

Journal of Applied Hydrography

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

03/2025

HN 130



Binnengewässer
Inland waters



Pilotstudie im Schweriner Außensee zur hydroakustischen Seenvermessung mittels USV

Ein Beitrag von SEBASTIAN LORENZ, OVOKE IVWIGHRE, AGATA FELDENS, EZEKIEL DAVID, JORGE IBACETA, MATTHIAS HINZ und TORSTEN HABERZETTL

Im März 2024 wurde ein 2,36 km² großer Teilbereich des Schweriner Außensees (Mecklenburg-Vorpommern) mit Hilfe eines Uncrewed Surface Vehicle (USV) von der Subsea Europe Services GmbH unter Verwendung des interferometrischen Sonars GeoSwath 4R und des Fächerecholots R2Sonic 2026 V+ neu vermessen. Die gemessenen Wassertiefen reichten von weniger als einem Meter bis zu 51 Metern. Die Kombination beider Messverfahren lieferte Rasterdaten zur Morphologie, zur Sedimentbeschaffenheit des Seebodens sowie zu dessen topografischen Besonderheiten in bislang unbekannter Genauigkeit. Mit einer Bodenauflösung von 0,25 bis 0,50 m konnten detaillierte bathymetrische Daten und das subaquatische Mikrorelief mit Objekten (z. B. Steine) und Depressionen in Größe und räumlicher Verbreitung erfasst werden. Die erfolgreiche Anwendung einer Kombination aus zwei Fächerecholoten für das breite Wassertiefenspektrum in einem Binnensee wird hier beschrieben. Die Datenqualität und die Effizienz des Verfahrens empfehlen die Seenvermessung mittels USV und Fächerecholoten auch für andere Binnengewässer.

Schweriner See | Bathymetrie | USV | Fächerecholot | Sonar | subaquatisches Mikrorelief | Objekterkennung
Lake Schwerin | bathymetry | USV | multibeam echo sounder | sonar | subaquatic micro-relief | object detection

In March 2024, a 2.36 km² section of the Schwerin Outer Lake (Mecklenburg-Western Pomerania) was re-surveyed by Subsea Europe Services GmbH with the help of an uncrewed surface vehicle (USV) using the GeoSwath 4R interferometric sonar and the R2Sonic 2026 V+ multibeam echo sounder. The measured water depths ranged from less than one metre to 51 metres. The combination of both measurement methods provided raster data on the morphology, sediment composition and topographical features of the lake bed with unprecedented accuracy. With a bottom resolution of 0.25 to 0.50 metres, detailed bathymetric data and the subaquatic micro-relief with objects (e.g. stones) and depressions could be recorded in terms of size and spatial distribution. The successful application of a combination of two multibeam echo sounders for the broad water depth spectrum in an inland lake is described here. The data quality and efficiency of the method recommend lake surveying using USV and multibeam echo sounders for other inland waters as well.

Autoren

Dr. Sebastian Lorenz und Prof. Dr. Torsten Habertzettl arbeiten an der Universität Greifswald. Ovoke Ivwighre, Agata Feldens, Ezekiel David, Jorge Ibaceta und Matthias Hinz arbeiten bei Subsea Europe Services in Halstenbek und Rostock.

sebastian.lorenz@uni-greifswald.de

1 Einleitung

Im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern sind 2033 Seen mit mehr als einem Hektar Wasserfläche gelegen (gesamt ca. 73 800 ha). Für 202 davon ist das Land über die EU-Wasserrahmenrichtlinie berichtspflichtig (LALLF 2025; WRRRL-MV 2025). Diese Seen unterliegen unter Federführung des Umweltministeriums zum Teil seit Jahrzehnten einer hydrochemischen und limnologischen Beobachtung durch Beprobungen und Feldmessungen. Grundlage für diese Untersuchungen bilden auch Tiefenkarten, die für diese Seen mit Isobathen in 1-m-Abständen zur Verfügung stehen. Diese Daten entstammen bootsgestützten Tiefenvermessungen, die seit Beginn der 1990er-Jahre durch das

Land Mecklenburg-Vorpommern beauftragt wurden. Nur für wenige Seen liegen aktuelle Vermessungen vor, für zahlreiche Seen bietet sich nach mehr als zwei Jahrzehnten eine Neuvermessung an. Begründet im technischen Fortschritt, liefern hydroakustische Vermessungen mittlerweile eine Vielzahl an Parametern in hoher Auflösung, die über die reine bathymetrische Information hinausgehen. Dazu zählen beispielsweise morphologische Detailinformationen mit der Detektion von Objekten am Gewässergrund, Sedimentbeschaffenheit oder je nach Befahrungszeitpunkt auch die Verbreitung submerser Vegetation. Vor diesem Hintergrund wurde zum Zweck der Methodenerprobung im April 2024 ein Teil des Schweriner Au-

