnitt. Als Zuordnungsverfahren fungiert das auf neuronalen Netzen basierende D2-Net (Dusmanu et al. 2019). D2-Net ist in der Lage komplexe Bildsemantiken zu erkennen und Bilder stark unterschiedlicher Perspektiven und Farbtexturen einander zuzuordnen. Nach Rekonstruktion der Aufnahmesituation per räumlichen Rückwärtsschnitt lässt sich die im Bild gemessene 2D-Wasserlinie in den 3D-Objektraum projizieren und der vorherrschende Wasserstand im Referenzsystem der 3D-Daten ableiten.

2.3 Implementation

OWL basiert auf dem Client-Server-Paradigma, z. B. Eckerson (1995), um Prozesse auf dedizierte Systeme zu verteilen. Das Prinzip ist in Abb. 2 dargestellt. Während die semi-automatische Bildmessung der Wasserlinie auf dem Smartphone (Client) erfolgt, wird deren Transformation in den Objektraum vollautomatisch serverseitig durchgeführt. Referenzbild, gemessenen Wasserlinie sowie

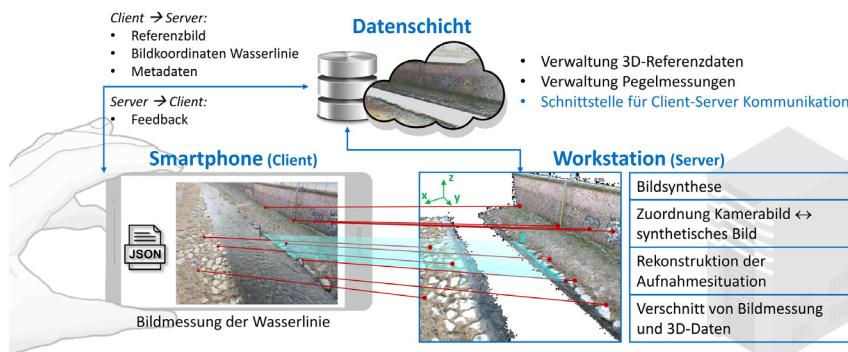


Abb. 2: Ablauf und Implementation von OWL

Metadaten zur Rekonstruktion der Aufnahmesituation, z. B. Kameraposition und -orientierung, werden dazu an eine Workstation mit Anbindung an eine Datenbank mit 3D-Referenzdaten über das Internet geschickt und bei Vorliegen geeigneter 3D-Daten prozessiert. Anschließend wird der/die Nutzer/in per Push-Nachricht über das Ergebnis informiert. Bei erfolgreicher Berechnung wird die georeferenzierte Pegelmessung in einer Datenbank zur Weiterverarbeitung durch Experten abgelegt. Detaillierte Informationen zur Implementation des Verfahrens sind in Elias (2021) sowie Elias et al. (2019) nachzulesen.

3 Genauigkeitspotenzial

Die Ermittlung des Genauigkeitspotenzials von OWL erfolgte mittels Soll-Ist-Vergleich mit konventionell gemessenen Pegelständen. Über zehn Tage wurden täglich zwei Messungen an der vereinigten Weißeritz in Dresden-Altplauen, Sachsen durchgeführt (siehe Fotos in Abb. 2). An jener Messstelle ist eine staatlich betriebene Pegelmessstation installiert, deren Messwerte vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie geprüft und veröffentlicht werden. Für detaillierte Informationen zur Genauigkeitsanalyse sei an dieser Stelle auf Elias et al. (2019) verwiesen.

Die Messungen von OWL zeigten eine durchschnittliche Abweichung von 2 cm, insofern synthetisches und reales Kamerabild einen konsistenten Bildinhalt aufwiesen. Konnten keine Messwerte erhoben werden, so lag die Ursache zumeist in den von Smartphone-Sensoren gemessenen Näherungswerten der Bildaufnahmeposition und -orientierung, welche essenziell für die Bildsynthese sind. Grob falsche Messwerte führen zu einer fehlerhaften Definition des zu rendernden Sichtbereichs aus den 3D-Daten und folglich zu Problemen bei der Rekonstruktion der Aufnahmesituation und Projektion der Wasserlinie. Nähere Informationen zu Genauigkeit und Zuverlässigkeit von mit Smartphones gemessenen Positions- und Orientierungsparametern sind in Elias et al. (2019) und Elias und Maas (2020) nachzulesen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein neuartiges, photogrammetrisches Messinstrument zum Crowdsourcing von Pegeldaten, implementiert in die Smartphone-App OWL, vorgestellt. Liegen zuverlässige Informationen über die Position und Orientierung der Smartphone-Kamera sowie 3D-Referenzdaten zur Registrierung einer im Bild gemessenen Wasserlinie vor, so erreicht OWL ähnliche Genauigkeiten bei der Pegelmessung wie konventionelle Pegelstationen.

Die App liegt gegenwärtig als Betaversion für Android-Smartphones vor, welche auf ausgewählten Geräten getestet wurde. Für eine finale Freigabe müssen u.a. umfangreiche Unit- sowie Integrationstest von App, Datenschicht und Serveranwendung auf unterschiedlichsten Geräten durchgeführt sowie die Infrastruktur zur Prozessierung und Speicherung großer eingehender Datenmengen aufgebaut werden.

Ausgehend von einer flächendeckenden Nutzung der Anwendung erlaubt OWL die Erfassung von Wasserständen an bisher unüberwachten Flüssen bei Extremereignissen und zeigt Potenzial zum komplementären Einsatz in bestehenden Infrastrukturen und zum Aufbau neuer Messnetze.

Literatur

- Dusmanu, M., Rocco, I., Pajdla, T., Pollefeys, M., Sivic, J., Torii, A., Sattler, T. (2019): D2-Net: A Trainable CNN for Joint Detection and Description of Local Features. In: arXiv Preprints, 1905.03561.
- Eckerson, W. W. (1995): Three Tier Client/Server Architecture: Achieving Scalability, Performance, and Efficiency in Client Server Applications. In: Open Information Systems, Band 3, 46–50.
- Elias, M. (2021): On the use of smartphones as novel photogrammetric water gauging instruments. Developing tools for crowdsourcing water levels. PhD thesis. Technische Universität Dresden.
- Elias, M., Kehl, C., Schneider, D. (2019): Photogrammetric water level determination using smartphone technology. In: The Photogrammetric Record, Band 34, Nr. 166, 198–223.
- Elias, M., Maas, H.-G. (2020): Investigation on multi-sensor fusion strategies for improved orientation determination in mobile phone imaging applications. In: ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Nr. V-1-2020, 181–187.
- Harman, M. (2022): <https://sourceforge.net/projects/opencamera/>, letzter Zugriff 04/2022.
- IHO (2022): <https://iho.int/en/importance-of-hydrography>, letzter Zugriff 04/2022.
- Kirchner, J. W. (2006): Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology. In: Water Resources Research, Band 42, W03S04.
- Kröhner, M., Meichsner, R. (2017): Segmentation of environmental time lapse image sequences for the determination of shore lines captured by hand-held smartphone cameras. In: ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Nr. IV-2/W4, 1–8.
- LAWA (2018): <https://bit.ly/3JYZLjM>, letzter Zugriff 04/2022.
- Lehmann, J., Coumou, D., Frieler, K. (2015): Increased record-breaking precipitation events under global warming. In: Climatic Change, Band 132, Nr. 4, 501–515.
- Mueller, E. N., Pfister, A. (2011): Increasing occurrence of high-intensity rainstorm events relevant for the generation of soil erosion in a temperate lowland region in Central Europe. In: Journal of Hydrology, Band 411, Nr. 3–4, 266–278.
- Spilcker, A. (2021): <https://bit.ly/3t9B52l>, letzter Zugriff 04/2022.

Kontakt

Dr.-Ing. Melanie Elias
Institut für Photogrammetrie & Fernerkundung, TU Dresden
Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden
melanie.elias@tu-dresden.de

Using GNSS Signals to Measure Water Levels in ITRF

Kristine M. Larson | Makan Karegar | Simon Williams

1 GNSS Instruments and Water Reflections

GNSS instrumentation has been used in land surveying and geodetic positioning for many decades. More recently it was demonstrated that these same GNSS instruments can be used to accurately measure water levels (Larson et al. 2013, Larson et al. 2017). An instrument that can simultaneously measure three-dimensional position and relative sea level means that it is possible to measure water levels in a well-defined terrestrial reference frame. The method of using GNSS signals to measure water levels is often called GNSS interferometric reflectometry (GNSS-IR) because it uses the interference pattern created by the direct and reflected GNSS signals. The interference pattern is related to the extra path

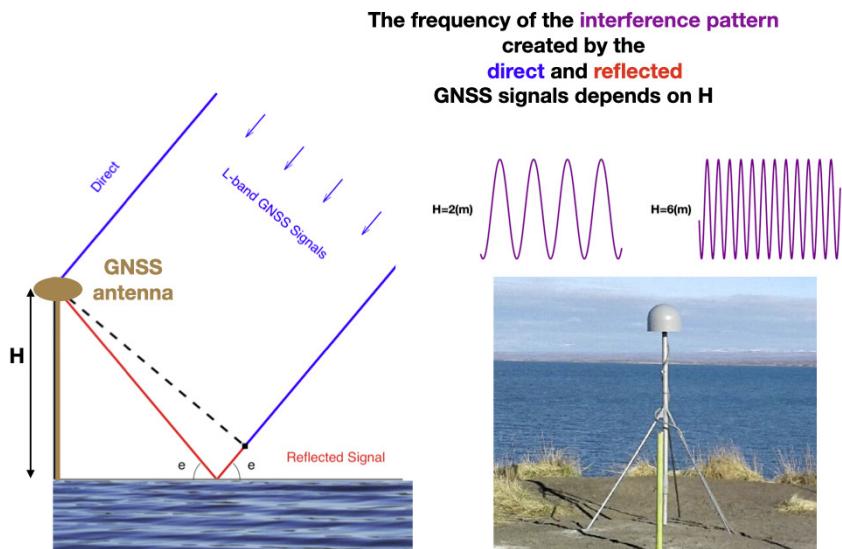


Fig. 1: Each rising or setting GNSS signal is used to estimate H – and thus the GNSS site serves as a tide gauge defined in ITRF. Data can be automatically analysed at <https://gnss-reflections.org>.

traveled by the reflected signal. As shown in Fig. 1, the frequency of the interference pattern is linearly related to the vertical height of the GNSS antenna phase center above the water surface, and thus relative sea level. The area over which the reflections occur is also directly related to the height of the GNSS antenna and the elevation angle of the satellite.

Although the initial studies of GNSS-IR took advantage of existing GNSS instruments, there is no reason that an inexpensive GNSS instrument (such as the one in your cell phone) could not be used in an analogous fashion. Several studies have shown the value of using these cheaper units (Strandberg and Haas 2019, Williams et al. 2020). Here we will describe the basic principles of GNSS-IR and summarize its accuracy. We will also share access to open source software that has been developed to analyze GNSS data for this purpose (Larson 2022).

References

- Larson, K. M. (2022): gnssrefl software description, <https://github.com/kristinemlarson/gnssrefl>, accessed 04/2022.
- Larson, K. M., Ray, R. D., Nievinski, F. G., Freymueller, J. (2013): The Accidental Tide Gauge, In: IEEE Geosci. Rem. Sens. Lett., Vol. 10(5). 1200–1205. DOI: [10.1109/LGRS.2012.2236075](https://doi.org/10.1109/LGRS.2012.2236075).
- Larson, K. M., Ray, R. D., Williams, S. P. (2017): A ten year comparison of water levels measured with a geodetic GPS receiver versus a traditional tide gauge. In: J. Atmos. Ocean Tech., Vol. 34(2). 295–305. DOI: [10.1175/JTECH-D-16-0101.1](https://doi.org/10.1175/JTECH-D-16-0101.1).
- Strandberg, J., Haas, R. (2019): Can we measure sea level with a tablet computer, GPS Solut., 23:61. DOI: [10.1109/LGRS.2019.2957545](https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2957545).
- Williams S. D. P., Bell, P. S., McCann, D. L., Cooke, R., Sams, C. (2020): Demonstrating the potential of low-cost GPS units for the remote measurement of tides and water levels using interferometric reflectometry. In: J. Atmos. Ocean Tech. Vol. 37(10). 1925–1935. DOI: [10.1175/JTECH-D-20-0063.s1](https://doi.org/10.1175/JTECH-D-20-0063.s1).

Kontakt

Prof. Emerita Kristine Larson
Universität Bonn
Nußallee 17, 53315 Bonn
klarson@uni-bonn.de

Digitalisierung von Wasserbauwerken – Anwendungen, Chancen und Herausforderungen in der Praxis

Christian Hesse

Zusammenfassung

Die Erfassung von Gewässern, Böschungen und Strukturen im Binnen- und küstennahen Bereich ist Standardaufgabe der Hydrographie. Hierfür existieren eine Vielzahl an Sensorsystemen verschiedener Hersteller, Softwareprodukte zur Auswertung und Dienstleister am Markt. Im Hinblick auf die bautechnische Prüfung, Schadenerkennung und Bewertung unter Wasser liegender Bauwerksteile von Hafen- und sonstigen Verkehrsinfrastrukturbauwerken wie Schleusen, Ufereinfassungen, Spundwänden und Pfahlkonstruktionen sind jedoch genaue und hochauflösende 3D-Daten erforderlich, die bislang nicht in ausreichender Qualität verfügbar sind.

Aufgrund der großen Bedeutung der genannten Themenfelder wurde 2017 die HydroMapper GmbH als Joint-Venture zwischen dem Vermessungsbüro Dr. Hesse und Partner Ingenieure und der WKC Hamburg GmbH gegründet, um die beschriebene Lücke bei der Erfassung ebendieser Daten zu schließen.

Parallel zu den seit 2017 von HydroMapper angebotenen kommerziellen Dienstleistungen wurde 2018 ein vom BMVI finanziertes Forschungsprojekt mit Partnern wie Niedersachsen Ports, dem Geodätischen Institut der Leibniz Universität Hannover und dem Fraunhofer IGP aus Rostock initiiert, welches sich mit der Weiterentwicklung der Messtechnologie, Aspekten der Datenverarbeitung sowie der Auswertemethodik durch Nutzung von KI-Verfahren und der automatisierten Erstellung von BIM-Modellen beschäftigt (Hake et al. 2020).

Dieser Beitrag zeigt anhand aktueller Praxisbeispiele, wie hochauflösende 3D-Daten mittels innovativer Unterwasser-Scansysteme zuverlässig und performant erfasst und für den Betrieb und die Instandhaltung von Hafeninfrastruktur genutzt werden können. Durch die mit diesen Verfahren erhobenen Bauwerksdaten können Schäden qualifiziert erfasst und dadurch Instandsetzungsmaßnahmen möglichst frühzeitig und schadensminimierend eingeleitet werden. Die genutzten Systeme und Verfahren liefern erstmals eine Genauigkeit und Auflösung, die sowohl eine Zustandserfassung und -bewertung von Infrastrukturbauwerken im Rahmen wiederkehrender Bauwerksprüfungen als auch

die nachhaltige Steuerung und Qualitätssicherung von komplexen Bauprozessen für Infrastrukturbetreiber, Ingenieurbüros und Bauunternehmen ermöglichen.

1 Einführung

Insgesamt existieren in Deutschland etwa 3000 km Uferwände in Häfen und an Wasserstraßen sowie rund 2500 km Verkehrswasserbauwerke entlang der Bundeswasserstraßen. Die Datenlage all dieser Bauwerke ist altersbedingt nicht vollständig oder nur wenig digitalisiert. Über Wasser können diese Daten für Planungen oder Bauwerksprüfungen mit bewährten Techniken wie Laserscanning oder UAV-Befliegungen erfasst und somit für das Building Information Modeling (BIM) genutzt werden.

Ein großer Teil dieser Bauwerke befindet sich jedoch unter Wasser, hier ist die bisherige Datenaufnahme entweder händisch mit Tauchern erfolgt oder basiert auf analogen Bestandsunterlagen, die nicht vollständig georeferenziert sind und damit als Planungsdaten oder gar als BIM-Basis nicht beziehungsweise nur sehr eingeschränkt verwendet werden können.

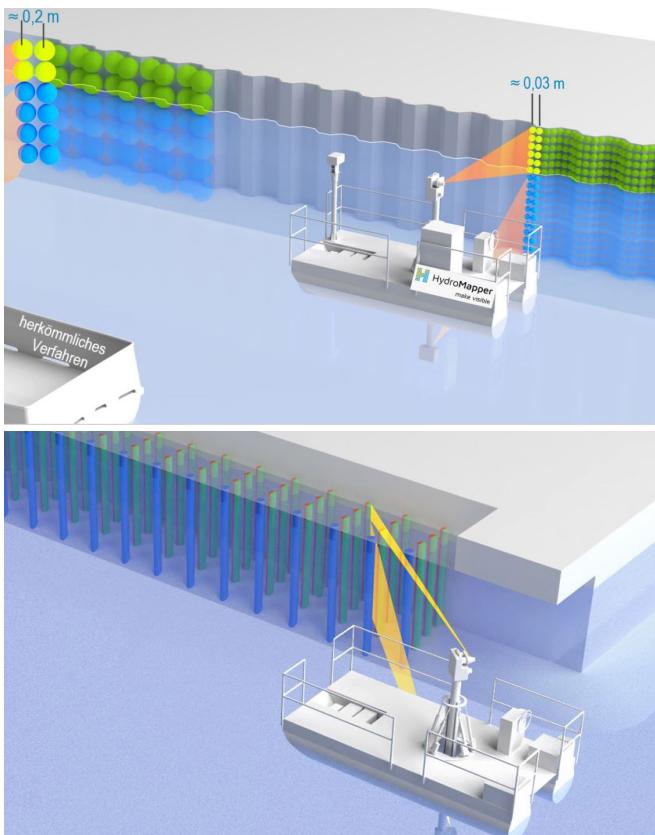
2 HydroMapper für die vertikale Erfassung unter Wasser

2.1 Rahmenbedingungen unter Wasser

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Anforderungen an Messtechnik, Aufnahmegerometrie und Sensorkonfiguration durch die jeweiligen Bauwerkseigenschaften, Wassertiefen, Abschattungen, Zugänglichkeiten sowie die Synchronisation mit dem Bauprozess wurden zwei unterschiedliche Systeme für die Unterwassererfassung von hochauflösenden 3D-Daten entwickelt. Hierbei handelt es sich um ein Unterwasser-Scanningsystem (vgl. Kap. 2.2), das für die Erfassung langgestreckter Objekte entwickelt wurde und das System VertiScan (vgl. Kap. 2.3), das für tiefe bis sehr tiefe Baugruben optimiert wurde.

2.2 Lineares Unterwasser-Scanning

Das Unterwasser-Scanningsystem (Abb. 1) ist auf die wasserseitige Erfassung langgestreckter Anlagen wie Kaimauern, Uferanlagen, Schleusen und Wehre zugeschnitten. Für die homogene und hochauflösende Erfassung von Bauwerken von ihrer Wasserveite aus ist möglichst langsam und linear sowie mit gleichbleibender Geschwindigkeit am Objekt vorbeizufahren. Insbesondere die für



**Abb. 1 und
Abb. 2:**
Das Unterwas-
ser-Scanningsys-
tem im Einsatz
mit geringem
Objektabstand
bei stabil lang-
samer Fahrt
und manueller
Ausrichtung der
Sensorplattform

hohe Objektauflösungen notwendigen Langsamfahrten sind für Boote und herkömmliche Wasserfahrzeuge in der Regel herausfordernd. Zum anderen wirken Querströmungen und seitliche Winde gerade bei langsamer Fahrt stark auf die Position und insbesondere das Heading von Schiffen und Booten.

Diese Rahmenbedingungen erfordern größere Sicherheitsabstände zur Kai-mauer und führen neben einer unregelmäßigen Auflösung am Objekt insbesondere häufig zu nicht idealen Auftreffwinkeln des Messsignals, was bei Unterwas-sersensoren zu systematischen Messabweichungen in der Punktfolge führt. Um dies zu verhindern, besitzt die HydroMapper Messplattform mehrere Azipod-Antriebe, welche eine kontinuierliche Heading-Korrektur während der Messfahrt ermöglichen.

Zur Vermeidung von Abschattungen, insbesondere bei gestaffelten Pfahlrei-hen aber auch bei Spundwänden, werden zusätzliche Messfahrten mit manuell schräg nach vorn beziehungsweise schräg nach hinten ausgerichteter Sensor-

plattform absolviert. Neben einer vollständigeren Objektaufnahme kann so stets auch ein optimalerer Aufreffwinkel auf die Objektoberfläche und somit eine bessere Datenqualität gewährleistet werden (Abb. 2).

Die hier gewonnenen 3D-Daten dienen Betreibern, Planern sowie Bauunternehmen als Grundlage für die Digitalisierung von Bestandsbauwerken, Bauwerksprüfungen, Bauprozessen und die Einführung der BIM Methodik. Mit dem Unterwasser-Scanningsystem können bis zu 1,5 km Kaimauer pro Tag erfasst werden. Hesse et al. (2019) zeigen die Leistungsfähigkeit und Charakteristiken des Messsystems.

2.3 Unterwasser-Scanning für tiefe Baugruben (VertiScan)

Das VertiScan System (Abb. 3) wurde als stationäre Variante konzipiert, um eine durchgreifende Qualitätssicherung bei der Herstellung tiefer Baugruben und Schachtbauwerke während des eigentlichen Bauprozesses sicherzustellen. Mit dem zum Patent angemeldeten System können beispielsweise Baugruben bis zu einer Tiefe von 30 m sehr schnell und hochauflösend erfasst werden.