ßensees durch das Unternehmen Subsea Europe Services GmbH (Hamburg, Rostock) mit einem unbemannten Wasserfahrzeug (USV, uncrewed surface vehicle) hochauflösend vermessen. Die Pilotstudie wurde im Rahmen eines umweltgeschichtlichen Forschungsprojektes zum Schweriner See in Kooperation mit dem Seenprogramm des Ministeriums für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt. Ein methodischer Überblick und erste Interpretationsansätze der Beckenmorphologie werden hier vorgestellt.

Der Schweriner See ist mit 61,53 km² Seefläche der viertgrößte See Deutschlands und liegt in nur 20 km Entfernung von der Ostseeküste im Westen von Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 1). Durch den Paulsdamm, eine im Jahr 1842 fertiggestellte Straßenquerung zwischen dem Dorf Rampe im Osten und der Halbinsel Schelfwerder im Westen, ist der See morphologisch zweigeteilt. Der Schweriner Innensee (26,36 km²) stellt den südlichen Seeteil dar, wobei die Landeshauptstadt Schwerin an große Teile seines West- und Südufers grenzt. Der größere Schweriner Außensee (35,17 km²) liegt nördlich des Paulsdamms. Beide Seeteile sind nur durch einen schmalen Kanal verbunden, der den Wasseraustausch zwischen beiden Seebecken stark einschränkt. In naher Umgebung des Schweriner Sees und vor allem im Stadtgebiet Schwerins sind zahlreiche weitere, jedoch deutlich kleinere Seen gelegen, die den Begriff der Schweriner Seenlandschaft geprägt haben (südlich und westlich: unter anderem Ziegelsee, Medeweger See, Fauler See, Ostorfer See, Lankower See, Neumühler See, Rugensee; östlich und nördlich: unter anderem Pinnower See, Cambser See, Döpe, Lostener See). Die längliche Form der meisten zuvor genannten Seen und ihre Lage in morphologisch deutlich erkennbaren Rinnen legt eine eiszeitliche Entstehung der Seebecken in Zusammenhang mit nach Süden abfließenden Schmelzwässern nahe, welche sich subglazial oder im Gletschervorfeld in Rinnen einschnitten. Die nacheiszeitlichen Sedimentations- und Umlagerungsvorgänge infolge von Bioproduktivität, Karbonatfällung sowie wellen- und strömungsbedingter Erosion haben zu einer erheblichen Verfüllung der Seebecken mit Mudden geführt. Die Mudden haben als stark wassergesättigte Sedimente häufig zu einer Glättung und Vereinfachung des subaquatischen Reliefs geführt. Ihre Zusammensetzung und Lagerungsdicke sind Abbild seeinterner Prozesse. Trotz der nacheiszeitlichen, mehr als 10 000 Jahre umfassenden Sedimentakkumulation weisen die Seen lokal noch immer große Wassertiefen auf. Die Maximaltiefen des Schweriner Sees (38,10 m NHN) betragen 44,60 m im Innensee und 52,40 m im Außensee (WRRL-MV 2025).

2 Methoden

2.1 Auswahl des Untersuchungsgebietes

Im Schweriner Außensee wurde anhand der vorliegenden Tiefenkarte und anhand der Kenntnis zur Verbreitung unterschiedlicher Seesedimente (umweltgeschichtliche Seeborungen im Vorfeld) ein Untersuchungsgebiet zur Vermessung ausgewählt, welches ein größtmögliches Spektrum an Wassertiefen ($T_{\max} = 52$ m), subaquatischer Reliefgestaltung und damit auch an Seesedimenteigenschaften beinhaltet. Es umfasst steil einfallende Hänge im Bereich des Westufers, plateauartige Verebnungen in unterschiedlichen Wassertiefen, tiefe wannenartige Becken, ausgedehnte Untiefen rund um die Insel Rethberg sowie flach einfallende Hänge (Abb. 1). Das Untersuchungsgebiet ist damit nicht nur für den Schweriner See repräsentativ, sondern für eine Vielzahl der Seebecken im Seengürtel des Jungmoränengebietes zwischen Schleswig-Holstein und Brandenburg.

2.2 Vermessungsstrategie und technische Ausrüstung

Um die akustischen Bedingungen für eine Erfassung der Sedimentoberkanten zu optimieren und

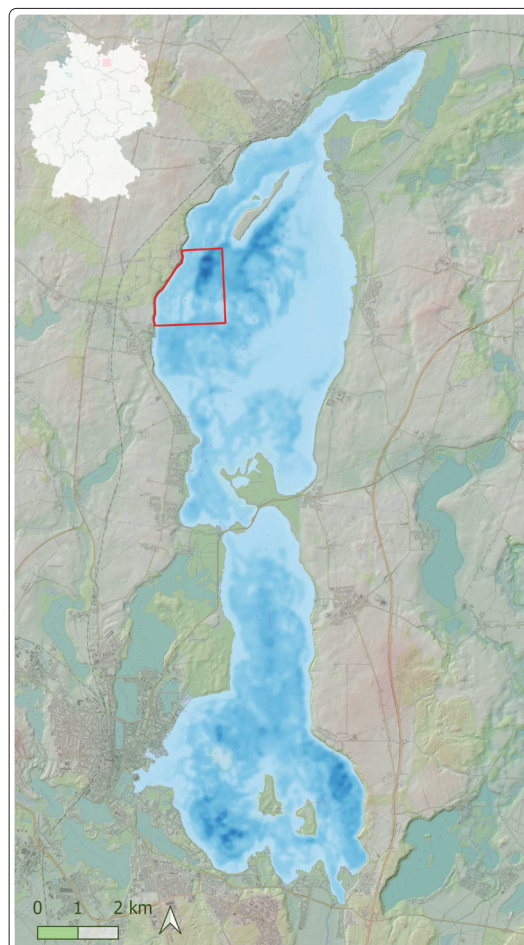


Abb. 1: Der Schweriner See mit Übersicht seiner Wassertiefen und der rot umrandeten Lage des Untersuchungsgebietes (Datengrundlage Geobasis M-V)

Foto: Subsea Europe Services



Abb. 2: X-Class USV

X-Class USV	
Länge	3,60 m
Breite	0,90 m
Höhe	0,36 m
Tiefgang	0,18 m (ohne Zuladung)
Gewicht in Vollausrüstung	210 kg
Maximale Zuladung	64 kg
Höchstgeschwindigkeit	bis zu 30 Knoten (je nach Zuladung)
Arbeitsgeschwindigkeit	2 bis 12 Knoten
Transitgeschwindigkeit	bis zu 12 Knoten (je nach Zuladung)
Antrieb	2-Propeller-Elektroantrieb
Seetauglichkeitsklasse	SS4 (1,25 bis 2,5 m)
Standfähigkeitsklasse	SS5 (2,5 bis 4,0 m)
Arbeitsbereich	SS2 (0,1 bis 0,5 m)

Tabelle 1: Technische Kenndaten zum X-Class USV in der Ausstattung von Subsea Europe Services

Störungen durch Submersvegetation zu vermeiden, wurde die Vermessung im März 2024 durchgeführt. Zugleich wurde für diesen Zeitraum ein ausgeglichener vertikaler Temperaturverlauf im Epi- und Hypolimnion (undeutliche Thermokline) erwartet, was die Validierung der Schalllaufzeit vereinfacht. Um die Gerätesicherheit während der Mission zu gewährleisten, wurden die USV-

Vermessungsmissionen nur bei Tageslicht durchgeführt. Die Erhebungen erfolgten bei geringen Windgeschwindigkeiten und Wellenhöhen unter 0,5 m, um eine hohe Datenqualität zu gewährleisten und die Stabilität des USV sicherzustellen.

Die Sonarsysteme wurden in Verbindung mit einem 3,6 m langen unbemannt arbeitenden Wasserfahrzeug mit Elektroantrieb vom Typ X-Class USV eingesetzt (Abb. 2, Kenndaten siehe Tabelle 1). Dieses wurde, ausgerichtet auf die Vermessung im Schweriner Außensee, durch Subsea Europe Services mit dem Integrated Hydroacoustic Survey System (iHSS) nach IHO-S-44-Standard ausgerüstet. Dazu gehören zwei Fächerecholote (multibeam echo sounders), die in Abhängigkeit zweier Wassertiefenbereiche eingesetzt wurden. Im Flachwasser (1 bis 12 m Wassertiefe) fand der GeoSwath 4R 500 kHz Verwendung (Abb. 3, Tabelle 2). Dabei handelt es sich um ein interferometrisches Sonar, welches zeitgleich fächerartig die Wassertiefen bestimmt und eine Seitensichtsonar-Kartierung in einem 240°-Sichtfeld durchführt. Der breite Arbeitswinkel mit großer Flächenabdeckung prädestiniert es für litorale Gewässerabschnitte. Im Tiefenwasser (12 bis 52 m Wassertiefe) wurde das R2Sonic 2026 V+ eingesetzt (Abb. 3, Tabelle 2). Hierbei handelt es sich um ein hochauflösendes Fächerecholot mit Wank- und Neigungskorrektur, für welches in Echtzeit die Fächerbreite anpassbar ist, sodass die detaillierte Erfassung auch tiefer Beckenbereiche gewährleistet ist.