Dieses Verfahren hilft Baufirmen und Betreibern während der eigentlichen Bauausführung, die Position und Ausrichtung von Spundbohlen oder Bohrpfählen zu bestimmen sowie mögliche Bentonitanhaftungen in den Spund-

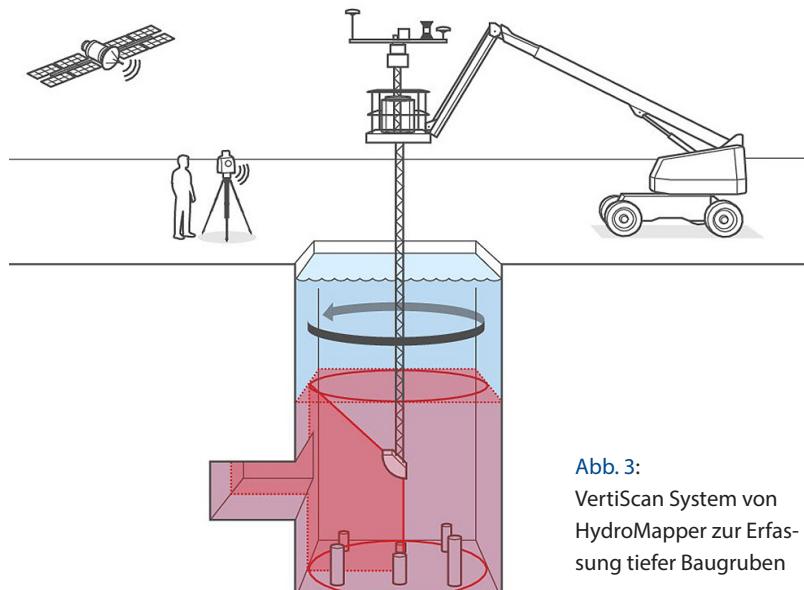


Abb. 3:
VertiScan System von
HydroMapper zur Erfas-
sung tiefer Baugruben

bohlentälern von Unterwasserbetonsohlen noch im gefluteten Zustand vollständig zu erkennen.

Es ist insbesondere auch für große Tiefen entwickelt worden. Hierdurch können – weit bevor das eigentliche Lenzen der Baugrube erfolgt – im Falle von Abweichungen die statischen Annahmen geprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Dies führt nicht nur zu einer deutlich erhöhten Sicherheit des Bauprozesses, sondern im Falle von unerkannten Abweichungen auch zur Risiko- und Kostenminimierung.

3 Wasserseitige Photogrammetrie (HD Mapping)

Zur Bestandserfassung von langgestreckten Wasserbauwerken wurde als Alternative zum wetteranfälligen Drohneneinsatz sowie als kontrastreiche wie auch hochauflösende Alternative zu einem Laserscan ein Dreikamera-System entwickelt, das wasserseitig Bauwerke in HDR Qualität erfasst. Die Einzelbilder werden zu einem verzerrungsfreien, also orthorektifizierten, HD-Bild und einer Punktfolge prozessiert (optional georeferenziert). An einem Tag können auf diese Weise Kaimauern und Ufereinfassungen von bis zu 5 km Länge erfasst werden. Insbesondere für die Vorbereitung oder im Rahmen der Durchführung einer Bauwerksinspektion ist das vertikale Orthophoto (VDOP) durch seine lückenlose Dokumentation in Verbindung mit der Vermessbarkeiten von bestehenden Bauwerksschäden besonders wertvoll ([Abb. 4](#) und [Abb. 5](#)). Erste Ergebnisse zeigen, dass bei der Vorbereitung einer Bauwerksprüfung durch den Einsatz des HD-Mappers eine Zeiter spart von bis zu 30 bis 50 % möglich ist.



Abb. 4 und Abb. 5: Schadensplan und Flächenvermessung im VDOP über das WebPortal

4 Fazit und Ausblick

Die hohe Genauigkeit und Auflösung der durch HydroMapper erfassten 3D-Daten ermöglicht es Betreibern, Ingenieurbüros und Bauunternehmen, georeferenzierte und flächige Bestandsaufnahmen für die Bauwerksprüfungen, Planungen und Bauausführungen sowie zur Verbesserung der Lebensdaueranalyse zu erheben. Die Ergebnisse können dabei ortsunabhängig von allen Disziplinen in einem barrierefreien WebPortal genutzt werden. Durch die Verbesserung der zentralen und quasi vollständigen 3D-Datenbasis lassen sich erhebliche Effizienzgewinne bei Instandsetzungsplanung, der Bauwerksprüfung oder der Ausführung von Baumaßnahmen erzielen. Darüber hinaus hilft das Wissen über den Erhaltungszustand, um Maßnahmen und Erfordernisse frühzeitig abzuschätzen und entsprechend zuverlässig durchführen zu können. Durch die vollständige und georeferenzierte Erfassung mit dem 3D HydroMapper System kann der genaue Ist-Zustand für ein Bauwerksmonitoring erfasst, Betriebsunterbrechungen können reduziert und die Zuverlässigkeit von Infrastrukturbauwerken nachhaltig verbessert werden.

Literatur

- Hake, F., Hermann, F., Alkhatib, H., Hesse, C., Holste, K., Umlauf, G., Kermarrec, G., Neumann, I. (2020): Damage detection for port infrastructure by means of machine-learning-algorithms. Submitted to FIG Working Week in Amsterdam.
- Hesse, C., Holste K., Neumann, I. (2019): 3D HydroMapper, ein innovatives Über- und Unterwasserscansystem zur Bauwerksinspektion. In: DVW e. V. (Hrsg.): Terrestriisches Laserscanning 2019 (TLS 2019). DVW-Schriftenreihe, Band 96, Wißner-Verlag, Augsburg, 53–62.

Kontakt

Dr.-Ing. Christian Hesse
HydroMapper GmbH
Veritaskai 8, 21079 Hamburg
christian.hesse@hydromapper.de

Session 5:

Qualitätssicherung von Beobachtungsdaten

Gewässervermessung in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) – Qualitätssicherung durch einheitliche Standards

Andreas Miggelt | Bianca Berlin

1 Gewässervermessung in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

1.1 Aufbau und Aufgabe der WSV

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) gehört zum Ressort des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV). Die WSV gliedert sich in die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) mit Sitz in Bonn und die Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter sowie die Wasserstraßen-Neubauämter in den Regionen.

Die WSV verwaltet, betreibt und unterhält die im Eigentum des Bundes stehenden Bundeswasserstraßen sowie deren Anlagen und hält diese für einen sicheren Schiffsvverkehr bereit. Das Netz der Bundeswasserstraßen umfasst rund 7300 km Binnenwasserstraßen und 23.000 km² Seewasserstraßen (Abb. 1).

Für den sicheren Schiffsvverkehr sind u.a. zuverlässige Informationen zur Wasserspiegellage und zur Sohlgeometrie der Wasserstraße von entscheidender Bedeutung. Die daraus resultierende Wasserstiefe und deren durchgängige Verfügbarkeit in der Fläche sind mitbestimmend für die Transportkapazität der Schifffahrt und den Schifffahrtsweg (Fahrrinne, Fahrwasser).

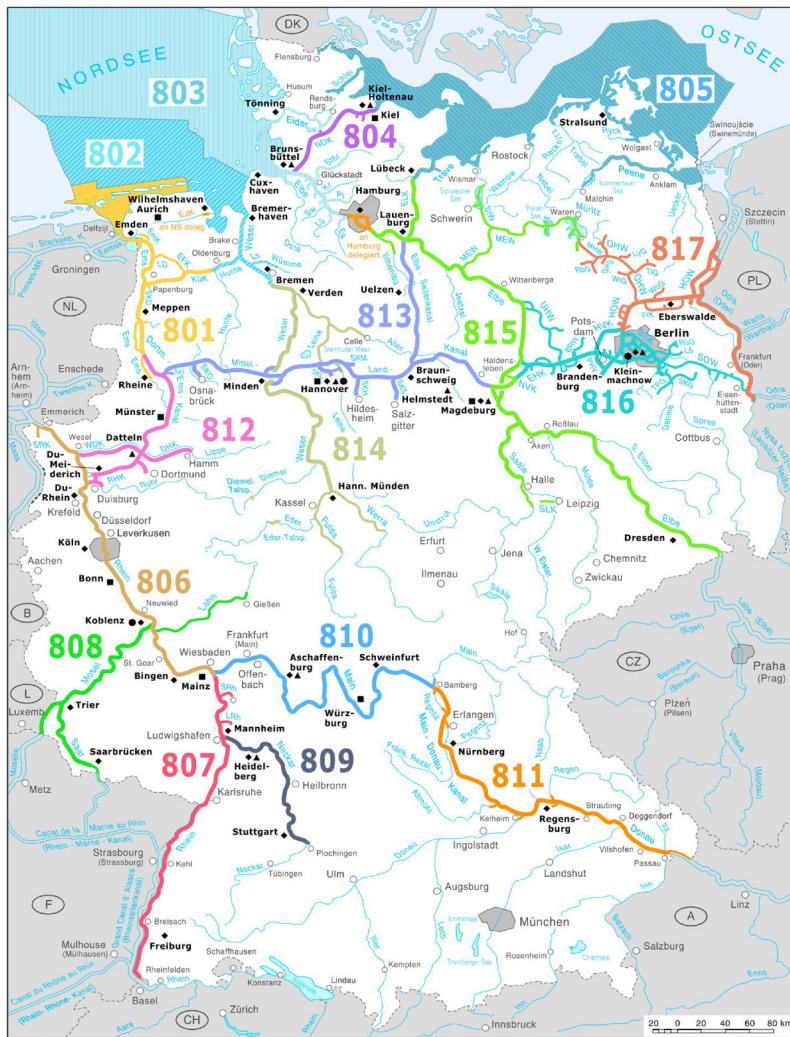
1.2 Gewässervermessung und Qualitätsanforderung

1.2.1 Aufgaben der Gewässervermessung

Die Bestimmung der Gewässertiefen und Wasserspiegellagen durch Vermessung sind zentrale Aufgaben der Gewässervermessung auf den Binnen- und Seewasserstraßen des Bundes. Damit werden umfangreich raumbezogene Informationen zur Gewässertopographie und deren Dynamik erfasst, ebenso zur morphologischen Struktur des Gewässerbettes (Abb. 2), zur Lage und Beschaf-

Bundeswasserstraßen

- Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes -



Quelle: Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, zur Verfügung gestellt gemäß GeoNutzV
Kartographie: Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (FGeoWSV)

Stand: Dezember 2021 W 161 a

WSA Ems-Nordsee [801]	WSA Main [810]	WNA Hannover [831]	■ Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS)
WSA Weser-Jade-Nordsee [802]	WSA Donau-LDK [811]	WNA Helmstedt [832]	◆ Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA)
WSA Elbe-Nordsee [803]	WSA Wiesbadener Kanäle [812]	WNA Datteln [833]	▲ Wasserstraßen-Neubauamt (WNA)
WSA Nord-Ostsee-Kanal [804]	WSA Mittellandkanal / Elbe-Seitenkanal [813]	WNA Heidelberg [834]	● Aus- und Fortbildungszentrum und Berufsbildungszentrum
WSA Ostsee [805]	WSA Weser [814]	WNA Aschaffenburg [835]	[810] interne Identnummer
WSA Rhein [806]	WSA Elbe [815]	WNA Berlin [836]	
WSA Oberniederrhein [807]	WSA Spree-Havel [816]	WNA Magdeburg [837]	
WSA Mosel-Saar-Lahn [808]	WSA Oder-Havel [817]	WNA Nord-Ostsee-Kanal [838]	
WSA Neckar [809]			

Abb. 1: Bundeswasserstraßen, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes



Quelle: WSA Elbe-Nordsee

Abb. 2:
Fächerecholot-Prinzip
am Beispiel „Peilschiff
Grimmershörn“

fenheit von Objekten im Gewässer (z. B. Hindernissuche) sowie zur Topographie der Wasseroberfläche.

In der WSV ergeben sich die Aufgaben für die Gewässervermessung aus der Eigentümerverpflichtung des Bundes (Verkehrssicherung) und aus verschiedenen Maßnahmen zu Betrieb und Unterhaltung und dem Aus- und Neubau der Bundeswasserstraßen – zunehmend auch als Datengrundlage für Maßnahmen der ökologischen Durchgängigkeit und Maßnahmen zur Abladeoptimierung, vgl. Masterplan Binnenschifffahrt – Abladeoptimierung Mittelrhein.

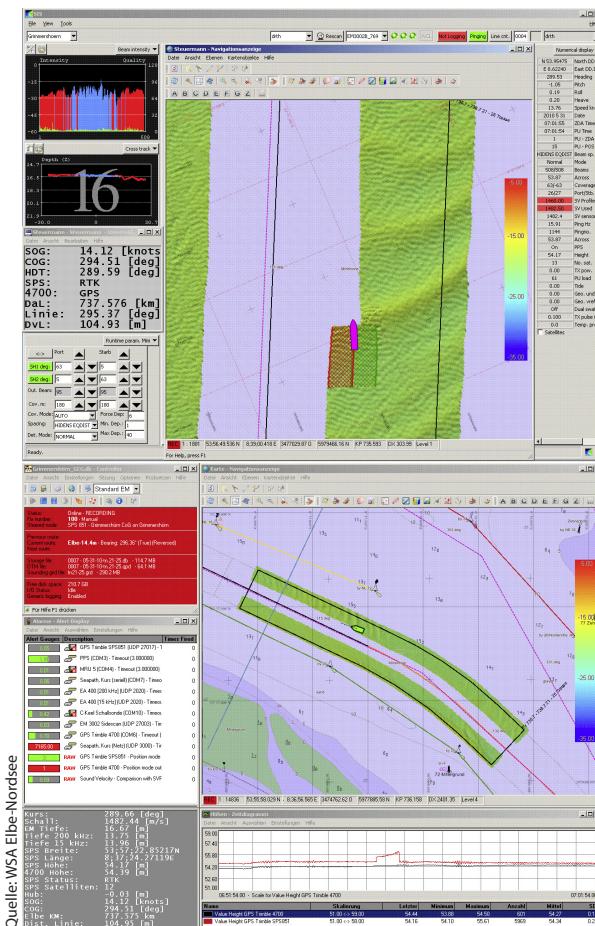
Die Jahrespeilaufgabe (Peilvorgabe) bildet das planbare Auftragsvolumen für alle Bedarfsträger ab. Die erfassten Peildaten werden aufbereitet, verwaltet, analysiert und die Ergebnisse in Produkten dargestellt ([Abb. 3](#) und [Abb. 4](#)).

Die Endprodukte sind beispielsweise:

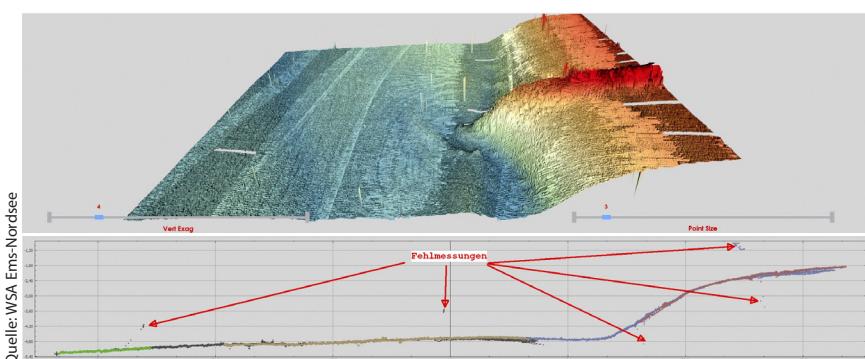
- Profile
- Tiefenschichtenpläne
- Tiefenlinien- und/oder Tiefenzahlenpläne
- Maschendarstellungen
- Schummerungspläne
- Differenzpläne
- 3D-Modelle
- Georeferenzierte Sidescandarstellungen

1.2.2 Schiffe, Messsysteme und Fachpersonal

Die WSV führt die Aufgaben der Gewässervermessung mit eigenem Fachpersonal aus. Zur Peildatenerfassung auf den Wasserstraßen kommen spezialisierte Peilschiffe zum Einsatz ([Abb. 5](#)), im Binnenbereich ergänzt durch



← Abb. 3:
Datenerfassung am
Beispiel „Peilschiff
Grimmershörn“



↓ Abb. 4:
Messdaten-
plausibilisierung

Quellen:WSA Elbe-Nordsee



Abb. 5: Peilschiff Orka



Abb. 6: Mehrfachschwinger

Außenbezirks-Boote (ABz-Boote). Die Peilschiffe und Boote sind mit unterschiedlichen Messsystemen entsprechend dem Stand der Technik für den jeweiligen Einsatzzweck ausgestattet (Abb. 6).

Die Aufbereitung, Verwaltung und Analyse der Peildaten sowie die Erstellung der Produkte erfolgt in den angeschlossenen Peilbüros der WSV mit geeigneten Peilauswertesystemen.

1.2.3 Analyse und Fortentwicklung der Gewässervermessung

Eine umfassende Analyse der Gewässervermessung in der WSV hat gezeigt, dass zwar entsprechend dem Stand der Technik und den vermessungstechnischen Grundsätzen folgend Fachpersonal und Vermessungssysteme zum Einsatz kommen, es aber Schwachstellen im Gesamtprozess gibt. Festgestellt wurde z. B.:

- Dokumentationen der Messungen/Prozesse erfolgen nur sparsam, individuell oder gar nicht, teilweise sehr sparsam
- Keine einheitlichen Regelungen zur Qualitätssicherung der Messungen
- Eine heterogene Situation in den Auswertesystemen
- Unterschiedliche Ergebnisse im Gesamtprozess – trotz erreichter Einheitlichkeit in einzelnen Prozessschritten
- Fehlendes bzw. unzureichendes Auftragsmanagement

Darauf ergibt sich folgende Schlussfolgerung: Es besteht der Bedarf an einer einheitlichen Qualitätssicherung der Gewässervermessung – den Gesamtprozess betrachtend, einschließlich dem Fachpersonal und der eingesetzten Techniken/ Systeme.

1.2.4 Entwicklung von den Standards zum QM-System

Parallel zur Einführung von Flächenpeilsystemen wurden „Standards für die qualitätsgesicherte Gewässervermessung“ (SQG) im Binnenbereich erstellt.

Bereits im November 2000 wurde in der Zielvereinbarung Controlling die Qualitätspolitik der WSV dargestellt:

„Es ist ein Qualitätsmanagementsystem (QM-System) aufzubauen, welches Qualitätsziele strategisch, konzeptionell und operativ festlegt, notwendige Standards für die Produkte der Kosten- und Leistungsrechnung (KLR) definiert und einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) fördert.“

In der Sitzung der Koordinierungsgruppe für das Peilwesen im Küstenbereich im Mai 2003 haben sich alle Teilnehmer für die Einführung der zuvor genannten SQG ausgesprochen. In einem zweiten Schritt sollten die SQG zu einem QM-System ergänzt werden. Für die spätere Einführung des QM-Systems war bereits eine Anlehnung an die ISO 9000:2000 ff vorgesehen. Dies führte zum nachstehend dargestellten angewandten Qualitätsmanagement in der WSV – aQua.

2 Definition und Anwendungsbereich von aQua

2.1 Allgemeines



aQua beschreibt alle erforderlichen Prozesse in der Gewässervermessung der WSV. Von der Auftragsannahme über die Messung, die Auswertung, der Erstellung bis hin zur Bereitstellung der Produkte. Ziel ist, die Qualität der Produkte und Dienstleistungen zu sichern und damit die festgelegte Qualitätspolitik und die daraus abgeleiteten Qualitätsziele dauerhaft zu erreichen. aQua entspricht einem Qualitätsmanagementsystem in Anlehnung an die DIN EN ISO 9001:2015.

2.2 Prozessorientierung – Schritt 1

aQua ist prozessorientiert aufgebaut. Basis ist der wertschöpfende Prozess von der Auftragsannahme über die Produktrealisierung bis hin zum fertigen Produkt (Dienstleistung) der Gewässervermessung (PAP1).

2.3 QM-System – Schritt 2

Nach DIN EN ISO 9000:2015 ist ein QM-System „Teil eines Managementsystems bezüglich der Qualität“. Der Qualitäts-Regelkreis (auch PDCA-Zyklus genannt, siehe Abb. 7) wird als grundlegendes Konzept zur Aufrechterhaltung und Verbesserung des QM-Systems verwendet (PAP2).

2.4 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP)

Ob die gelieferte Qualität den Anforderungen entspricht und die Prozesse sowie eingesetzten Methoden effektiv und effizient sind, wird regelmäßig überprüft und bewertet. Durch das Management werden ggf. Maßnahmen zur Optimierung der Prozesse, Produkte und Dienstleistungen veranlasst. Die Leitung hat die Verantwortung, dass das QM-System eingeführt, aufrechterhalten und kontinuierlich verbessert wird.

3 Qualitätssicherung durch einheitliche Standards

3.1 Qualität und Qualitätsmanagement

Ein Produkt oder eine Dienstleistung ist dann von guter Qualität, wenn derjenige, der sie erworben hat und nutzt, damit zufrieden ist ... (Hermann und Fritz 2016).

3.1.1 Qualität ...

... ist die Erfüllung von Anforderungen und Erwartungen. Qualität ist ein relativer Begriff und hat nur dann Sinn, wenn die Forderungen und Erwartungen im

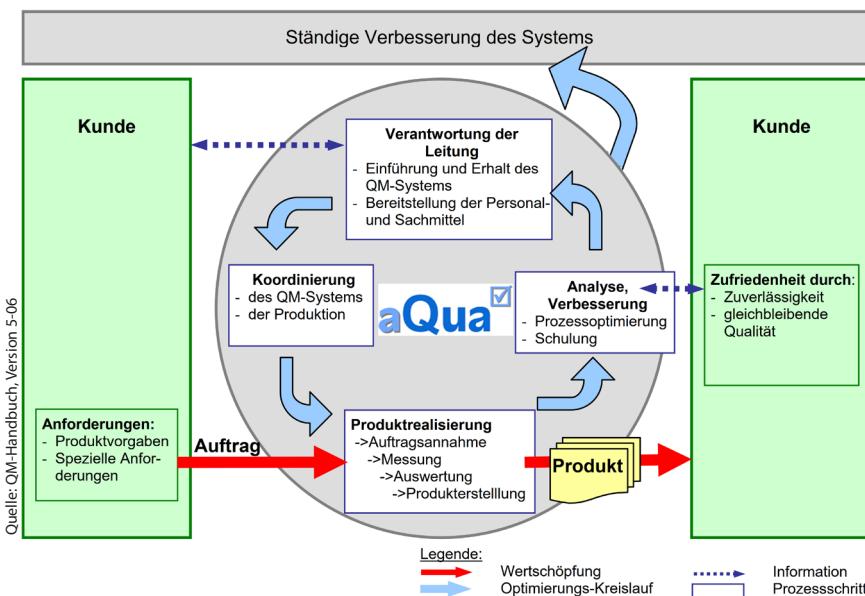


Abb. 7: Qualitätsregelkreis

Zusammenhang genannt werden, beziehungsweise bekannt sind (z. B. Produktqualität oder Prozessqualität).

3.1.2 Qualität als Begriff in der Gewässervermessung der WSV

Im Bereich der WSV ist eine einheitliche Qualitätspolitik in der Gewässervermessung definiert und im Qualitätsmanagement-Handbuch (QM-Handbuch) beschrieben. Hierzu zählen auch die Prozessqualität und die Produktqualität.

Die Messbarkeit der Qualitätsforderungen wird über Qualitätskriterien und Kennzahlen sichergestellt. Durch die WSV-weite Einführung von einheitlichen Qualitätsstandards kann die Erfüllung der Qualitätsanforderungen laut Qualitätspolitik erreicht werden.

3.1.3 Qualitätspolitik der Gewässervermessung WSV

Für die WSV bedeutet die Qualitätspolitik in der Gewässervermessung:

- Sicherstellen des gesetzlichen Auftrags → Unterhaltung der BWaStr, Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs → Gewässervermessung liefert dafür wertvolle Grundlagendaten
- Einsatz eines Qualitätsregelkreises → Optimierung der Prozesse
- Sicherstellen der Rechtssicherheit → Prozesstransparenz und Rückverfolgbarkeit der Produkterstellung
- Kundenorientierung → Anpassung der Prozesse und Produkte an die Kundeanforderungen

3.1.4 Qualitätsmanagementsystem – Allgemein

Ein QM-System ist ein Managementwerkzeug. Die Systemqualität, Prozessqualität und die Produktqualität werden regelmäßig in internen Audits geprüft und verbessert. Alle Beteiligten werden durch das QM-System verpflichtet ihre Verantwortung hinsichtlich der Qualitätspolitik wahrzunehmen.

3.2 Sichern und verbessern von Qualität – QM-Kreislauf

Die Sicherung der Qualität und Verbesserung der Prozesse erfolgt über einen QM-Kreislauf auf der Basis von festgelegten Standards (siehe auch Kap. 2.3). Die einzelnen Teilprozesse müssen darauf ausgerichtet sein, dass ihre Ergebnisse der Qualitätspolitik genügen bzw. zur Erreichung der Qualitätsforderungen beitragen.

3.2.1 QM-Beauftragter

Jedes QM-System hat zu seiner Aufrechterhaltung einen QM-Beauftragten (QMB). Für aQua nimmt diese Aufgaben die Geschäftsstelle aQua (GS aQua), als überregionaler QMB, wahr. Die Geschäftsstelle aQua ist mit LdG und Vertretern der GDWS besetzt.

3.2.2 Aufgaben der Geschäftsstelle aQua und Beauftragter der obersten Leitung (BOL)

Zu den Aufgaben der GS aQua zählen u.a. die Aufrechterhaltung von aQua, Pflege der Standards, Durchführung von Schulungen, internen Audits und dem Jahresgespräch mit der Beauftragten der Obersten Leitung (BOL). Die Fachaufsicht über die GS aQua wird von der BOL in Vertretung der Obersten Leitung wahrgenommen.

3.2.3 Standards in der Gewässervermessung der WSV

Sämtliche Prozesse für die Peilschiffe und die hydrographische Auswertung, inklusive Produkterstellung, sind in der WSV standardisiert. Zu ihnen zählen u.a. Prozesse der Systemkalibrierungen (Abb. 8), Prozesse der Durchführung einer Gewässervermessung, Prozesse der Auswertung und Produkterstellung. Die Prozessbeschreibungen und Regelungen von aQua sind grundsätzlich amtsneutral gehalten und haben überregionale Gültigkeit.

Die zuvor genannten Standards zählen in der WSV zur Stufe 1, sozusagen zur Vorstufe des eigentlichen Qualitätsmanagementsystems. Innerhalb dieser Vorstufe gibt es bereits klare Regelungen zu der Verantwortlichkeit für alle



Abb. 8: Einmessung Fächerecholot Uwe Jens Lornsen

Beteiligten. Ebenfalls ist die Rückverfolgbarkeit durch Protokolle und Dokumentationen im Falle von Widersprüchen gegeben.

Die **Stufe 2** entspricht in der WSV dem eigentlichen Qualitätsmanagementsystem. Dazu zählt u.a. der kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP). Dies ist ein systematischer Verbesserungskreislauf mit Kundenbefragungen, internen Audits durch einen QMB der Geschäftsstelle aQua, interne Managementreviews der WSAe mit dem jeweiligen Leistungsbereich und Selbstbewertungen der einzelnen Peilbüros etc.

Qualitätsziele und Kennzahlen sind sozusagen das Herzstück eines jeden QM-System: „If you can't measure it, you can't manage it“.

Die Qualitätsziele legt jedes WSA für sich fest. Hierzu zählen z. B. Kennzahlen für die Liefer- und Messtermintreue, Reklamation, Richtigkeit etc.

4 Einführung von aQua in der WSV

Die Einführung von aQua in der WSV mit den Stufen **1 und 2** erfolgt schrittweise. Für das Küstenpeilwesen wurde die Einführung durch ein Projekt, inklusive Erprobungsphase, realisiert, der Projektstart war in 2004. Seit August 2009 ist die Stufe 2 mit dem QM-System aQua für das Küstenpeilwesen der WSV im Wirkbetrieb. Die WSV-weite Einführung der aQua-Stufe 1 mit den einheitlichen Standards der Gewässervermessung für den Binnen- und Küstenbereich (aQua Dokumente Version 5) erfolgte in 2012. Die Geschäftsstelle aQua mit Sitz in der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt ist eingerichtet und nimmt die Aufgaben als überregionaler QM-Beauftragte wahr.

aQua über ein Projekt zukunftssicher in der gesamten WSV zu konsolidieren, ist das nächste Ziel. Dementsprechend hat die Leitung der GDWS den Fachbereich mit der Umsetzung der aQua-Stufe 2 im Binnenbereich beauftragt. Fachseitig wurde hierfür das „aQua Zukunftskonzept 2030“ erstellt. Hiernach ist die schrittweise Umsetzung der aQua-Stufe 2 im Binnenbereich der WSV vorgesehen. Zudem befinden sich seit einiger Zeit bereits zwei Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter des Binnenbereichs in der Erprobungsphase zur Stufe 2 und wenden das QM-System aQua an.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Für den sicheren Schiffsverkehr sind zuverlässige Informationen aus der Gewässervermessung über die Wasserstraßen von entscheidender Bedeutung. Dies erfordert ein Messen mit allen Sinnen.

Die WSV hat hierfür mit aQua ein Qualitäts-Management-System in Anlehnung an die DIN EN ISO 9001:2015 aufgebaut und in Betrieb genommen. Mit den Stufen 1 (Standards) und 2 (Qualitätsmanagement der Prozesse) wird die Qualitätssicherung der Gewässervermessung gelebt, um zur – richtigen Zeit – am richtigen Ort – das Richtige – richtig tun.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass die WSV mit aQua eine Qualitätssicherung auf Grundlage einheitlicher Standards realisieren kann – für Messungen in Eigenregie und bei Leistungserbringung für Teilaufgaben durch Dritte/Externe.

Die WSV verfolgt deshalb unter Einsatz ihrer verfügbaren Ressourcen mit dem „aQua Zukunftskonzept 2030“ die schrittweise Umsetzung der aQua-Stufe 2 im Binnenbereich und damit die WSV-weite Konsolidierung von aQua – **dem angewandten Qualitätsmanagement der Gewässervermessung in der WSV.**

Literatur

Herrmann, J., Fritz, H. (2016): Qualitätsmanagement – Lehrbuch für Studium und Praxis.

Kontakte

Andreas Miggelt

Leitung Dezernat Vermessung, Liegenschaften, Geodaten
GDWS

Am Propsthof 51, 53121 Bonn
andreas.miggelt@wsv.bund.de

Bianca Berlin

Dezernat Vermessung, Liegenschaften, Geodaten

Leitung Geschäftsstelle aQua
GDWS

Am Propsthof 51, 53121 Bonn
bianca.berlin@wsv.bund.de

Möglichkeiten und Grenzen der hochgenauen photogrammetrischen Objekterfassung unter Wasser

Thomas Luhmann | Robin Rofalksi | Oliver Kahmen

1 Einführung

Der Beitrag beschreibt grundlegende Möglichkeiten der Unterwasserphotogrammetrie. Einsatzgebiete der photogrammetrischen 3D-Rekonstruktion unter Wasser umfassen zum Beispiel die Vermessung von Wracks oder Korallenriffen, die Erfassung von Fischpopulationen, die Vermessung des Meeres- oder Gewässerbodens, das Monitoring technischer Bauwerke oder die Prüfung von Unterwasserstrukturen, z. B. Schweißnähten an Stahlkonstruktionen oder Fehlstellen an Spundwänden.

Das grundlegende Prinzip der Photogrammetrie besteht immer in der Aufnahme mit einer oder mehreren Kameras aus unterschiedlichen Standorten. Zur Lösung muss die eingesetzte Kamera kalibriert werden (innere Orientierung), jedes aufgenommene Bild in einem definierten Objektkoordinatensystem orientiert werden (äußere Orientierung) und gemeinsame identische Bildpunkte (Merkmale) gefunden und zugeordnet werden (Matching). Aus diesen Informationen lassen sich Einzelpunkte oder dichte Punktwolken der aufgenommenen Oberfläche ableiten. Mindestens eine bekannte Strecke muss im Objektraum zur absoluten Skalierung gegeben sein.

Die besonderen Herausforderungen in der Unterwasserphotogrammetrie liegen in den besonderen Abbildungsvorgängen bei Medienübergängen, die speziell modelliert werden müssen. Sie führen u. a. zu speziellen Verzeichnungseffekten oder Skalierungsproblemen. Weiterhin ist die Transmission von Wasser für verschiedene Wellenlängen sehr unterschiedlich. Im Wasser befindliche Partikel (Schwebstoffe) vermindern die Sichtbarkeit darüber hinaus signifikant.

2 Mehrmedienphotogrammetrie

Grundlegende wissenschaftliche Arbeiten zur Unterwasser- bzw. Mehrmedienphotogrammetrie gehen zurück auf Höhle (1971), Kotowski (1987) und Maas (1992), in denen die photogrammetrischen Verfahren zur Modellierung der

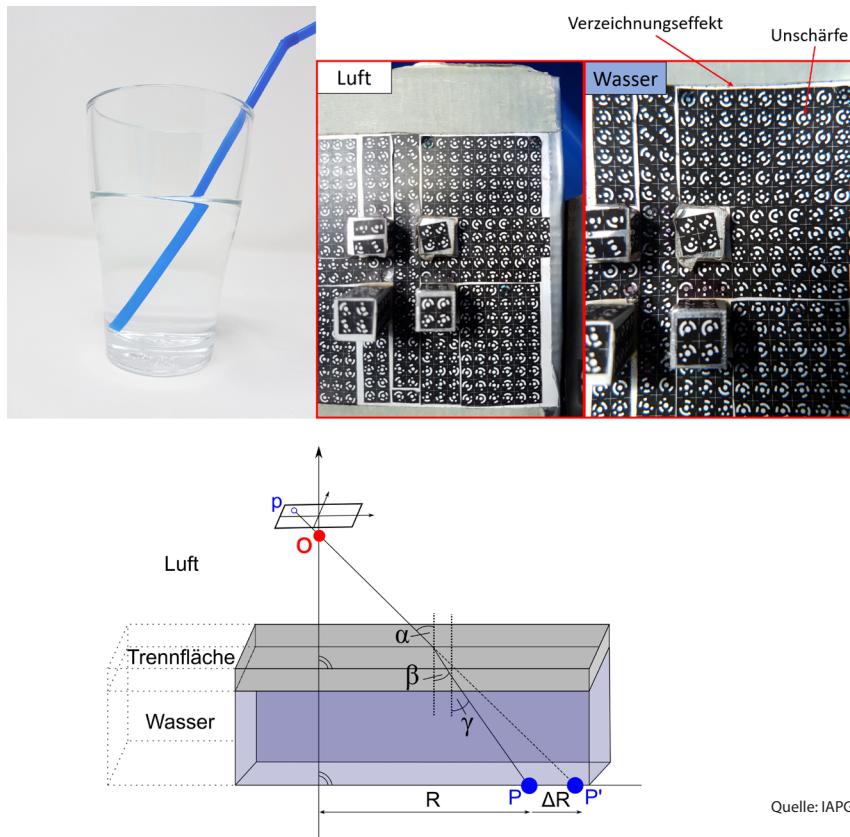


Abb. 1: Strahlbrechung und mathematische Modellierung an Medienübergängen.
Oben links: Beispielbild mit Brechung am Wasserglas. Oben rechts: Einfluss der Refraktion an flacher Trennfläche. Unten: Modellierung des Strahlverlaufs nach Maas 1992

Strahlbrechung an Medienübergängen entwickelt worden sind (siehe Abb. 1). Neue Sensorsysteme und autonome Plattformen haben das Thema in jüngerer Zeit wieder stark belebt (Luhmann und Maas 2022). So lassen sich bestimmte Strahlbrechungen vermeiden oder reduzieren, wenn halbkugelartige Abdeckgläser (Dome Ports) vor der Kamera eingesetzt werden, die von den Abbildungsstrahlen dann orthogonal (ohne Ablenkung) durchlaufen werden. Voraussetzung ist die exakte Zentrierung des Dome Ports in der Eintrittspupille des verwendeten Objektivs. Gelingt dies durch mechanische Justierung oder nachträgliche numerische Kalibrierung hinreichend genau, so können die aufgenommenen Bilder anschließend ohne Einschränkungen in Standard-Photogrammetriesoftware verarbeitet werden. Nachteilig bei Dome Ports ist ggf. der größere

Platzbedarf, z. B. bei Stereoanordnungen. Alternativ bestehen sog. Flat Ports aus einer ebenen Abdeckscheibe und führen immer zu zusätzlichen Strahlbrechungen. Bei orthogonaler Ausrichtung der optischen Achse zur Abdeckscheibe wirken sie ähnlich der radial-symmetrischen Verzeichnung. Nicht parallele oder unebene Trennflächen erzeugen asymmetrische Verzeichnungseffekte. Der Effekt der Strahlbrechung ist abhängig von der Lage und Entfernung des beobachteten Objektpunktes und muss daher für jeden gemessenen Punkt individuell kompensiert werden, was i. d. R. spezielle Softwarelösungen erfordert (z. B. Mulsow 2010, Jordt-Sedlazeck und Koch 2012 oder Rofalski und Luhmann 2022).

Bei der Kamerakalibrierung besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die eingesetzte Kamera zunächst an Luft zu kalibrieren, d.h. die Werte der inneren Orientierung ohne Abdeckungen des Gehäuses zu bestimmen. Anschließend werden medienabhängige Effekte in situ kalibriert, also nur noch Abweichungen des Modells an Luft bestimmt. Soweit korrelierende Parameter der inneren Orientierung es erlauben, ist es für hochgenaue Anwendungen sinnvoller, das gesamte Messsystem vor Ort unter den gegebenen Bedingungen (z. B. Salzgehalt, Temperatur, Druck) zu kalibrieren, z. B. mittels geeigneter Kalibrierkörper.

3 Digitale Bildverbesserung

Die starke und über das Spektrum heterogene Lichtabsorption sowie verteilte Schwebpartikel reduzieren die visuelle Qualität von Unterwasseraufnahmen erheblich. Mittels Bildverarbeitungsalgorithmen lässt sich der visuelle Eindruck

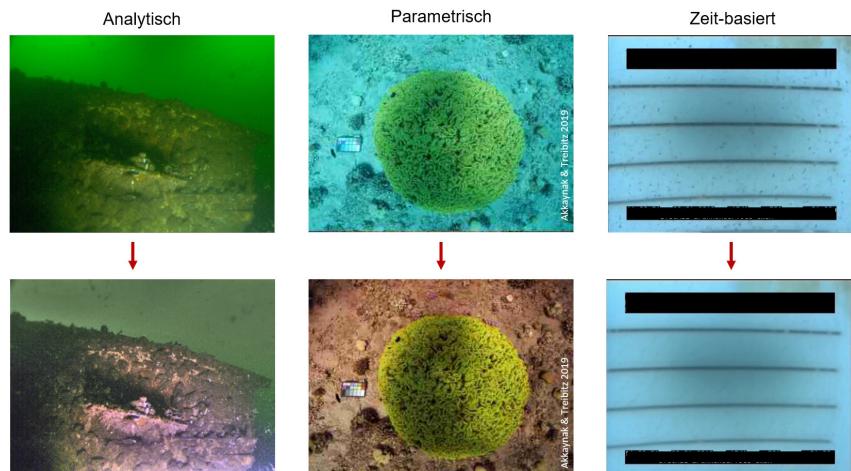


Abb. 2: Illustration verschiedener UW-Bildverarbeitungsalgorithmen

einer Luftaufnahme z. T. wiederherstellen (Abb. 2). Hierfür sind zum einen analytische Verfahren, die auf Grundlage einer angenommenen optimalen Farbwertverteilung (z. B. grey-world assumption) ein Bild ohne zusätzliche Informationen über den Inhalt verbessern können (z. B. LAB-Korrektur, Bianco et al. 2015).

Alternativ lassen sich mittels parametrischer Verfahren auch Zusatzinformationen, wie Objektentfernung durch Tiefenkarten oder Trübungsmaße, in Algorithmen integrieren. Ein prominentes Beispiel ist der Sea-thru-Algorithmus (Akkaynak und Treibitz 2019). Mittels einer Funktion zur präzisen Bestimmung der Farbdämpfung und einer Tiefenkarte können realitätsnahe Aufnahmen rekonstruiert werden, die nahezu nicht unterscheidbar von Unterwasseraufnahmen sind. Bei sehr langsamen Kamerafahrten oder Objektbewegungen lassen sich auch zeitbasierte Verfahren nutzen. Gleitende Medianfilterung von einigen benachbarten Videoframes ermöglicht die Reduktion von Schwebepartikeln zur Erhöhung des Detailreichtums.

4 Anwendungsbeispiele

Zur Untersuchung von Unterwasserobjekten kommen vermehrt unbemannte Unterwasserfahrzeuge zum Einsatz, die entweder kabelgebunden ferngesteuert (Remotely Operated Vehicles, ROV) oder autonom und kabellos (Autonomous Underwater Vehicles, AUV) agieren können. Alternativ sind Kamerasysteme auch für den handgetragenen Einsatz mit Tauchern geeignet. Im Folgenden werden drei Beispiele aus den Forschungsaktivitäten des IAPG dargestellt, bei denen sowohl manuell als auch mittels ROV aufgenommen wurde.

4.1 Kombinierte Wrackvermessung

Ein versunkener Kutter in der Ostsee wurde in Kooperation mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) sowohl photogrammetrisch als auch mittels Fächerecholot aufgenommen. Ziel der Untersuchung war eine hybride Kombination beider Verfahren, um die hohe absolute Positionsgenauigkeit des schiffstragenen Fächerecholots mit der hohen Objektauflösung und Farbinformation der photogrammetrischen Aufnahme zu kombinieren.

Ein Kamerasystem wurde an einem ROV in einem wasserdichten Gehäuse mit Dome-Port integriert (siehe Abb. 3). Anschließend wurde die Steuerbordwand des Cutters befahren, Bilder mittels LAB-Korrektur verbessert und die Daten mittels Structure from Motion (SfM) ausgewertet. Danach konnte die SfM-Punktfolge mit der Fächerecholotpunktfolge fusioniert werden. Die

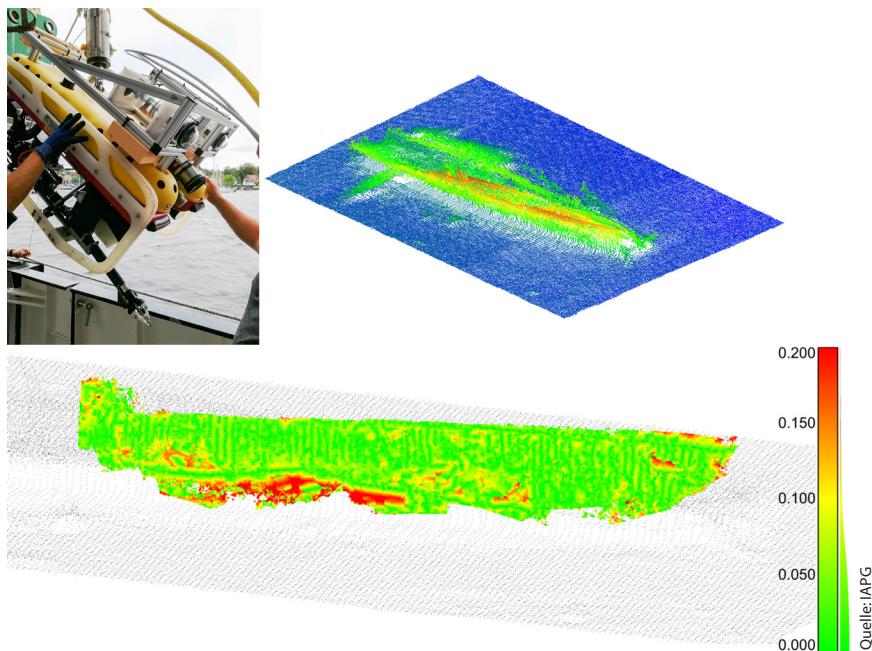
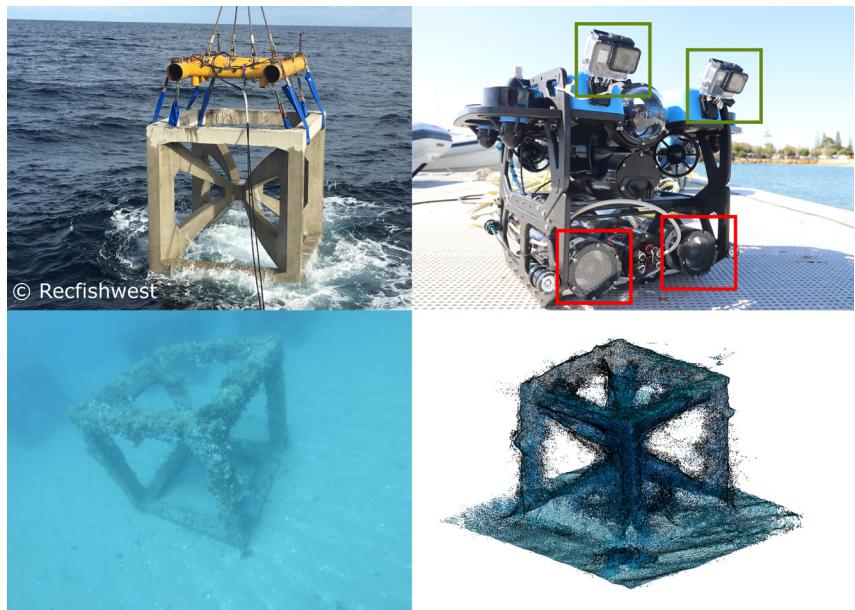


Abb. 3: Oben links: Kamerasystem auf ROV des BSH. Oben rechts: Fächerecholotpunktwolke. Unten: Cloud-to-Cloud-Abweichungen von Fächerecholot und Photogrammetrie

Daten zeigen gute Übereinstimmungen und Abweichungen im Zentimeterbereich bei gleichzeitiger deutlich erhöhter Punktdichte und Farbinformation (siehe Abb. 3 und Rofalloski et al. 2020b).

4.2 3D-Rekonstruktion von künstlichen Korallenriffen

In der Nähe der australischen Stadt Perth wurden verschiedene künstliche Riffe zur Erhöhung von Fischpopulationen und mariner Artenvielfalt im Indischen Ozean platziert (siehe Abb. 4 oben links). Mittels eigens entwickeltem Kamera- system (siehe Abb. 4 oben rechts), welches an einem Low-Cost ROV montiert wurde, konnten die 20 bzw. 30 m tief gelegenen Riffe photogrammetrisch vermessen und 3D-Punktwolken generiert werden. Im Vergleich mit einer Sollform ohne Bewuchs kann beispielsweise das Volumen der Biomasse an den Riffen abgeleitet werden. Durch klare Sichtbedingungen und zusätzlicher automatisierter Bildmaskierung wurde eine Genauigkeit im Subzentimeterbereich erreicht (Rofalloski et al. 2020a).



Quelle: IAPG

Abb. 4: Oben links: Künstliches Riff bei der Versenkung im Indischen Ozean. Oben rechts: ROV mit photogrammetrischem Kamerasystem (rot) und zusätzlichen GoPro-Kameras (grün). Unten links: Originalaufnahme unter Wasser. Unten rechts: Generierte Punktfolke eines künstlichen Riffs

4.3 3D-Rekonstruktion von Schweißnähten

Im Rahmen der zunehmenden Errichtung von Offshore- und Hafenbauwerken besteht ein hoher Bedarf nach unter Wasser geschweißten Verbindungsstellen. Deren Prüfung ist mittels geltender Richtlinien fachmännisch unter anderem visuell durchzuführen. Diese Prüfungen finden derzeit unter schlechten Sichtverhältnissen und weitgehend manuell statt. Zur objektiven Automatisierung des Verfahrens wurde ein photogrammetrisches Einkamerasystem entworfen, welches im Ultranahebereich feinste Details im Submillimeterbereich auflösen und vermessen kann (siehe Abb. 5). So können kleine Fehlstellen, wie Haarrisse und Löcher, automatisch und hochgenau detektiert werden. Genauigkeit und Auflösung liegen im Bereich von ca. 50 µm (Kahmen und Luhmann 2022).



Quelle: IAPG

Abb. 5: Schweißnaht (links) und Prototyp des Einkamerasytems bestehend aus einem Acrylgehäuse mit Dome Port und einer Industriekamera (rechts)

Literatur

- Akkaynak, D., Treibitz, T. (2019): Sea-Thru: A Method for Removing Water From Underwater Images. In: IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 1682–1691. DOI: [10.1109/CVPR.2019.000178](https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.000178).
- Bianco, G., Muzzupappa, M., Bruno, F., Garcia, R., Neumann, L. (2015): A new color correction method for underwater imaging. In: ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5/W5, 25–32.
- Höhle, J. (1971): Zur Theorie und Praxis der Unterwasser-Photogrammetrie. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 163, München.
- Jordt-Sedlazeck, A., Koch, R. (2012): Refractive Calibration of Underwater Cameras. In: Fitzgibbon A., et al. (Hrsg.), Computer Vision – ECCV 2012. Springer, Berlin, Heidelberg, 846–859.
- Kahmen, O., Luhmann, T. (2022): Monocular Photogrammetric System for 3D Reconstruction of Welds in Turbid Water. In: PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science. DOI: [10.1007/s41064-022-00191-2](https://doi.org/10.1007/s41064-022-00191-2).
- Kotowski, R. (1987): Zur Berücksichtigung lichtbrechender Flächen im Strahlenbündel. Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften Reihe C, Vol. 330. Beck, München.
- Luhmann, T., Maas, H.-G. (2022): Recent Developments in Multi-Media and Underwater Photogrammetry. In: PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, Vol. 90, issue 1.
- Maas, H.-G. (1992): Digitale Photogrammetrie in der dreidimensionalen Strömungsmesstechnik. ETH Zürich – Dissertation Nr. 9665.
- Mulsow, C. (2010): A flexible multi-media bundle approach. In: ISPRS Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci XXXVIII/5:472–477.
- Rofalski, R., Luhmann, T. (2022): An Efficient Solution to Ray Tracing Problems in Multimedia Photogrammetry for Flat Refractive Interfaces. In: PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science. DOI: [10.1007/s41064-022-00192-1](https://doi.org/10.1007/s41064-022-00192-1).

Rofalski, R., Tholen, C., Helmholz, P., Parnum, I., Luhmann, T. (2020a): Measuring artificial reefs using a multi-camera-system for unmanned underwater vehicles. In: ISPRS Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci XLIII-B2-2020:999–1008. DOI: [10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-999-2020](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-999-2020).

Rofalski, R., Westfeld, P., Nistad, J.-G., Büttner, A., Luhmann, T. (2020b): Fusing ROV-based photogrammetric underwater imagery with multibeam soundings for reconstructing wrecks in turbid waters. In: J Appl Hydrogr 116:23–31. DOI: [10.23784/HN116-03](https://doi.org/10.23784/HN116-03).

Kontakt

Prof. Dr. Thomas Luhmann | Robin Rofalski M.Sc. | Oliver Kahmen M.Sc.

Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Jade Hochschule
Ofener Straße 16, 26121 Oldenburg

luhmann@jade-hs.de

Laserbathymetrie in küstennahen Bereichen der Nordsee: Entwicklung erweiterter Auswerteverfahren und deren Qualitätssicherung

David Mader | Patrick Westfeld | Katja Richter | Hans-Gerd Maas

1 Motivation

Die Bathymetrie der Nord- und Ostsee ist einem stetigen Wandel unterworfen. Insbesondere die küstennahen, flachen Gebiete werden in Folge von Gezeiten und Seegang fortlaufend in ihrer Gestalt verändert. Hinzu kommt, dass die Wattseen der Nordsee durch ausgeprägte Prielsysteme und Sandbänke strukturiert werden, während die sandigen Küsten der Ostsee von küstenparallelen Transportprozessen dominiert und von Steinen durchsetzt sind.

Zur Erfassung der Gewässerboden topografie kommen beim Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie (BSH), dem hydrographischen Dienst Deutschlands, routinemäßig hydroakustische Verfahren zum Einsatz, die auf der Messung der Laufzeit eines Schallimpulses beruhen (Dehling und Ellmer 2012). Die Vermessung komplexer Flachwasserbereiche mit schiffsgestützten hydroakustischen Aufnahmeverfahren ist jedoch herausfordernd: von durch Tide beeinflusste Gewässer sind nur bei Flut in sehr engen Zeitfenstern zu erreichen; es kommt häufig zu langen Transitfahrten vom Mutterschiff in das Messgebiet; die Vermessung mit kleineren Booten ist stark wetterabhängig. Wegen der hohen Variabilität des Geländes sowie der Relevanz für die Sicherheit und Leichtigkeit der Schiffsfahrt (vor allem in schiffbarer Fahrwassernähe) und der sonstigen Nutzung, müssen jedoch gerade für diese Flächen sehr häufig Wiederholungsvermessungen stattfinden.

Flugzeuggestützte Laserbathymetrie (Airborne Lidar Bathymetry, ALB) ist ein sehr effizientes und zu schiffsgestützten hydroakustischen Vermessungen komplementäres Messverfahren. Laserbathymetriesysteme senden kurze Laserpulse aus, die mit der Wasseroberfläche, der Wassersäule und dem Gewässerboden interagieren. Ein Teil der ausgesendeten Energie wird zurückgestreut und vom ALB-System empfangen. Die Signalform des Laserpulsechos wird mit hoher zeitlicher Auflösung digitalisiert und in Form einer sogenannten Full-Waveform (FWF) gespeichert (Abb. 1). Dieser Vorgang wiederholt sich mit einer hohen Frequenz von 1 kHz bis 30 kHz bei bathymetrischen Laser-

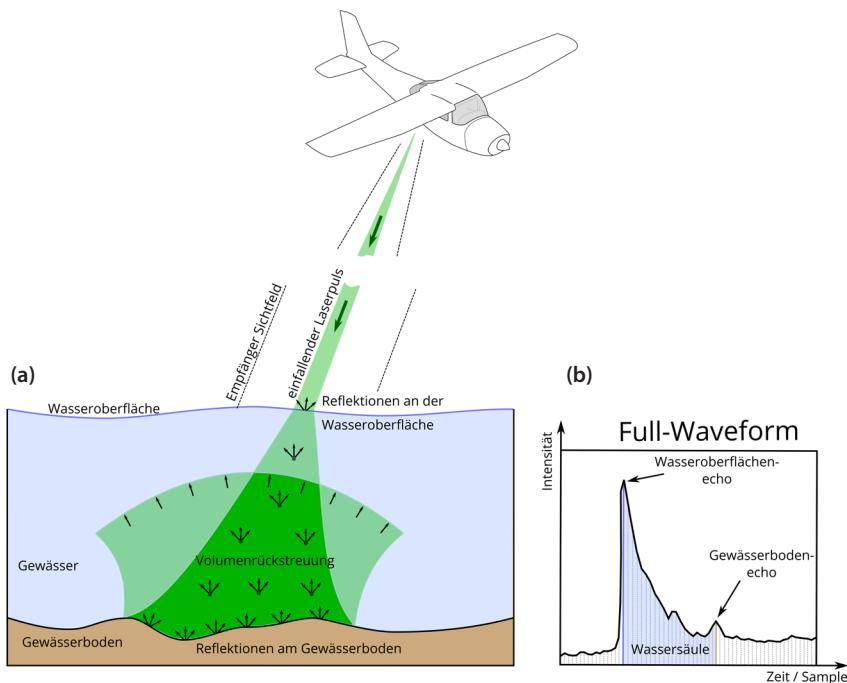


Abb. 1: Messprinzip eines ALB-Systems: (a) Ausbreitung des Laserpulses in Wasser und (b) am Sensor detektierte Signalform (Full-Waveform)

scannern (Tiefwassersysteme) bis zu 700 kHz für topo-bathymetrische Laser-scanner (Flachwassersysteme). Zusätzlich wird der Laserpuls durch einen Scan-mechanismus ausgelenkt.

Auf diese Weise können beim Überflug große Gebiete sehr effizient flächen-deckend erfasst werden. In jeder FWF werden die Echos von der Wasserober-fläche und dem Gewässerboden detektiert und über die Laufzeit sowie den bekannten Auslenkwinkel des Laserpulses die zugehörigen 3D-Koordinaten ab-geleitet. Messprinzip-bedingt bewirkt die Gewässertrübung in der Wassersäule eine Abschwächung des Laserpulses (Guenther und Goodman 1978), wodurch die auswertbare Eindringtiefe des Verfahrens limitiert ist.

In Mader et al. (2021, 2022) wurden neuartige Ansätze zur Prozessierung von ALB-FWF-Daten vorgestellt, mit denen die auswertbare Eindringtiefe von ALB-Systemen und damit auch die Abdeckung des Gewässerbodens mit gemessenen 3D-Punkten erhöht werden kann. Im Folgenden wird ein Überblick über die entwickelten Prozessierungsmethoden gegeben (Abschnitt 2), und die Ergebnisse der Auswertungen von ALB-Daten im Bereich der Nordsee werden präsentiert (Abschnitt 3).

2 Methoden

Bei konventionellen Auswertemethoden werden alle FWFs unabhängig voneinander verarbeitet. Das Gewässerbodenecho wird bei größerer Trübung und Eindringtiefe stark abgeschwächt. Im weiteren Verlauf der Signalverarbeitung kann es folglich häufig nicht mehr zuverlässig detektiert und der zugehörige Gewässerbodenpunkt nicht extrahiert werden. Die in Mader et al. (2021, 2022) entwickelten FWF-Stacking-Methoden rücken von der isolierten Auswertung der FWFs ab hin zu einer kombinierten Prozessierung eng benachbarter FWFs. Das Ziel ist die zuverlässige Detektion schwacher, bisher nicht detektieter Gewässerbodenechos, um die maximal auswertbare Eindringtiefe in die Wassersäule zu erhöhen und folglich weitere Gewässerbodenpunkte zu extrahieren.

Dieser Abschnitt stellt kurz die Vorgehensweise der FWF-Stacking-Prozessierung auf Grundlage der beiden entwickelten Methoden vor. Beim signalbasierten FWF-Stacking werden die einzelnen FWFs „gestapelt“ zu einer sogenannten stacked FWF (Mader et al. 2021). Das volumetrische FWF-Stacking fasst die FWFs in vertikal ausgerichtete Ortho-FWFs zusammen (Mader et al. 2022). Beide Methoden unterscheiden sich insofern, als das volumetrische FWF-Stacking die Laserpulsausbreitung innerhalb der Wassersäule geometrisch berücksichtigt, was beim signalbasierten FWF-Stacking nicht der Fall ist. Dies kann beim signalbasierten FWF-Stacking dazu führen, dass die Detektion des Gewässerbodens mit steigender Gewässertiefe ungenauer wird. Andererseits ist die geometrische Berücksichtigung der Laserpulsausbreitung deutlich aufwändiger und führt zu einer zeit- und ressourcenintensiveren Prozessierung der ALB-Daten.

2.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die grundsätzliche Prozessierung kann in drei Schritte unterteilt werden. Im ersten Schritt werden dicht benachbarte Messungen (geringe Abstände in der Lage) in Prozessierungseinheiten eingeteilt. Alle Messdaten einer Prozessierungseinheit werden im folgenden Bearbeitungsschritt gemeinsam ausgewertet. Dabei wird angenommen, dass benachbarte Messdaten (und hier insbesondere die Charakteristik der zugehörigen FWFs) sehr ähnliche Eigenschaften aufweisen. In einem zweiten Schritt erfolgt die kombinierte Auswertung der Messdaten mittels FWF-Stacking-Methoden. Dadurch sollen zufällige Rauschsignale des Sensors und andere erratische Effekte deutlich abgeschwächt oder gar eliminiert sowie wiederkehrende Echos verstärkt werden. Die Detektion von schwachen Gewässerbodenechos ist so einfacher und zuverlässiger möglich. Im dritten und letzten Bearbeitungsschritt werden die Gewässerbodenechos in der gemessenen FWF auf Basis der FWF-Stacking-Ergebnisse gesucht und der Gewässerbodenpunkt extrahiert.

2.2 Signalbasiertes Full-Waveform Stacking durch Nutzung von stacked Full-Waveforms

Die Zuordnung von dicht benachbarten Messungen erfolgt durch die Anwendung eines auf die Wasseroberfläche bezogenen regelmäßigen lateralen Rastergitters (Abb. 2). Alle FWFs, deren Wasseroberflächenpunkt innerhalb einer Gitterzelle liegt, werden für die nachfolgenden Prozessierungsschritte zu einer Prozessierungseinheit zusammengefasst. Die Größe einer Gitterzelle hängt von den Eigenschaften der gemessenen Daten (räumliche Auflösung und Verteilung der Daten) und von der Charakteristik des Gewässerbodens (schwache oder starke Bodenneigungen) ab.

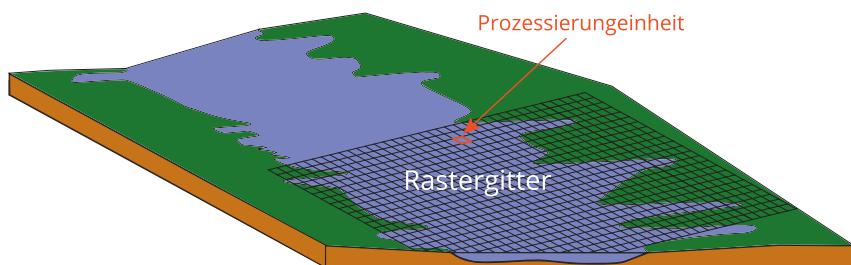


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Gewässers mit überlagertem Rastergitter. Jede Rasterzelle des Rastergitters ist eine Prozessierungseinheit.

Nachdem die Prozessierungseinheiten gebildet wurden, erfolgt die kombinierte Analyse der Messdaten. Zuerst werden die FWFs einer Prozessierungseinheit zueinander ausgerichtet. Dies erfolgt auf Basis der Maxima der Wasseroberflächenechos (Abb. 3). Danach werden die FWFs durch Aufsummieren der Intensitätswerte zu einer stacked FWF zusammengefasst (Stilla et al. 2007, Plenkers et al. 2013, Roncat und Mandlburger 2016). Anschließend erfolgt die Detektion aller Echos bzw. lokalen Maxima in der stacked FWF und die Bestimmung ihrer Signifikanz nach Kirmse und de Ferranti (2017) sowie Schwarz et al. (2019). Das signifikanteste Echo nach dem Wasseroberflächenecho wird als wahrscheinlichstes Gewässerbodenecho detektiert und dessen Breite bestimmt (Abb. 3). Die Anzahl der Samples zwischen den Echos der Wasseroberfläche und des Gewässerbodens sowie deren Breite dienen der Definition des Suchkorridors, welcher dann auf die einzelnen gemessenen FWFs angewendet wird (Abschnitt 2.4). Zusätzliche Filter- und Kontrollmethoden (z. B. Anwendung eindeutig bestimmbarer Gewässerbodenechos als Kontrollwerte, gegenseitige Kontrolle der Eindringtiefen von Prozessierungseinheiten) sichern die zuverlässige Detektion der Gewässerbodenechos in der stacked FWF.

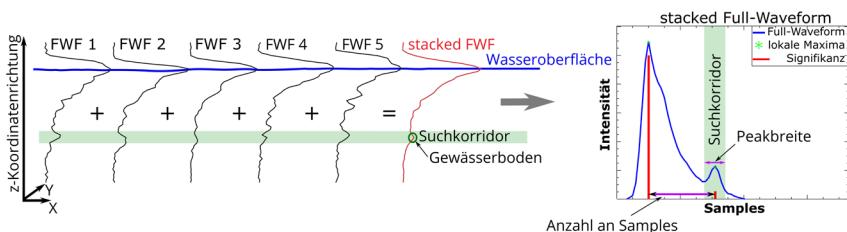


Abb. 3: Grundprinzip des signalbasierten FWF-Stackings, angewandt auf ALB-FWFs (Mader et al. 2021): Nach einer Analyse der stacked FWF (rot) wird um das darin gefundene Pseudo-Gewässerbodenecho ein Suchkorridor definiert (grün). Innerhalb dieses Bereichs werden Wasserbodenechos in den ursprünglichen FWFs gesucht (schwarz; Abschnitt 2.4).

2.3 Volumetrisches Full-Waveform Stacking durch Nutzung von Ortho-Full-Waveforms

Beim volumetrischen FWF-Stacking wird die Zuordnung dicht benachbarter ALB-Messung mittels einer lokalen Voxelraumrepräsentation realisiert (Abb. 4). Im Gegensatz zum signalbasierten FWF-Stacking (Abschnitt 2.2), ist die Nachbarschaftsdefinition der FWFs nicht mehr nur auf die Wasseroberfläche begrenzt, sondern kann in einem kartesischen System für die gesamte Wassersäule gewährleistet werden.

Die Überführung der FWF-Daten in den Voxelraum erfolgt über die Georeferenzierung der Intensitätsinformationen der FWF-Daten durch eine Projektion in das entsprechende Voxel (Abb. 5a). Als Prozessierungseinheit werden verti-

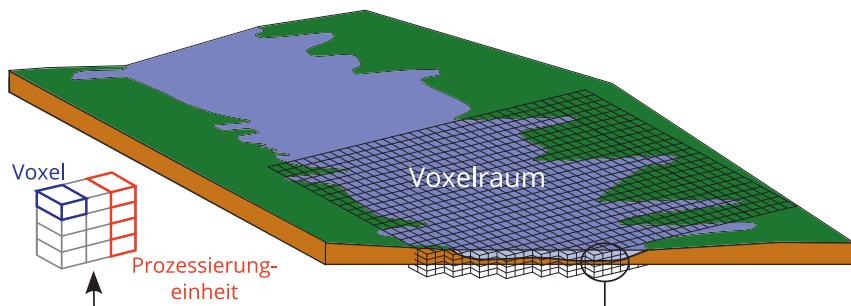


Abb. 4: Schematische Darstellung eines Gewässers im Voxelraum: Vertikal angeordnete Voxel bilden eine die Wassersäule repräsentierende Voxelsäule, welche als Prozessierungseinheit verwendet wird.

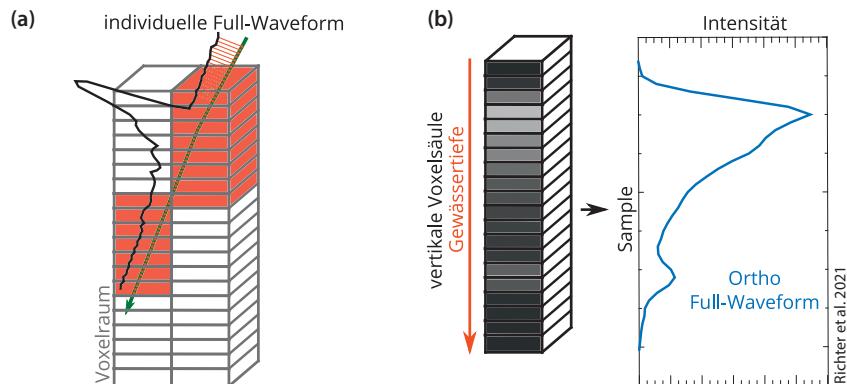


Abb. 5: (a) Überführung der FWF-Intensitäten in den Voxelraum. (b) Generierung einer Ortho-FWF aus einer vertikalen Voxelsäule

kale Voxelsäulen verwendet, welche die Basis für die Ortho-FWF-Generierung darstellen ([Abb. 5b](#); Pan et al. 2016).

Die anschließende Analyse der Ortho-FWF zur Bestimmung der Sampleanzahl zwischen Wasseroberflächenecho und Gewässerbodenecho sowie die Bestimmung der Echobreite des Gewässerbodenechos erfolgt analog zum signalbasiertem FWF-Stacking (Abschnitt 2.2).

2.4 Detektion und Extraktion von Gewässerbodenpunkten

In einem letzten Bearbeitungsschritt wird der im Abschnitt 2.2 oder Abschnitt 2.3 ermittelte Suchkorridor für die Einschränkung des Suchbereichs des Gewässerbodenechos in der gemessenen FWF genutzt ([Abb. 6](#)). Diese Vorgehensweise reduziert die für den Gewässerboden in Frage kommenden Echos deutlich. Somit

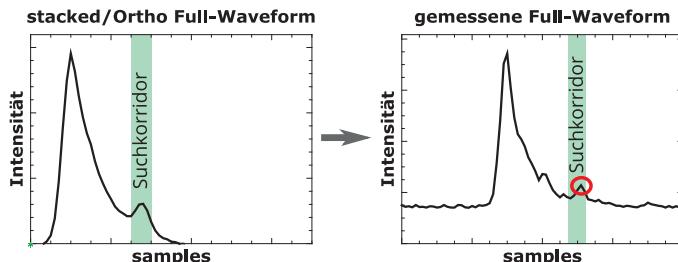


Abb. 6: Nutzung des aus der stacked FWF extrahierten Suchkorridors für eine zuverlässige Detektion und Extraktion des Gewässerbodenpunktes in der gemessenen FWF (roter Kreis)

können die Gewässerbodenechos in den gemessenen FWFs detektiert und die Gewässerbodenpunkte bestimmt werden.

Der nicht-lineare Ansatz unter Anwendung eines Suchkorridors auf die einzelnen gemessenen FWFs zur Stützung der Detektion und Extraktion der Gewässerbodenpunkte ist insofern vorteilhaft, da zum einem Verschmierungeffekte durch das FWF-Stacking vermieden werden und der Gewässerboden durch eine größere Anzahl an 3D-Punkten repräsentiert wird.

3 Ergebnisse

Für die Untersuchung des Potenzials der FWF-Stacking-Methoden stehen ALB-Daten eines ungefähr 10 km^2 großen Gebietes zwischen den Nordseeinseln Sylt und Amrum zur Verfügung. Für diesen Beitrag wurde ein Teilgebiet mit beiden FWF-Stacking-Methoden prozessiert. Die folgende Auswertung konzentriert sich auf ein ca. $300 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ großen Abschnitt des prozessierten Gebietes, in welchen sowohl die Grenzen bzgl. der auswertbaren Eindringtiefe der Standardauswertemethode als auch beider FWF-Stacking-Methoden erreicht wurden. Anhand dieses Untersuchungsgebietes soll das Potenzial der FWF-Stacking-Methoden gezeigt werden. Zuerst erfolgt eine visuelle Darstellung der Ergebnisse, welche anschließend mit quantitativen Werten gestützt wird.

In Abb. 7a und 7b sind die Punktwolken der FWF-Standardprozessierung (Prozessierung erfolgte durch den Befliegungsdienstleister) und der zeitgleich zur Befliegung stattgefundenen Vertikalecholotmessung zu sehen. Die Punktwolken sind bzgl. der Gewässertiefe farbkodiert dargestellt. Die angegebenen

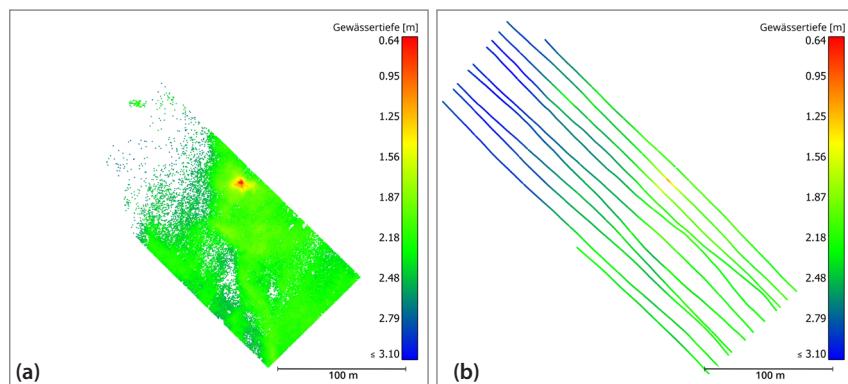


Abb. 7: Ergebnisse der (a) ALB-Standardprozessierung und (b) Vertikalecholotmessung. Beide Punktwolken sind bzgl. ihrer Gewässertiefe farbkodiert dargestellt mit Bezug auf die Höhe der Wasseroberfläche zum Befliegungszeitpunkt.

Gewässertiefen beziehen sich auf die Wasseroberfläche zum Zeitpunkt der Befliegung (12.08.2021; 08:36 Uhr bis 08:47 Uhr). Die Wasseroberfläche des Untersuchungsgebietes war annähernd horizontal (ruhige, gekräuselte See) und hatte zum Befliegungszeitpunkt eine mittlere Höhe von 1,43 m unter Normalhöhennull (DHHN2016; Niedrigwasser am Pegel Amrum-Odde).

Die Charakteristik der Gewässerboden topographie aus Abb. 7 ist in den Ergebnissen der FWF-Stacking-Prozessierungen gut erkennbar (Abb. 8). Im Vergleich zu der Punktfolge der Standardprozessierung ist klar ersichtlich, dass die

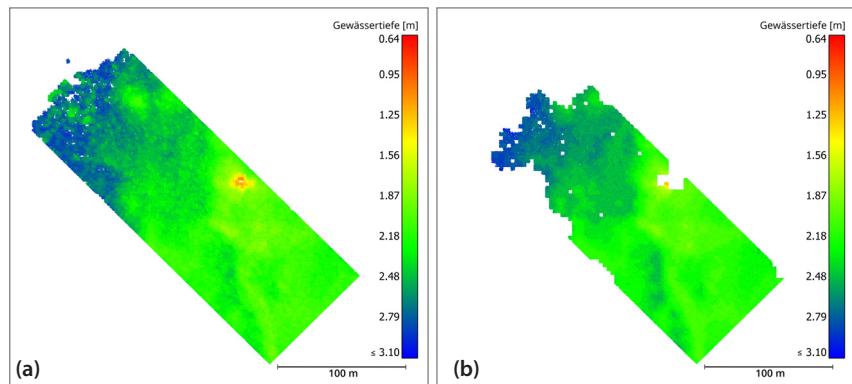


Abb. 8: Ergebnisse des (a) signalbasierten und (b) volumetrischen FWF-Stackings. Beide Punktfolgen sind bzgl. ihrer Gewässertiefe farbkodiert dargestellt mit Bezug auf die Höhe der Wasseroberfläche zum Befliegungszeitpunkt.

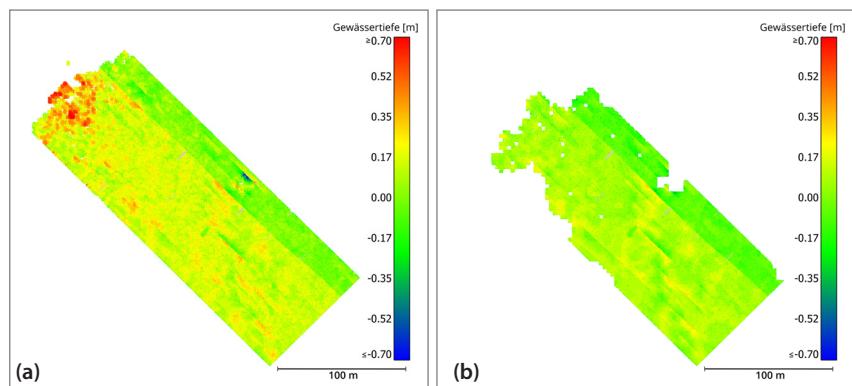


Abb. 9: Höhenabweichungen zwischen den Ergebnissen der Vertikalecholotmessung und des (a) signalbasierten sowie (b) volumetrischen FWF-Stackings, farbkodiert bzgl. der Höhenabweichung.

Punktdichte teilweise erhöht und weitere, tiefer liegende Teile des Gewässerbodens detektiert sowie extrahiert werden konnten.

Die Auswertung der Ergebnispunktwolken zeigt eine Erhöhung der Eindringtiefe. Während bei den standardprozessierten Daten Eindringtiefen von ungefähr 2,55 m (für vereinzelte Punkte auch bis zu 2,80 m) erreicht wurden, gibt es in den FWF-Stacking prozessierten Daten flächendeckende Bereiche mit Gewässertiefen bis ca. 2,95 m. Dadurch konnte eine zusätzliche Fläche von etwa 75 m × 100 m des Gewässerbodens erfasst werden. Bezogen auf das exemplarisch gewählte Untersuchungsgebiet entspricht dies 25 % mehr Flächenleistung.

Die Validierung der Ergebnisse anhand der Vertikalecholotmessungen hat gezeigt, dass die Punkte des signalbasierten FWF-Stacking minimal zu tief (-0,0026 m) bestimmt wurden, bei einer mittleren quadratischen Abweichung (RMS) von 0,13 m. Zudem ist auffällig, dass die Höhenabweichungen deutlich zunehmen, wenn das Verfahren an seine Grenzen stößt ([Abb. 9a](#); nördlicher Bereich). Die Punkte des volumetrischen FWF-Stacking wurden tendenziell zu tief bestimmt (-0,052 m) mit einem RMS Wert von 0,12 m. Die Höhenabweichungen sind im Gegensatz zu dem signalbasiertem FWF-Stacking homogener ([Abb. 9b](#)).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch Anwendung der signalbasierten und volumetrischen FWF-Stacking-Methoden die Eindringtiefe um ca. 16 % erhöht wurde. Dies bewirkt in einigen Bereichen eine Erhöhung der Punktdichte und führt außerdem zu der Erfassung weiterer Teile des Gewässerbodens (bezogen auf das exemplarisch gewählte Untersuchungsgebiet ca. 25 % zusätzliche Fläche). Die RMS-Werte von 0,13 m respektive 0,12 m zeigen, dass die erzielten Ergebnisse den Gewässerboden gut repräsentieren können, wenngleich beim signalbasiertem FWF-Stacking die Abweichung größer waren, sobald das Verfahren an seine Grenzen stößt. In zukünftigen Arbeiten müssen weitere Gebiete prozessiert werden, um die bisherigen Ergebnisse zu bestätigen und die Verfahren gezielt weiterzuentwickeln.

Danksagung

Wir danken dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) für die Förderung unserer Forschungsarbeiten sowie der Firma MILAN Geoservice GmbH für die gute Zusammenarbeit bei der Aufbereitung der Befliegungsdaten.

Literatur

- Dehling, T., Ellmer, W. (2012): Zwanzig Jahre Seevermessung seit der Wiedervereinigung. AVN 119 (7). <https://gispoint.de/artikelarchiv/avn/2012/avn-ausgabe-72012/2463-zwanzig-jahre-seevermessung-seit-der-wiedervereinigung.html>.
- Guenther, G. C., Goodman, L. R. (1978): Laser Application For Near-Shore Nautical Charting. In: Ocean Optics V, Vol. 160, International Society for Optics and Photonics, 174–184. DOI: [10.1117/12.956863](https://doi.org/10.1117/12.956863).

- Kirmse, A., de Ferranti, J. (2017): Calculating the prominence and isolation of every mountain in the world. In: *Progress in Physical Geography* 41, 788–802. DOI: [10.1177/030913317738163](https://doi.org/10.1177/030913317738163).
- Mader, D., Richter, K., Westfeld, P., Maas, H.-G. (2021): Potential of a Non-linear Full-Waveform Stacking Technique in Airborne LiDAR Bathymetry. In: *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 89(2), 139–158. DOI: [10.1007/s41064-021-00147-y](https://doi.org/10.1007/s41064-021-00147-y).
- Mader, D., Richter, K., Westfeld, P., Maas, H.-G. (2022): Volumetrisches Full-Waveform Stacking zur Ableitung der Gewässerbodenmorphologie aus Laserbathymetriedaten – Erste Ergebnisse einer Pilotstudie am Fluss Elbe. Tagungsband Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF, Band 30. 127–139. www.dgpf.de/src/tagung/jt2022/proceedings/start.html.
- Pan, Z., Glennie, C. L., Fernandez-Diaz, J. C., Legleiter, C. J., Overstreet, B. (2016): Fusion of LiDAR Orthowaveforms and Hyperspectral Imagery for Shallow River Bathymetry and Turbidity Estimation. In: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 54, 4165–4177. DOI: [10.1109/TGRS.2016.2538089](https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2538089).
- Plenkers, K., Ritter, J. R., Schindler, M. (2013): Low signal-to-noise event detection based on waveform stacking and cross-correlation: application to a stimulation experiment. *J Seismol.* 17(1):27–49. DOI: [10.1007/s10950-012-9284-9](https://doi.org/10.1007/s10950-012-9284-9).
- Richter, K., Mader, D., Westfeld, P., Maas, H.-G. (2021): Water turbidity estimation from LiDAR bathymetry data by full-waveform analysis – comparison of two approaches. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XLIII-B2-2021, 681–688. DOI: [10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-681-2021](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-681-2021).
- Roncat, A., Mandlburger G. (2016): Enhanced detection of water and ground surface in airborne laser bathymetry data using waveform stacking. *EGU General Assembly Conf Abstracts*, 18:17016. https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_249010.pdf
- Schwarz, R., Mandlburger, G., Pfennigbauer, M., Pfeifer, N. (2019): Design and evaluation of a full-wave surface and bottom-detection algorithm for LiDAR bathymetry of very shallow waters. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 150, 1–10. DOI: [10.1016/j.isprsjprs.2019.02.002](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.02.002).
- Stilla, U., Yao, W., Jutzi, B. (2007): Detection of weak laser pulses by full waveform stacking. In: *Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci*, XXXVI (3)/W49A, 25–30. www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W49/PartA/papers/25_pia07.pdf.

Kontakt

Dipl.-Ing. David Mader | Dr.-Ing. Katja Richter | Prof. Dr. habil. Hans-Gerd Maas
Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Dresden
Helmholtzstraße 10, 01062 Dresden
david.mader@tu-dresden.de | katja.richter1@tu-dresden.de |
hans-gerd.maas@tu-dresden.de

Dr.-Ing. Patrick Westfeld
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
Neptunallee 5, 18057 Rostock
patrick.westfeld@bsh.de

Höhenbezug und Referenzpunkte auf See – (wiederholte) Vermessung von Unterwasserinfrastrukturen und ihre Hürden

Andreas Bauer | Manfred Stender

1 Offshore-Strukturen – Bedarf an Vermessungen über die gesamte Lebensdauer der Anlagen

Hier ist aus Sicht des Betriebes dieser Anlagen die langjährig gesicherte Vergleichbarkeit von Datensätzen essenziell. Dies beginnt mit der Erstaufnahme von Flächen vor der Installation von Strukturen. Nachfolgend ist die Aufnahme der Zwischenstände in den verschiedenen Bauphasen wichtig, da bestimmte Lokationen nach Herstellung der Strukturen nicht wieder eingesehen werden können. Dies zumindest nach dem Stand der heutigen Technik. Zukünftig u. U. verfügbare Technik muss anhand vorhandener Datensätze validiert werden.

Die mit Abstand längste Phase der Datenerhebung ergibt sich in der Betriebsphase der Offshore-Strukturen. Hier wird der einzelne Datensatz mit seinen individuellen Aufnahmebedingungen daran gemessen wie genau, im Sinne von Konfidenz, er sich mit Messungen aus anderen Kampagnen und Jahrgängen vergleichen lässt. Ist dies nicht gegeben, verliert der einzelne Datensatz substanzial an Wert und ist weniger analytisch sondern lediglich informativ brauchbar.

Zeitreihen mit vergleichbarer Datengrundlage sind unabdingbare Voraussetzungen für den langfristig angelegten Betrieb der Offshore-Strukturen. Hierbei hat sich über die ersten Jahre der Betriebsphasen von Offshore-Strukturen herauskristallisiert, dass ein fehlender, sicher und nachvollziehbar reproduzierbarer Höhenbezug massive Auswirkungen auf den Betrieb dieser Strukturen haben kann. Dies ist zum einen mit Blick auf die Erfüllung der gegebenen Auflagen der behördlichen Genehmigungen relevant und zum anderen mit Blick auf Entscheidungen, die die Wirtschaftlichkeit einer Anlage infrage stellen können, wichtig. Als Beispiel seien genannt: sind Maßnahmen gegen Kolkbildung notwendig, sind Standsicherheiten ausreichend gegeben, sind Reparaturmaßnahmen adhoc oder in einem planbaren Zeitraum nötig, Ausmaß und Umfang von Arbeiten und vieles Weitere.

Der in der Praxis beste Ansatzpunkt für dieses Problem ist der Einsatz eines universellen und langfristig stabilen Bezugssystems. Der Bezug auf ein ellip-

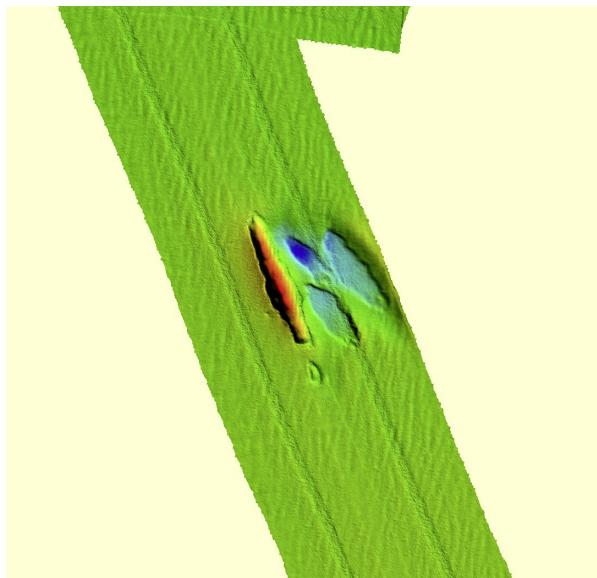


Abb. 1:
Kreuzungsbauwerk
bei alpha ventus
HVAC 2013

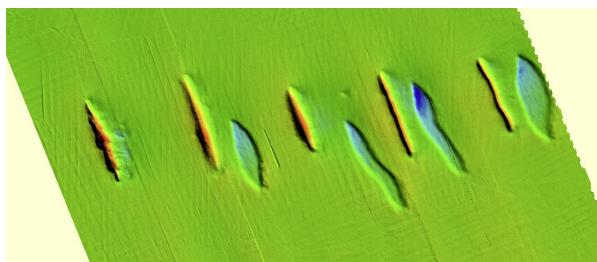


Abb. 2:
Kreuzungsbauwerk
bei alpha ventus
HVAC 2021

soidisches Höhensystem schafft hier für den Betrieb von Offshore-Strukturen die am besten nutzbaren Voraussetzungen.

Die Wassertiefe ist für den Betrieb dieser Anlagen irrelevant. Wichtig ist, zum Beispiel Unterschiede aus den Datensätzen der Jahre 2016 und 2046 zu berechnen. Als Beispiel sollen die Unterschiede zwischen Abb. 1 und Abb. 2 dienen.

Eingebettet in ein globales Referenzsystem, sowohl horizontal als auch vertikal, können Offshore-Strukturen als verlässliche Referenzpunkte genutzt werden, um lokal referenzierte Arbeiten zu planen und auszuführen, sowie eine verlässlich reproduzierbare Dokumentation zu erstellen (Abb. 3).

Unterwasserarbeiten um, in und an diesen Strukturen gewinnen ein hohes Maß an Verlässlichkeit und Sicherheit, wenn die Einbettung von lokalen Daten in globale Referenzsysteme gelingt.

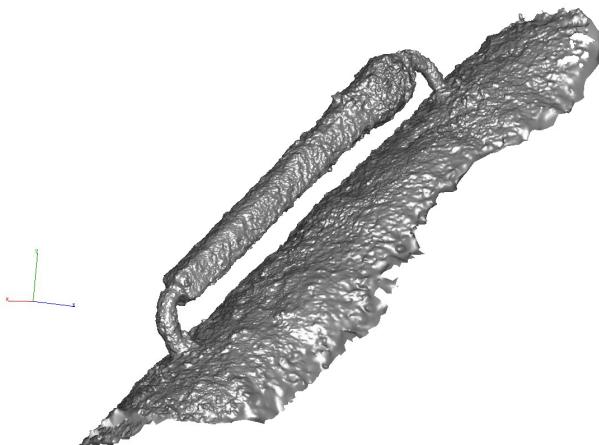


Abb. 3:
Lokal referenziertes
Strukturelement zur
Einbettung in ein
globales Referenz-
system

Ursachenanalysen, Gegenmaßnahmen und Betriebssicherheit können mit größerem Blick bewertet und adressiert werden. Zum Beispiel die Beanspruchung von Bauteilen in Wellenschlag und Strömung verglichen mit denselben Bauteilen an anderer Stelle derselben Strukturen oder baugleichen Strukturen anderswo in der Nordsee.

2 Qualitätssicherung durch „best practice“ – ausreichend für Wiederholungsmessungen?

Die Vermessung auf See ist bei der Vielzahl von eingesetzten Sensoren komplex und bedarf im generellen ein hohes Maß an Qualitätssicherung und Dokumentation. Basierend auf dem bereits hohen Niveau sind viele Messaufgaben im Sinne von Wiederholungsmessungen bei Berücksichtigung von „best practice“ gut bedient, aber es lassen sich weitere, einfache Maßnahmen ergreifen, die eine Vergleichbarkeit von Messdaten vereinfachen und verbessern.

Sind Wiederholungsmessungen vorgesehen, sollten nachfolgende Grundsätze immer berücksichtigt werden. Bei Ausschreibungen im Bereich Offshore Wind sind diese bei vielen ausschreibenden Unternehmen schon Standard:

- Detaillierte Dokumentation aller Arbeitsschritte von Planung über Ausführung bis hin zur Datenbearbeitung. Ebenso die detaillierte Angabe von geplantem Equipment und deren zu erreichenden Genauigkeiten im Zusammenhang mit Vorabschätzungen hinsichtlich der zu erwartenden horizontalen und vertikalen Genauigkeiten. Dies soll gewährleisten, dass alle Parameter und Schritte, die zum Endprodukt führen, nachvollziehbar sind. Und gerade dies ist für den Datenvergleich unterschiedlicher Messkampagnen

Global Positioning Geodetic Coordinate Reference System Parameters ¹⁾			
Ellipsoid:	World Geodetic System 1984 (WGS84)		
Datum:	ITRF 2014		
Semi-major Axis:	6 378 137.000 m		
Inverse Flattening:	298.257 2236		
Local Datum Geodetic Coordinate Reference System Parameters ²⁾			
Ellipsoid:	World Geodetic System 1984 (WGS84)		
Datum:	ITRF 2014		
Semi-major Axis:	6 378 137.000 m		
Inverse Flattening:	298.257 2236		
Datum Transformation Parameters from WGS84 to WGS84			
X-axis Translation	0.00 m	X-axis Rotation	0.00 arcsec
Y-axis Translation	0.00 m	Y-axis Rotation	0.00 arcsec
Z-axis Translation	0.00 m	Z-axis Rotation	0.00 arcsec
Local Projection Parameters			
Map Projection:	Universal Transverse Mercator		
Grid System:	UTM Zone 40 N		
Central Meridian:	57° East		
Latitude of Origin:	00° 00' 00" North		
False Easting:	500 000 m		
False Northing:	0 m		
Scale Factor on Central Meridian:	0.9996		
Units:	Metre		

Abb. 4: Typische Kundenvorgabe zur horizontalen und vertikalen Referenz

die Basis für die Beurteilung der Qualität des Ergebnisses aus dem Vergleich unterschiedlicher Datenepochen.

- Klare Festlegung der Horizontal- und Vertikalreferenz (Abb. 4) und Beschreibung, wie das Endprodukt der Positionierung erstellt wurde. Gerade die Vertikalreferenzierung ist oft ein großer Unsicherheitsfaktor, vor allem wenn lokale Referenzsysteme verwendet werden.
- Gerätebeschreibungen und -einstellungen helfen gleichfalls, die Qualität der Teilprodukte und damit das zu erwartende Endergebnis besser zu beurteilen und Unsicherheiten zu bestimmen.

Eine der größten Unsicherheiten ist typischerweise die Positionierung. Werden lokale horizontale Referenzsysteme vom Kunden gefordert, werden diese oft direkt an den GNSS-Empfängern eingestellt und ausgegeben. Stehen weitere Daten in abweichenden Referenzsystemen zur Verfügung, können die Datensätze

nur durch Rück- und Umtransformationen vergleichbar gemacht werden, eine nicht zu vernachlässigende Fehlerquelle. Bisher sehen die wenigsten Ausschreibungen vor, dass die Positionierungsdaten als GNSS-Rohdaten, d. h. auf dem Ellipsoid WGS84 und dem Datum ITRF, aufgezeichnet und als Teilprodukt geliefert werden muss. Dies wäre aber bei weitem die beste Möglichkeit eine Vergleichbarkeit zu erzielen, gleichfalls auch eine hohe Positionsgenauigkeit durch ein Post-Prozessing, ohne dass RTK oder andere differenzielle Lösungen beschrieben und ggf. beim Datenvergleich berücksichtigt werden müssen. Von WGS84/ITRF ausgehend stehen alle weiteren Wege offen, sind gut dokumentiert und reproduzierbar.

Dies gilt umso mehr für die Vertikalreferenz. Lokale Systeme wie LAT, MSL oder DHHN sind wandelbar oder unzureichend bestimmt. Die ellipsoidische Höhe aus den GNSS-Rohdaten im Post-Prozessing bietet eine Basis mit hoher Genauigkeit, die mit lokalen Modellen für die Vertikalreferenzen jederzeit reproduzierbar sind.

Durch den in der Zukunft verstärkt angestrebten Einsatz von autonomen Fahrzeugen, insbesondere Unterwasserfahrzeuge (AUV) wird die Positionierung zu einem besonderen Unsicherheitsfaktor. Das Koppeln der Navigation mit Integrierten Navigationssystemen (INS) ist nicht zuletzt so erfolgreich wie die Ermittlung einer hochgenauen Abtauch- und Auftauchposition. Neben der Drift bei INS-Systemen kann eine fehlerhafte Überwasserpositionierung zu fehlerhaften Datensätzen z. B. bei Multibeam-Daten führen. Auch hier kann die Aufzeichnung der GNSS-Rohdaten und Post-Prozessing zu einer erheblichen Verbesserung des Ergebnisses beitragen. Alternativ bietet sich die relative Positionierung anhand bekannter, unverrückbarer Marker an, wie man sie z. B. an Offshore-Bauwerken identifizieren kann (Abb. 5). Da z. B. die mit einem AUV erhobenen Multibeam-Daten höher aufgelöst sind als Daten von

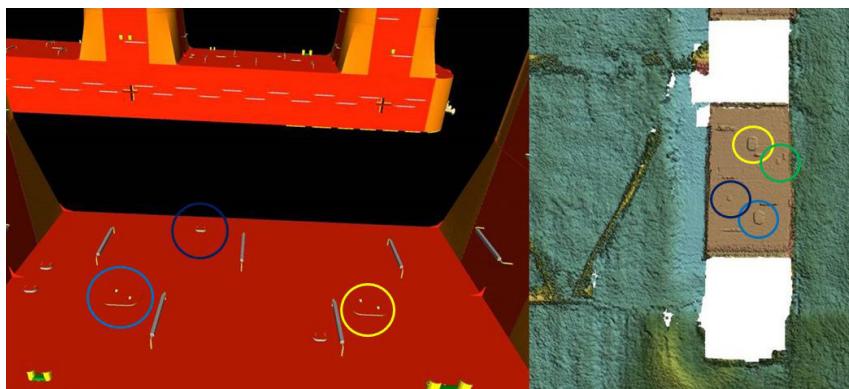


Abb. 5: Links: CAD-Modell. Rechts: Finales DGM aus MBES-Daten

einem Oberflächenfahrzeug, lassen sich auch kleine Details gut als Hilfen für die Positionierung anwenden und einzelne Messepochen daran kalibrieren. Dies in Kombination mit der oben beschriebenen verbesserten Überwasserpositionierung ergeben Daten von Wiederholungsmessungen, die sich sehr gut abstimmen und zu einem aussagestarken Vergleichsergebnis verarbeiten lassen.

Aber auch die Höhenreferenzierung ist hervorzuheben. Ein Höhenabgleich mittels GNSS ist nur an der Oberfläche möglich ist. Im abgetauchten Zustand kommen hier oft Drucksensoren mit hoher Genauigkeit zum Einsatz die eine relative Tiefe zum Meeresspiegel messen können. Als Fehlerquelle und insbesondere im Vergleich zu Wiederholungsmessungen, muss hier noch die entsprechende Höhenkorrektur zum Referenzhorizont berücksichtigt werden, z. B. auch durch Marker oder Bauwerkspegl.

Kontakt

Andreas Bauer
TenneT TSO GmbH
Eisenbahnlängsweg 2a, 31275 Lehrte
andreas.bauer@tennet.eu

Manfred Stender
Fugro Germany Marine GmbH
Fahrenheitstraße 7, 28359 Bremen
m.stender@fugro.com

Session 6: Zukunftstrends

Digitalisierung und autonome Verkehre – zwischen Fakten und Visionen

Holger Klindt

„Autonome Systeme bringen durch ihre besonderen Eigenschaften grundlegende Veränderungen für Wirtschaft und Gesellschaft mit sich. Sie können dazu beitragen, Produktionsprozesse, Mobilitäts- und Logistiksysteme besser auf den Menschen abzustimmen sowie flexibler und ressourcen-schonender zu gestalten.“ (Autonome Systeme – acatech Nr. 13-2018)

1 Übersicht

Im Bereich der Schifffahrt begann diese Entwicklung bereits in den 80er Jahren mit visionären Konzepten für ferngelenkte, teil- oder sogar voll-autonome Schiffe. Dabei beschränkten sich die ersten praktischen Gehversuche zunächst aber noch auf einzelne herausgehobene Fragestellungen zur Ortung und Navigation oder auch zum wach- und wartungsfreien Betrieb der Antriebs- und Versorgungsaggregate.

In den zurückliegenden 20 Jahren ist das Interesse an der Entwicklung hoch-automatisierter und autonomer Schiffe stetig weiter angewachsen. Im Jahr 2019 wurden bereits knapp 800 wissenschaftliche Beiträge in Form von Konferenzbeiträgen, Journal-Publikationen oder Buchbeiträgen zum Forschungsthema autonome oder unbemannte Schiffe veröffentlicht (www.forschungsinformationssystem.de).

Mit dem EU geförderten Projekt MUNIN setzte dann 2012 eine unaufhaltbare Entwicklung ein, welche den Einsatz unbemannter oder autonomer Schiffe in einzelnen Einsatzszenarien bereits heute Realität werden lässt: „Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks – the project aims to develop and verify a concept for an autonomous ship, which is defined as a vessel primarily guided by automated on-board decision systems but controlled by a remote operator in a shore side control station.“ (www.unmanned-ship.org/munin).

Fast täglich erfahren wir heute aus den Medien über neue Entwicklungen zur autonomen Schifffahrt. An vielen Orten laufen oder beginnen gerade spannende Forschungsprojekte, neue Testgebiete werden ausgerufen und erste Reallabore zur Erprobung autonomer Schiffskonzepte gehen in Betrieb.

Insbesondere Länder wie Norwegen, Finnland und Korea schreiten bei der Entwicklung mit großen Schritten voran. Ein gutes Beispiel für diese Entwicklung ist das norwegische Projekt der *Yara Birkland* – ein Düngemitteltransporter mit einer Tragfähigkeit von 3200 tdw und einer Länge von 80 Metern. Das Schiff ist für den Feeder-Einsatz zwischen dem Yara-Düngemittel Werk im Herøya-Industriepark und den seewärtigen Verladehäfen Brevik und Larvik vorgesehen und wird hierbei neben den fortschreitenden technischen Erprobungen seine Fähigkeiten vom ersten Tag an auch bereits im ernsthaften kommerziellen Einsatz unter Beweis stellen müssen.

Neben den technischen und ökonomischen Fragestellungen steht zusätzlich aber auch die regulatorische Einbindung autonomer Schiffe in den konventionellen, bemannten Schiffahrtsbetrieb in der Diskussion. Aufgrund des bisherigen Fehlens eines geeigneten international verbindlichen Rechtsrahmens erfahren nationale Forschungsprojekte und Feldversuche hierfür bisher in aller Regel eine nationale, zeitlich wie räumlich begrenzte Sonderzulassung.

Mit ihren „Interim Guidelines for MASS trials“ bemüht sich die Weltschiffahrtsorganisation (IMO) zwischenzeitlich zumindest aber, hierfür auch einen entsprechenden auch international akzeptierten Rahmen zu schaffen. Im Rahmen der 98. Sitzung des Maritime Safety Committee (MSC 98) der IMO wurde vereinbart „to work on a regulatory scoping exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)“.

Vorrangiges Ziel dieser Untersuchung ist es, den Umfang der erforderlichen Anpassungen bestehender IMO-Konventionen und -Regelwerke zur Zulassung zukünftiger autonomer Schiffe im konventionellen Seeverkehr zu ermitteln: „The International Maritime Organization (IMO) – the global regulatory body for international shipping – has commenced work to look into how safe, secure and environmentally sound Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) operations may be addressed in IMO instruments.“

Angesichts der Komplexität dieser Aufgabe wird bis zur Verabschiedung einer umfassenden Überarbeitung aller relevanten IMO Regeln sicherlich noch längere Zeit vergehen. Allein, ein Anfang ist gemacht!

Um aber die Bedeutung und den Stellenwert der Entwicklung und des Betriebs unbemannter oder autonomer Schiffe im Rahmen der bestehenden Schiffahrt wirklich zu verstehen und bewerten zu können, ist es zunächst einmal wichtig, sich mit der Frage nach der übergeordneten Motivation und den Zielen dieser Entwicklung auseinanderzusetzen. Und hier sehen wir bei näherer Betrachtung, dass bei aller Faszination über die neuen technischen Fähigkeiten zum Bau autonomer Schiffe (Robotik, künstliche Intelligenz, Breitbandvernetzung und -kommunikation, etc.) die primären Treiber nach wie vor den gleichen Bedarfen und Herausforderungen folgen, welche die Entwicklung einer sicheren und zuverlässigen Schiffahrt von Anbeginn an befördert haben:

- dem Schutz des menschlichen Lebens auf See,
- der Erhöhung der Schiffssicherheit und der Zuverlässigkeit,
- der Absicherung logistischer Flüsse im Seetransport,
- der Optimierung der Kosten- und Wettbewerbssituation und
- der Verbesserung des marinen Umweltschutzes.

Daneben beeinflussen aber auch übergeordnete gesellschaftliche Trends und Entwicklungen zunehmend die Entwicklung im Bereich autonomer maritimer Fahrzeuge. Hierbei fällt das Augenmerk insbesondere auf Konzeptstudien, welche die fortschreitende Entwicklung der urbanen Mobilität in unseren Metropolen adressieren. Städte mit direktem Zugang zum und am Wasser entwickeln u. a. Konzepte zur Einbindung autonomer oder zumindest hoch-automatisierter Wassertaxis und Fähren in das Netz des öffentlichen Nahverkehrs.

Im Bereich der technologischen Entwicklung autonomer Systeme profitieren der Schiffbau und die Schifffahrt in hohem Maße von der Vorreiterfunktion der Entwicklungsaktivitäten rund um autonome Straßenfahrzeuge. Die Schwerpunkte im Bereich der autonomeren Schiffe liegen hier aktuell insbesondere in den Entwicklungsbereichen für:

- hochautomatisierte Regelungs- und Bahnführungssysteme
- intelligente Umfeld-Erkennung und -Wahrnehmung
- Zuverlässigkeit, Ausfall- und Angriffssicherheit
- nautische Assistenzsysteme und teilautonome Manöversteuerungen
- autonomes Verhalten und maschinelles Lernen
- Breitbandvernetzung und Kommunikation
- Cybersicherheit, Schutz und Abwehr

Im Unterschied zu den meisten Straßenfahrzeugen sind im Bereich der klassischen Schifffahrt jedoch eine Vielzahl weiterer, Bediener-geführter oder zumindest -überwachter Betriebsprozesse zum sicheren und zuverlässigen, autonomeren Bord- und Fahrbetrieb erforderlich. Hierzu gehören u. a.:

- Schiffsantrieb und Steuerung
- Lagestabilisierung und Ballastmanagement
- Ladungsüberwachung und -schutz
- Decksbetrieb und Notfallmanagement
- Maintenance und Reparaturen
- Schiffsführung, Meldedienste und Zertifikate

Eine Berücksichtigung auch dieser für einen sicheren und zuverlässigen Schiffsbetrieb unabdingbar notwendigen Prozesse auf dem Wege hin zum voll-autonomen Schiff werden bisher jedoch nur in wenigen Projekten ernsthaft berücksichtigt. Und so adressieren erste konkrete autonome Anwendungsfälle

insbesondere solche Szenarien, welche sich in zeitlich wie räumlich begrenzten Fahrtgebieten mit „überschaubaren Konkurrenzverkehren“ und Fahrtaufgaben darstellen. Hierzu gehören u. a. einfache Zubringerverkehre, Fähren, Überwachungs- und Vermessungsfahrzeuge.

Die Verfügbarkeit neuer Technologien wurde von der maritimen Branche zu allen Zeiten begierig aufgenommen und auf ihre jeweilige Eignung für den Einsatz im harten Schiffseinsatz geprüft. Die fortschreitende Entwicklung ausgereifter Rettungsmittel für Kreuzfahrtschiffe, schiffbauliche Verbesserungen im Bereich des Transportes gefährlicher oder umweltgefährdender Ladungen oder die Entwicklung der elektronischen Seekarte sind nur einige der zahlreichen Neuerungen der vergangenen Jahrzehnte.

Dabei stammen nicht alle Entwicklungen notwendigerweise immer originär aus dem Bereich der Schifffahrt. Andere Branchen wie die Logistik, die IKT Branche oder auch die Materialwissenschaften befruchten häufig mit zunächst branchen-fremden Impulsen auch die maritime Branche. Es ist daher nur legitim zu fragen, welche branchenübergreifenden Forschungs- und Technologietrends aus heutiger Sicht wesentlichen Einfluss auf die technologische Entwicklung der maritimen Branche nehmen oder absehbar nehmen werden.

Aber auch umgekehrt ist natürlich die Frage zu betrachten, wie sich mit einem zunehmenden Einsatz digitalisierter, autonomer Systeme in Häfen und an Bord neue Bedarfe und Anwendungen etablieren werden. Nicht alle diese Entwicklungen sind bereits heute in ihren Folgen umfänglich abschätzbar.

Deutlich wird aber bereits heute, dass mit der zunehmenden Einführung autonomer Technologien als logische Fortentwicklung und Konsequenz aus der maritimen Digitalisierungswelle völlig neue Bedarfe an digitalen Informationen für Hafenentwicklung und -management, Schiffsbetrieb und Nautik, maritime Sicherheit, Logistik und Personentransporte entstehen werden. Bereits heute ist beispielsweise absehbar, dass die für den sicheren Betrieb eines autonomen Seeschiffes bereitzustellenden nautisch-hydrographischen Informationen nicht einfach aus dem aktuellen Bestand nautischer Informationen aufzubereiten wären. Aber auch im Bereich der Verkehrsplanung und -koordinierung in den Häfen und Revieren sind bereits heute weitreichende Konsequenzen für zukünftige Datendienste erkennbar.

Zahlreiche internationale Organisationen und Arbeitsgruppen wie die IMO, die IALA und die IHO beschäftigen sich bereits intensiv mit diesen Fragen. Allein, hierbei geht es primär zunächst einmal in hoch-innovativen Zeiten wie heute darum technischen Fortschritt zuzulassen, gleichzeitig aber „proprietary Wildwuchs“ im Bereich der neuen Technologien zu vermeiden. Die großen mit dieser wegweisenden Entwicklung aber wirklich verbundenen Chancen zu begreifen und hieraus innovative Produkte für die Schifffahrt von Morgen zu entwickeln, das bleibt visionären Akteuren in Wirtschaft und Industrie vorbehalten.

„Driven by developments in autonomy, connectivity and digitisation, autonomous vessels present a disruptive technological advancement in shipping. As the standout sector within the maritime market, the industry is set to grow at 11.7 % year on year.

The industry is at the early stages of growth, but it is becoming increasingly likely that, over the coming years, a significant number of vessels will be entering service around the world navigated by computers and sensor – with or without remote human supervision. Legislation and information requirements will also change so that automated systems are able to interpret and act on data to operate these vessels safely and efficiently.“ (Blue economy: Autonomous vessels, UK Hydrographic Office Report, September 2020)

In diesem Sinne seien sie alle herzlich eingeladen sich an dieser spannenden Entwicklung mit Weitblick und Ideen zu beteiligen.

2 Zusammenfassung

- Die Entwicklung der autonomen Schiffe und der Schifffahrt im Allgemeinen ist die konsequente Fortsetzung der Bemühungen der Branche die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wettbewerbsfähigkeit der Schifffahrt voranzutreiben. Hierbei setzt sie auf alle verfügbaren Trends und Angebote des technologischen Fortschritts. Daher müssen wir für das Aufkommen autonomer Schiffe zum Schluss kommen, dass es hier nicht länger um die Frage des „ob“, sondern nur noch des „wann“ geht.
- Die Entwicklung der autonomen Schiffe dient keinem Selbstzweck, sondern dient als wichtiges Teilsegment einem wesentlich größeren Entwicklungsprojekten. Dieses ist nicht mehr und nicht weniger als die umfassende und durchgängige „Digitalisierung der maritimen Wirtschaft“.

Kontakt

Dipl.-Phys. Holger Klindt
Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation e.V. (DGON)

klindt-consulting
Warfer Landstraße 37A, 28357 Bremen
holger.klindt@klindt-consulting.com

Skalierbare Methoden zur Vermessung und Überwachung des Seegrundes – Entwicklung und Anwendung von satelliten- und drohnengestützten Verfahren

Mona Reithmeier | Knut Hartmann | Thomas Heege | Julian Wenzel

1 Einleitung

Die Bathymetrie beeinflusst Strömungen, Biodiversität und jegliche Planung von Küstenmanagement und Meeresnutzung. Flachwasserbereiche stellen den wichtigsten Lebensraum für die maritime Flora und Fauna dar. Zugleich sind sie höchst relevant für die Schifffsnavigation und den Küstenbau.

Die flächendeckende Vermessung und kontinuierliche Beobachtung dieses Tiefenbereichs sind mit der klassischen schiffsgebundenen Echolot-Methodik eine nahezu unlösbare Aufgabe. Im Rahmen der UN Ocean Decade und internationaler Großprojekte wie Seabed 2030 wird dieser Thematik nun die notwendige Aufmerksamkeit geschenkt und der Bedarf an innovativen und skalierbaren Verfahren wurde offensichtlich.

1.1 Wassertiefenberechnung des Flachwassers mit passiven, (multi-)spektralen Sensoren

Eine effektive und ressourcenschonende Vermessungsmethode ist die Ableitung der Wassertiefe von Satellitendaten, das Verfahren der „Satellite-Derived Bathymetry“ (SDB). SDB bezeichnet die Vermessung der Bathymetrie mittels passiver, zumeist multispektraler Satellitensensoren, welche die Sonnenreflektion im sichtbaren Bereich bis nahen Infrarot erfasst. Die aufgezeichnete, reflektierte Sonnenenergie ergibt sich aus den unterschiedlichen optischen Eigenschaften der Atmosphäre, der Wassersäule, des Seegrundes und einer Reihe weiterer Einflussfaktoren wie u. a. der Wassertiefe. In einem eigens entwickelten Verfahren wird diese Funktion nun umgekehrt. Diese physikalische Inversion des Strahlungstransports (inverse Radiative Transfer Equation, RTE) ermöglicht die Bestimmung der Wassertiefe aus der in den unterschiedlichen spektralen Wellenlängen reflektierten Sonnenenergie (z. B. Heege 2017, Hartmann et al. 2017).

Die Satelliten dienen hierbei als Plattform für den Sensor und können auch durch andere Trägersysteme ersetzt werden. Somit sind auch multi- und hyperspektrale Flugzeug- oder drohnenbasierte Sensoren zur Berechnung der Wassertiefe geeignet.

1.2 Skalierbarkeit

Die Skalierbarkeit bezeichnet die Fähigkeit eines Systems sich dynamisch an den benötigten Bedarf anzupassen. Im Gegensatz zu allen anderen Vermessungsmethoden hat SDB – bei der im folgenden skizzierten IT-Infrastruktur – die Eigenschaft skalierbar zu sein. Dies ermöglicht den Zugriff auf bathymetrische Daten in verschiedenen, auch unzugänglichen Regionen sowie aus historischen Aufnahmen Einblicke in die Dynamik des Seegrundes zu erhalten.

2 SDB-Online

EOMAP, ein deutsches Unternehmen, entwickelte im Rahmen langjähriger Forschung ein einmaliges Verfahren zur SDB. Hierbei wurde die Inversion der RTE physikalisch korrekt modelliert, was den Einsatz bei unterschiedlichen Umweltbedingungen ermöglicht. Eine lokale Kalibration ist im Gegensatz zu empirischen Methoden nicht notwendig, stattdessen können Wassertiefen ausschließlich aus Satellitendaten ermittelt werden. Ein Vorteil den sich u.a. Kunden aus dem Defence Bereich (z.B. Waterson 2022, Handwiono 2022) und der Küstenindustrie zu Gute machen.

EOMAP hat dieses Verfahren im Rahmen eines europäischen Innovationsprojektes, 4S, weitestgehend automatisiert und auf der AWS Cloud-Infrastruktur installiert. Der Zugriff kann sowohl über eine programmatische Schnittstelle (API) als auch über einer Webapp (sdb-online.eomap.com, siehe Abb. 1) erfolgen. In der Cloud ist ebenfalls die direkte Koppelung mit den Satellitendatenarchiven der Sentinel-2-Sensoren integriert. Ein automatisches Verfahren klassifiziert die Satellitendatenaufnahmen für SDB-Analysen und schlägt diese dem Nutzer vor, bzw. übergibt diese automatisiert an die Analysekette. Die zeitaufwendige Auswahl und der datenintensive Transfer von Satellitendaten entfallen für den Anwender. In dieser Form stellt SDB-Online eine bisher einmalige Innovation dar, die dem Nutzer eine flexible und zeiteffiziente SDB-Prozessierung ermöglicht.

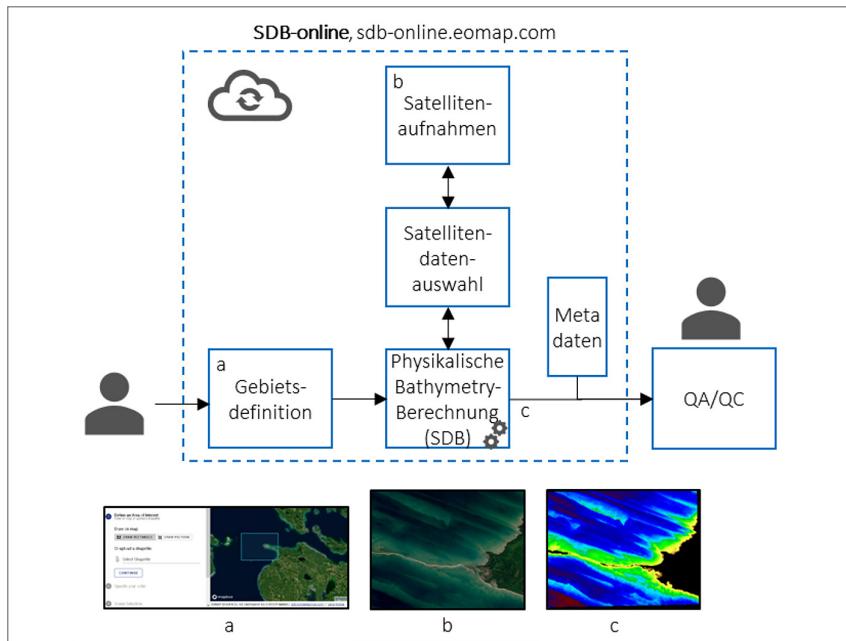


Abb. 1: Konzept von SDB-Online. Der Anwender bestimmt über die Webapp sdb-online.eomap.com ein Flachwassergebiet (a). Die physikalische Berechnung der Wassertiefe erfolgt aus automatisch oder manuell identifizierten Satellitendaten (b). Die berechneten bathymetrischen Daten (c) erhalten Wassertiefeninformationen von der Küstenlinie bis zur Sichttiefe und stehen dem Anwender als Download zur Verfügung. Das System ist auf der Cloud installiert und skalierbar.

2.1 Möglichkeiten und Grenzen

Die Ableitung von Bathymetrie aus optischen Satellitendaten beschränkt sich auf den Tiefenbereich in dem ein signifikanter Anteil das Sonnenlichts vom Seegrund reflektiert wird. Dies entspricht circa der einfachen Secchi-Scheiben Tiefe, z. B. 8 bis 12 m Wassertiefe in der deutschen Ostsee oder bis zu 25 bis 30 m in pazifischen Atollen (Hartmann et al. 2017). Bei Flachwassergebieten mit variabler Trübung können gezielt die Aufnahmedaten mit geringer Trübung selektiert und verwendet werden. Neben der Trübung können auch die Aufnahmegeometrie und sehr dunkle Seegrundoberflächen limitierende Einflüsse auf die Datenqualität und Datenabdeckung haben.

SDB weist den größten Vorteil auf, wenn bathymetrische Daten nicht oder nur mit hohem Kostenaufwand gewonnen werden können. Dies gilt vor allem

für unzugängliche, weit ausgedehnte Flachwassergebiete sowie für die kontinuierlichen Überwachung von Gebieten. Beide Beispiele werden im Folgenden skizziert.

2.2 Anwendungsbeispiele: Kombination von SDB-Online Bathymetrie und MBES in Kanada

Der Großteil der Flachwassergebiete in den hohen Breiten wurde bisher nicht oder nur unzureichend vermessen. Akustische Vermessungen werden durch die zeitlich begrenzte Vermessungssaison, die Unzugänglichkeit der Gebiete und den enormen Aufwand erschwert. Die arktischen Gebiete Kanadas bieten hierfür ein gutes Beispiel. Vorhandene akustische Vermessungen beschränken sich zumeist auf tiefe Gebiete, da die ausgedehnten Flachwasserbereiche gemieden werden. SDB-Online bietet nun eine einmalige skalierbare und automatisierte Lösung, um eben diese Gebiete zu kartieren. In Abb. 2A werden die Ergebnisse des neuen SDB-Online Tools für ein arktisches Gebiet in Kanada aufgezeigt. Für eine kleine Fläche des Gebiets sind Fächerecholot Kartierungen vorhanden. SDB ermöglicht die Kartierung aller Flachwassergebiete bis zu -9 m Tiefe und kann die MBES-Abdeckung ideal ergänzen. Gleichzeitig kann der Überlappungsbereich der SDB- und MBES-Daten für eine vertikal Genauigkeitsaussage der SDB-Daten verwendet werden. Für das Beispiel ergeben sich vertikale Genauigkeiten von 1 m absolute und 10 % Tiefenengenauigkeit (2σ) und 0,5 m absolut und 6 % Tiefenengenauigkeit (1σ) und eine mittlere Abweichung von 72 cm. Diese Ergebnisse entsprechen den automatisch generierten Ergebnissen ohne eine manuelle QA/QC Bearbeitung der Daten, eine Optimierung der Ergebnisse ist dementsprechend möglich.

2.3 Anwendungsbeispiele: Monitoring von Flachwasserbereichen in Darß, Deutschland

Die kontinuierliche Überwachung der Flachwassergebiete ist ein weiterer Anwendungsfall der SDB. Da SDB-Online auf die Datenarchive der Sentinel-2-Daten zugreift, ist die Nutzung historischer (seit Ende 2015) und neu aufgenommener Satellitendaten für die SDB-Prozessierung möglich. Abb. 2B zeigt die Ergebnisse von SDB-Online für eine Satellitenaufnahme von 2017 und von 2020. Aus den Ergebnissen geht die küstennahe Morphologie hervor, wodurch die Bestimmung der Verschiebung von Sandbänken und der Verlagerung von Sedimenten ermöglicht wird. Auch hier entsprechen die gezeigten Ergebnisse den direkten Ausgaben der SDB-Online Webapp.

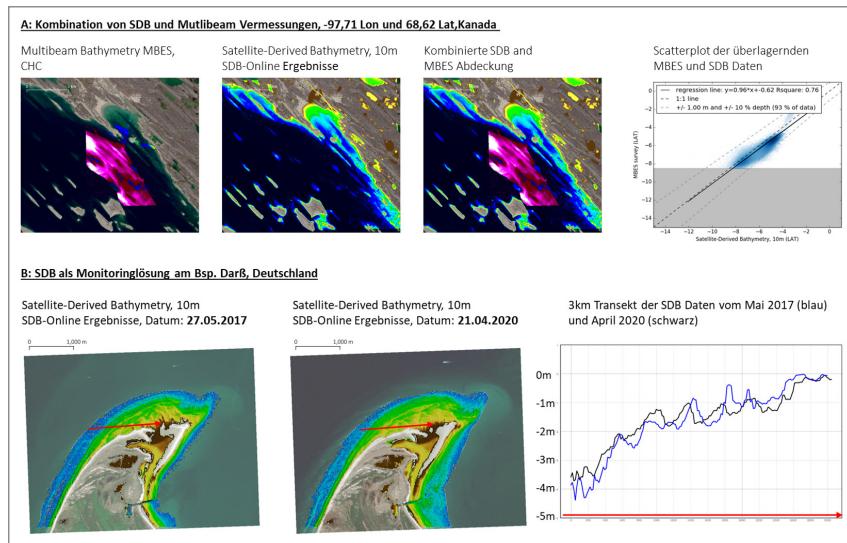


Abb. 2: Zwei Anwendungsbeispiele für SDB basierend auf SDB-Online. A: Kartierung von unzugänglichen Flachwassergebieten im arktischen Kanada. Von links nach rechts: Eine Fächerecholot Kartierung durchgeführt vom Hydrographischen Dienst. In SDB-Online erzeugte Flachwassertiefen für den küstennahen Bereich bis circa –9 m Wassertiefe. Die Kombination aus MBES im tieferen Wasser und SDB, woraus eine ideale und effektive Datenabdeckung resultiert und eine vertikale Genauigkeitsaussage über die SDB-Daten im Überlappbereich getroffen werden kann. B: SDB als Überwachungslösung um die Veränderungen des Seegrundes zu bestimmen, am Beispiel des Darß, Deutschland. Von links nach rechts: in SDB-Online erstellte 10 m-Bathymetrie-Raster für den 27.05.2017 und den 21.04.2020. Die roten Pfeile entsprechen der Lage des Tiefentransektes, in dem die Verlagerung und Änderung des Seegrundes erkannt und quantifiziert werden können.

2.4 Gegenwärtige Entwicklungen

Der Bedarf an räumlich sehr hoch aufgelöster Bathymetrie ist in vielen Anwendungsfällen von hohem Interesse für die Nutzer. Mit Satellitendaten ist derzeit eine Auflösung von maximal 1,3 m möglich, weshalb auch die Detektion von kleineren Objekten am Boden begrenzt ist.

Eine Alternative hierzu bieten Sensoren, die von Flugdrohnen getragen werden. Eine Zentimeter- bis Dezimeter-Auflösung der bathymetrischen Daten ist hierbei möglich. In den letzten Jahren haben sich sowohl die Dronentechnologie, als auch die Sensorik signifikant entwickelt. Derzeit befasst sich das nationale Forschungsprojekt REMAP und das europäische Innovationsprojekt 4S mit

der Ableitung von extrem hochauflöster Flachwasserbathymetrie aus multispektralen, drohnengestützten Sensoren.

3 Fazit

Die Vermessung der Flachwasserbathymetrie mit passiven Satelliten- oder drohnengestützten Sensoren stellt eine bereits häufig verwendete Methode der Flachwasserkartierung dar. Während die Vermessung mit drohnengestützten Sensoren noch im laufenden Forschungs- und Innovationsprojekten bearbeitet wird, bietet die physikalisch basierte Satellite-Derived Bathymetry ein robustes und standardisiertes Verfahren. SDB-Online bietet den Zugriff auf diese Methodik mittels einer Webapp (sdb-online.eomap.com) und ermöglicht jedem Nutzer eine flexible und skalierbare SDB-Prozessierung. An den Beispielen der Integration von akustischen Vermessungen und SDB sowie des Monitorings eines Flachwassergebiets wurden Anwendungsmöglichkeiten von SDB-Online demonstriert.

Literatur

- Handwono, Y (2022): Keynote: Satellite Derived Bathymetry Application for National Hydrographic Survey. Online record and oral presentation at SDB Day Conference. URL: <https://sdbday.org/conference-materials/>, letzter Zugriff 04/2022.
- Hartmann, K., Heege, T., Wettle, M., Bindel, M. (2017): Satellite-derived bathymetry. An effective surveying tool for shallow-water bathymetry mapping. In: Hydrographische Nachrichten HN108-10. DOI: [10.23784/HN108-05](https://doi.org/10.23784/HN108-05).
- Heege, T. (2017): US Patent No 9613422, Using multispectral satellite data to determine littoral water depths despite varying water turbidity. Patent Publication Number 20150310618. Assignee: EOMAP GmbH & Co.KG. Inventor: Thomas Heege.
- Waterson, C. (2022): Keynote: Four years of SDB: A user's perspective. Online record and oral presentation at SDB Day Conference. <https://sdbday.org/conference-materials/>, letzter Zugriff 04/2022.

Kontakt

Mona Reithmeier | Dr. Knut Hartmann | Dr. Thomas Heege | Julian Wenzel
EOMAP GmbH & Co. KG
Schlosshof 4, 82229 Seefeld
reithmeier@eomap.de | hartmann@eomap.de | heege@eomap.de | wenzel@eomap.de

Automatische Schadenserkennung an Wasserbauwerken mittels hybrider Messplattform und Machine-Learning

Frederic Hake | Hamza Alkhatib | Ingo Neumann

1 Motivation

Die alternde Infrastruktur der See- und Binnenhäfen in Deutschland erfordert neue Technologien und Methoden in der Vorbereitung und Durchführung des Lebenszyklusmanagements. Die bisher personal- und zeitintensiven Arbeitsprozesse werden durch neue automatisierte, intelligente und innovative Mess- und Analyseverfahren ersetzt, um Transparenz, Ressourceneffizienz und Zuverlässigkeit zu gewährleisten.

Hafeninfrastrukturen sind im Laufe ihrer Lebensdauer starken Belastungen ausgesetzt. Vor allem Seehäfen werden durch das Salzwasser stark angegriffen. Dies führt zu strukturellen Schäden an Mauerwerken, den Betonstrukturen, Spundwänden oder Holzkonstruktionen. Um die Sicherheit und Stabilität der Infrastruktur zu gewährleisten, ist es entscheidend, die Schäden rechtzeitig zu erkennen und deren Bedeutung einzuordnen. Dies ermöglicht frühzeitige Instandhaltungsmaßnahmen und kann kostspielige Reparaturen verhindern.

1.1 Bauwerksüberwachung mittels kinematischen Über- und Unterwasserscansystem

Eine umfassende Bauwerksinspektion der Infrastruktur in See- und Binnenhäfen in kurzen Zeitabständen ist notwendig. Aufgrund des hohen Sedimentaufkommens, insbesondere in Flussregionen, ist eine qualitätsgesicherte visuelle Inspektion aus wirtschaftlichen Gründen kaum möglich.

Diese Studie befasst sich mit einer vollautomatischen, qualitätsgesicherten und reproduzierbaren Über- und Unterwasser-3D-Sensorik und -Schadensdetektion von Hafeninfrastruktur. Die Schadensdetektion erfolgt in der Regel mit Methoden der Mustererkennung siehe Hesse et al. (2019).

Die gewonnenen Ergebnisse sollen vom Hafenbetreiber genutzt werden, um die auf die Bauwerksprüfung folgenden Instandhaltungskonzepte und Baumaßnahmen transparent und zuverlässig zu gestalten. Darüber hinaus werden Struk-

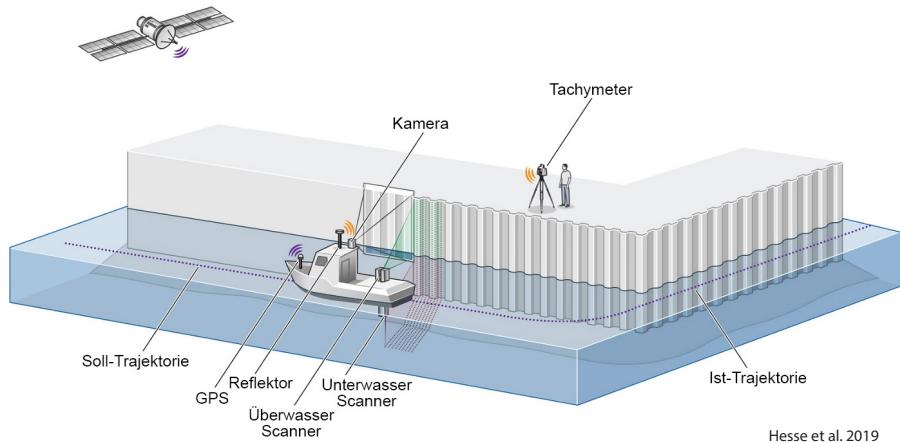


Abb. 1: 3D-Aufnahme einer Hafenanlage über und unter Wasser

turanalysen genutzt, um die Lebensdauer und den Lebenszyklus des Bauwerks zu beurteilen. Durch diese Vorgehensweise werden die Stillstandszeiten der Hafenanlagen und kostenintensive Instandhaltungsmaßnahmen deutlich reduziert.

Nur so können Schäden zuverlässig erfasst und darauf aufbauend eine fundierte Bewertung des aktuellen Bauwerkszustandes vorgenommen werden. Für die Erfassung von Bauwerksgemetrie und -zustand werden nicht nur exakte, sondern auch hochauflösende 3D-Daten für die Unter- und Überwasserteile des Bauwerks benötigt.

In unserem System werden für diese Erfassungsaufgabe drei verschiedene Sensorarten zu einem kinematischen Multi-Sensor-System (k-MSS) zusammengeführt: Ein hochauflösendes hydroakustisches Unterwasser-Mehrstrahl-Echolot, ein Überwasser-Profil-Laserscanner und fünf Kameras. Zur Positionierung wird neben der aus verschiedenen Anwendungen bekannten IMU-GNSS¹-Methode eine hybride Referenzierung mit automatisch nachgeführten Totalstationen verwendet (Abb. 1). Obwohl die einzelnen Sensoren rasterförmig aufnehmen, ist die resultierende Punktwolke aufgrund der Bewegungen der Trägerplattform nicht rasterförmig.

1.2 Schadenserkennung mittels Anomalien-Detektion

Die Erkennung von nicht-normalen Instanzen innerhalb von Datensätzen wird oft als Anomalien-Detektion bezeichnet. Erstmals von Grubbs (1969) für die

¹ Inertiale Messeinheit (IMU) – Globales Navigationssatellitensystem(GNSS)

Ausreißererkennung erwähnt, wird die Definition dieser Ausreißer heute sehr unterschiedlich gehandhabt. Anomalien werden nicht mehr nur als fehlerhafte Messwerte verstanden, sondern oft mit besonders interessanten Ereignissen oder verdächtigen Datensätzen assoziiert. Die ursprüngliche Definition wurde daher von Goldstein und Uchida (2016) erweitert:

- Anomalien unterscheiden sich von der Norm in Bezug auf ihre Merkmale.
- Anomalien sind selten im Vergleich zu normalen Instanzen in einem Datensatz.

Zwei weit verbreitete Methoden zur Anomalien-Detektion sind Transfer Learning und Local-Outlier-Factors (LOF). Beim Transfer Learning (Andrews et al. 2016) werden Neuronale Netze verwendet, die auf einer anderen Domäne vortrainiert sind. Dazu wird der Lernfortschritt des bestehenden Modells übertragen. Daraus ergeben sich Vorteile wie: schnellere Erstellung, bessere Modellqualität und geringerer Ressourcenverbrauch. Breunig et al. (2000) beschreiben eine Methode namens LOF, die ein Objekt danach beurteilt, wie isoliert es in Bezug auf seine lokale Nachbarschaft ist.

2 Beispiele zur Schadensdetektion

Im Folgenden werden zwei Beispiele für die automatische Schadensdetektion durch Anomalien-Detektion beschrieben. Das erste Beispiel verwendet Bilddaten und Transfer-Learning zur Erkennung von Aussinterungen und das zweite Beispiel nutzt LOF zur Erkennung von geometrischen Schäden in 3D-Daten einer Hafenanlage.

2.1 Bildsegmentierung mit Transfer-Learning

Zur Erkennung von Aussinterungen an Beton- und Klinkerbauwerken in Hafenanlagen wird ein Ansatz des Transfer-Learnings verwendet. Die Nutzung von mit natürlichen Bildern vortrainierter Netze wie das hier genutzte VGG19 (Simonyan und Zisserman 2014) bietet den Vorteil, die Anzahl an benötigten Trainingsdaten reduzieren zu können. Wir behalten nur die ersten Schichten des Netzes bei, d.h. einschließlich des Layers pool4. Der Grund hierfür ist, dass tiefere Schichten dazu neigen, Merkmale höherer Ordnung zu lernen (z.B. Gesichter oder Objekte) als niedrigere Schichten (z.B. Kanten und Strukturen). In Abb. 2 sind zwei Beispiele der Bildsegmentierung dargestellt. Jeweils oben links befindet sich das Originalbild, oben rechtes das Labelbild (weiß steht für echte Aussinterungen), unten links die vom Algorithmus stärker betrachteten

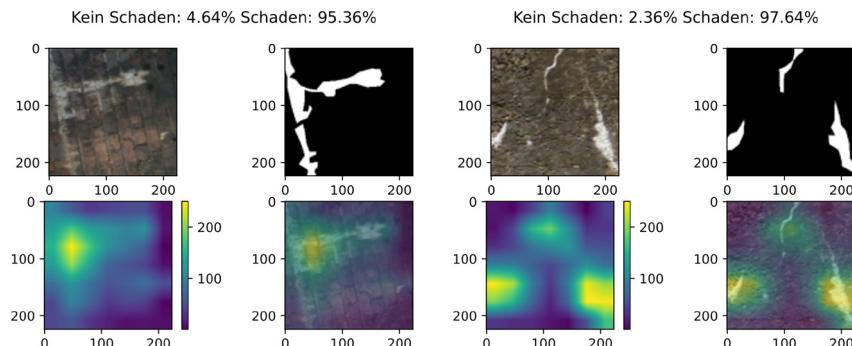


Abb. 2: Beispielhafte Ergebnisse einer Bildsegmentierung zur Erkennung von Aussinterungen

Bereiche und unten rechts eine Überlagerung aus Originalbild und betrachteten Bereichen. Beide Beispiele wurden sehr eindeutig richtig als Schaden erkannt. Das überlagerte Bild unten rechts verdeutlicht zudem, dass der Algorithmus die Bildbereiche, in denen die Aussinterungen vorhanden sind, zur Entscheidungsfindung heranzieht.

2.2 Schadenssegmentierung mit Local-Outlier-Factors

Für die Erkennung von geometrischen Schäden wie Abplatzungen, Ausbrüche etc. in 3D-Scandaten von Hafenbauwerken wie z. B. Spundwänden, werden LOF verwendet. Dabei ist es das Ziel, Bereiche zu detektieren, welche nicht zum Rest der Daten passen. Hierbei handelt es sich nicht um grobe Messfehler, sondern um geschädigte Bereiche. In Abb. 3 sind beispielhafte Ergebnisse einer Schadenserkennung an einer Betonkaimauer aus dem Stadthafen von Lübeck dargestellt. Eine grüne Einfärbung steht für korrekt erkannte Schäden, eine gelbe Einfärbung für Schäden, die vom Algorithmus erkannt wurden, aber keine Schäden sind, und rot steht für Schäden, die nicht erkannt wurden. Grenzen gelbe oder rote Bereiche an grüne an, so gilt der Schaden trotzdem als korrekt erkannt.



Abb. 3: Beispielhafte Ergebnisse einer Schadenserkennung zur Erkennung von Abplatzungen

3 Zusammenfassung

Es wurden zwei Methoden des maschinellen Lernens zur Erkennung von Schäden vorgestellt. Mit Transfer-Learning lassen sich Aussinterungen in Farbbildern erkennen und LOF ermöglicht es 3D-Scandaten in geschädigte und nicht geschädigte Bereiche zu segmentieren. Beide Verfahren sind geeignet, um Schäden in Massendaten vollautomatisch zu erkennen. Zukünftig könnten die Verfahren die Bauwerksprüfung unterstützen, indem sie eine Vorauswahl automatisch erkannter Schäden für die Bauwerksprüfer zusammenstellen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Literatur

- Andrews, J., Tanay, T., Morton, E. J., Griffin, L. D. (2016): Transfer representation-learning for anomaly detection. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Machine Learning. JMLR: New York, NY, USA.
- Breunig, M. M., Kriegel, H. P., Ng, R. T., Sander, J. (2000): LOF: identifying density-based local outliers. In: Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 93–104.
- Goldstein, M., Uchida, S. (2016): A comparative evaluation of unsupervised anomaly detection algorithms for multivariate data. *PLoS one*, 11(4), e0152173.
- Grubbs, F. E. (1969): Procedures for detecting outlying observations in samples. In: *Technometrics*, 11(1), 1–21.
- Hesse, C., Holste, K., Neumann, I., Hake, F., Alkhatib, H., Geist, M., Knaack, L., Scharr, C. (2019): 3D HydroMapper: Automatisierte 3D-Bauwerksaufnahme und Schadenserkennung unter Wasser für die Bauwerksinspektion und das Building Information Modelling. In: *Hydrographische Nachrichten – Journal of Applied Hydrography*, 113:26–29.
- Simonyan, K., Zisserman, A. (2014): Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.

Kontakt

Frederic Hake

Leibniz Universität Hannover, Geodätisches Institut

Nienburger Straße 1, 30167 Hannover

hake@gih.uni-hannover.de

Ocean Technology Campus Rostock: Innovationsökosystem für digitale Unterwassertechnik

Patrick Bethke | Detlef Lemke | Peter Menzel | Uwe Freiherr von Lukas

Der geplante massive Ausbau der Offshore-Wind-Kapazitäten aber auch andere Nutzungsformen der Meere wie die Aquakultur, die Speicherung von CO₂ bis hin zum Tiefseebergbau lenken die Aufmerksamkeit vieler Akteure auf die Meere und eröffnen interessante wirtschaftliche Perspektiven. Parallel dazu beobachten wir eine Fülle von Forschungsergebnissen und technischen Neuerungen, die genutzt werden können, um maritime Missionen noch effizienter und sicherer durchführen zu können. Wesentlichen Anteil daran hat die Digitalisierung, die in Kombination mit unterschiedlichen Sensoren dafür sorgt, die Unterwasserwelt vom Meeresboden über die Wassersäule bis zur Wasseroberfläche umfassend vermessen zu können. Im Ergebnis entsteht ein Digitaler Zwilling, der die Grundlage für die Planung von Missionen bildet, in Echtzeit für die Realisierung autonomer Funktionen herangezogen werden kann und auch die detaillierte Dokumentation von durchgeführten Arbeiten ermöglicht.

Die Erforschung, Entwicklung und Anwendung der hierzu notwendigen digitalen Unterwassertechnik bilden einen Schwerpunkt der Arbeiten und Angebote des Ocean Technology Campus Rostock (OTC). Mit der Zielstellung eines umfassenden Innovationsökosystems für die maritime Technik werden am Standort Rostock aktuell ein Bündel von Maßnahmen mit finanzieller Unterstützung des Bundes und des Landes Mecklenburg-Vorpommern umgesetzt. Diese Maßnahmen ermöglichen es den Akteuren, die notwendigen Grundlagen transdisziplinär zu erforschen, Forschungsergebnisse erfolgreich in die Praxis zu transferieren und Ideen für neue Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen schneller umzusetzen. Die wichtigsten Einzelmaßnahmen hierbei sind (s. a. Abb. 1):

- Ausbau der Kapazitäten zur Grundlagenforschung – insbesondere zur digitalen Unterwassertechnik an der Universität Rostock durch Einrichtung der Professur Maritime Graphics sowie flankierenden Nachwuchsforschergruppen zu Marine Data Science und Subsea Imaging
- Ausbau der Forschungskapazitäten für interdisziplinäre Fragestellungen der Meerestechnik für die Fraunhofer-Forschungsgruppe Smart Ocean Technologies
- Aufbau einer Test- und Erprobungsinfrastruktur in der Ostsee

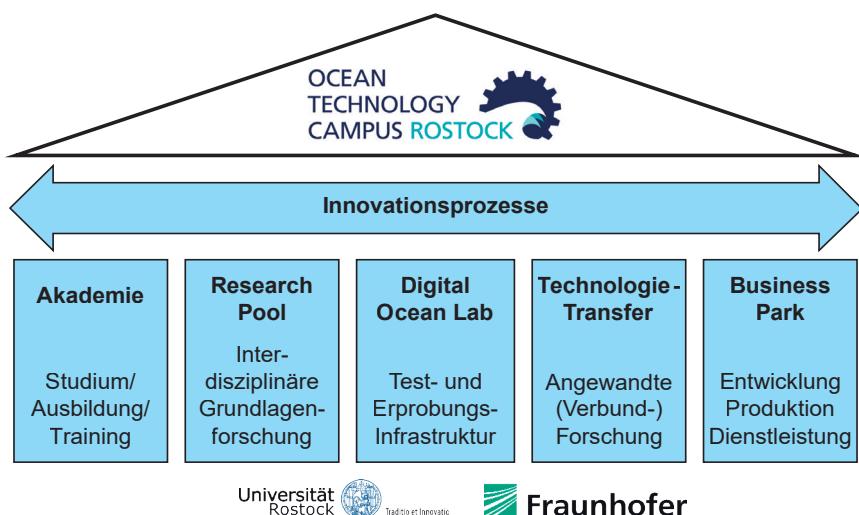


Abb. 1: Konzept des Ocean Technology Campus Rostock

- Intensivierung des Transfers von Forschungsergebnissen der Universität Rostock, des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung Warnemünde und der Fraunhofer-Gesellschaft durch das neu aufgebaute Leistungszentrum Sustainable Ocean Business
- Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen und Etablierung offener Innovationsprozesse im Rahmen des BMBF-Zukunftsclusters Ocean Technology Campus Rostock

Zwei dieser Maßnahmen sollen im Folgenden etwas näher vorgestellt werden.

1 Digital Ocean Lab

Das Digital Ocean Lab (DOL) vor Nienhagen ist ein Reallabor, in dem alle Facetten der Digitalisierung insbesondere auf Unterwasseranwendungen übertragen werden sollen. Die am DOL bereits bestehende Forschungsinfrastruktur soll in den kommenden Jahren stark erweitert und der Fokus von der biologischen und fischereilichen Forschung in technische Forschung weiterentwickelt werden. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf der sensorischen Erfassung der Unterwasserwelt sowie der Integration der Sensordaten in Echtzeit-Vorhersagemodelle und digitale Abbilder des Seegebietes und der dort stattfindenden Prozesse.

Im ersten Schritt wurden und werden hierzu Standard-Surveys mit Multi-beam-Sonar, Sidescan-Sonar und Subbottom Profiler durchgeführt. An der

Plattform werden Umweltparameter wie Strömung, Salzgehalt, Temperatur und Seegang sowie meteorologische Daten erfasst (Abb. 2). Die Infrastruktur wird durch einen eigenen RTK-Korrekturdatensender ergänzt. Alle Daten werden in Echtzeit übertragen und sollen künftigen Nutzern zur Verfügung stehen, um autonome Unterwassersysteme, Methoden zur Detektion, Klassifikation und Räumung von Munitionsaltlasten, Kabel- und Pipeline Monitoring- und Trackingsysteme bis hin zu möglichst umweltverträglichen UW-Bergbau-systemen zu entwickeln. Bei allen Vorhaben stehen Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit sowie die Konformität mit behördlichen Auflagen und Prozessen im Mittelpunkt. So wurde z.B. ein System zur digitalen Kennzeichnung von Seegebieten in Kooperation mit dem WSAOstsee installiert, welches zukünftig genutzt werden kann, um Seegebiete dynamisch unterschiedlichen Nutzergruppen vorzuhalten. Diese Zusammenarbeit soll weiter ausgebaut werden, um zukünftig auch autonome Über- und Unterwasserfahrzeuge in diesem Seegebiet betreiben zu können. Die hierfür notwendigen Vorarbeiten zur exakten Positionsbestimmung und Kennzeichnung ohne direkte Kommunikation mit dem Fahrzeug wurden bereits begonnen.



Abb. 2: Offshore-Plattform am Digital Ocean Lab

2 Forschungsgruppe Smart Ocean Technologies (SOT)

Die im Februar 2020 unter der Beteiligung von vier Fraunhofer Instituten am Standort Rostock gebildete interdisziplinäre Forschungsgruppe Smart Ocean Technologies (SOT) leistet durch die anwendungsorientierte Forschung, Entwicklung und Erprobung im Bereich der Unterwasser-Technologien einen eigenständigen Beitrag zum Schutz und zur nachhaltigen wirtschaftlichen Nutzung der Ozeane. Der thematische Fokus liegt dabei auf smarter Sensorik und Aktorik, neuen Materialien, und der Verknüpfung dieser Methoden mit moderner Datenhaltung und -analytik, etwa mit Machine Learning.

Beispielsweise hat das SOT-Projekt MiniLab den Ausbau der Testinfrastruktur an der Warnow zum Inhalt. Im Mittelpunkt steht dabei eine modulare, agile Unterwasserplattform, die zunächst als Testumgebung für z. B. Prototypen von Sensoren im Rahmen spezifischer Versuchsaufbauten genutzt werden kann (Abb. 3). Für Tests von Sensorik oder Materialverhalten unter Wasser werden empirische Daten zur Evaluierung unter realistischeren Umgebungsbedingungen benötigt. Durch die äußeren Einflussfaktoren wie Wellengang, Wind, Regen, fehlende Halterungen, wasserdichte Kabelverbindungen und flexible Haltestrukturen ist es schwierig, stabile Rahmenbedingungen während der Messungen

unter Wasser zu gewährleisten. Zu diesem Zweck wird mit dem MiniLab also ein Reallabor entwickelt, das für SOT-interne Projekte, aber auch für Tests mit Projektpartnern oder als Service für Industrikunden, zur Verfügung steht. In weiteren Ausbaustufen erfolgen die Einbindung einer kabellosen Sensoransteuerung und -überwachung sowie die Erweiterung des MiniLabs zum Einsatz als mobile Unterwasser Monitoring Station.

Die Einbindung von Initiativen zur Digitalisierung der Ozeane, wie *Mari-space-X* oder *ILIAD*, bietet eine hervorragende Möglichkeit zur prototypischen vertikalen Integration, vom einzelnen Sensor im Feld hin zur Auswertung und Visualisierung in Datenräumen in der Cloud.

Somit bilden die unmittelbare Nähe zur Ostsee, das Testfeld an der Warnow direkt vor der Haustür sowie der weitere Ausbau des Digital Ocean Lab als universelles Testfeld für Unterwassertechnologien für die stark praxisorientierte Tätigkeit der Forschungsgruppe ideale Voraussetzungen.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Uwe Freiherr von Lukas
Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD
Joachim-Jungius-Straße 11, 18059 Rostock
uwe.von.lukas@igd.r.fraunhofer.de



Abb. 3: MiniLab-Einsatz am Versuchssteg (Warnow)

Hydrographie ist eine angewandte Wissenschaft. Sie befasst sich mit der Vermessung und Beschreibung der physikalischen Merkmale von Ozeanen, Randmeeren, Küstenzonen, Seen und Flüssen sowie mit der zeitlichen Variation dieser Merkmale. Hydrographie ist eine Disziplin, die nur wenige Fachleute kennen. Selbst für die Geodätinnen und Geodäten ist sie vielfach fremd. Dabei sind die hydrographischen Informationen entscheidende Voraussetzung für nahezu alle Nutzungen der Meere und Binnengewässer. Gleiches gilt für deren Schutz.

»Messen mit allen Sinnen« – dieser Tagungsband zeigt in Kurzbeiträgen die vielfältigen Facetten der Hydrographie und trägt dazu bei, das Wissen über unsere Gewässer zu erweitern, um sie verantwortungsvoll und sicher nutzen zu können und als Lebensraum zu schützen.



ISBN: 978-3-95786-317-1



9 783957 863171

Schriftenreihe des DVW
Band 102 / 2022
Printversion: 26,80 Euro
PDF: kostenfrei
www.geodaeisie.info