Fotos: Links: Geo Acoustic Ltd (2024), rechts: R2Sonic (2025)



Abb. 3: Der Schallgeber des GeoSwath4 500 kHz in der Aufsicht (links). Der Schallgeber des R2Sonic 2026 V+ von der Unterseite aus betrachtet (rechts)

	Interferometrisches Sonar GeoSwath 4R 500 kHz	Fächerecholot R2Sonic 2026 V+
Betriebsfrequenz/ wählbarer Frequenzbereich	500 kHz	170 bis 450 kHz
Maximale Fächerbreite/ wählbarer Fächerwinkel	190 m	10° bis 160°
Maximale Abdeckung	bis zum 12-Fachen der Wassertiefe	abhängig von Wassertiefe und Fächerwinkel

Tabelle 2: Technische Spezifikationen des im Flachwasser verwendeten interferometrischen Sonars GeoSwath 4R 500 kHz und des im tiefen Wasser verwendeten Fächerecholots R2Sonic 2026 V+

2.3 Durchführung der Vermessung

Der zu vermessende Bereich wurde an der 12-m-Isobathe in flache uferwärtige (0,82 km²) und tiefe seewärtige Zonen (1,54 km²) unterteilt. Dabei wurden die Fahrspuren des USV so geplant, dass

eine vollständige Überlappung der Daten und eine zweihundertprozentige Abdeckung gewährleistet ist. Die Spurbstände wurden aufgrund des Einflusses von Wellen und Strömungen täglich neu geplant und die Navigation des USV zwecks Echtzeitanpassungen vom Ufer aus fernüberwacht. Während der Vermessung wurden Daten zur Bathymetrie und zur Rückstreuung erfasst. Die bathymetrischen Informationen wurden im Koordinatensystem ETRS89/UTM 32N für die horizontale Referenzierung sowie im Höhennetz DHHN2016 für die vertikale Referenzierung erfasst. Die Rückstreuung diente über ihre akustischen Intensitäten der Sedimentklassifizierung. Im Nachgang erfolgten dazu Nachbearbeitungen zur Standardisierung der relativen Intensitätswerte. Zusätzlich wurden während der Feldarbeiten täglich vor Beginn und am Ende der Vermessung Schallgeschwindigkeitsprofile (SVP) gemessen, um die Strahlformung der Sonare zu optimieren und die Refraktion zu korrigieren (insgesamt 21). Zusätzliche Profile wurden immer dann erstellt, wenn die Echolotstrahlen an den Rändern gekrümmt erschienen, was auf eine Änderung des Wassergeschwindigkeitsprofils hinweist.

2.4 Nachbearbeitung

Die Nachbearbeitung der Messdaten umfasste drei Arbeitsschritte. Die Daten (ca. 1,5 Mrd. XYZ-Datenpunkte) wurden zuerst mit der Software Beamworx Autoclean auf die mittlere Wassertiefe des Schweriner Außensees von 37,8 m angepasst, bevor die Rauschunterdrückung mittels Filtern angewendet wurde. Nach der Datenbereinigung wurden in einem zweiten Schritt erst digitale Höhenmodelle mit einer Auflösung von 0,25 bis 0,50 m zur Darstellung der Bathymetrie generiert und dann Karten der Rückstreuintensitäten erstellt. Zur Erkennung von Objekten in den bathymetrischen Daten wurden in QGIS Hangneigungskarten sowie Reliefschattierungen zur manuellen Kontrolle erzeugt (Kokalj und Somrak 2019). Die sichtbaren Objekte wurden manuell erfasst und teilweise auf einer Hangneigungskarte auf Basis von faltungsneuronalen Netzwerken (convolutional neural networks, CNN) erkannt (Hinz et al. 2024). Verwendet wurde der YOLOv4-Algorithmus, welcher Bilder in einem einzigen Durchgang verarbeitet und dabei ein CNN zur effizienten Identifizierung und Klassifizierung von Objekten nutzt. Das gewählte Modell wurde an Steinen in einem Hangneigungsraster mit einer Auflösung von 0,25 m aus der Kadetrinne (Ostsee) trainiert (Hinz et al. 2024).

3 Ergebnisse und erste Interpretation

Das neu gewonnene digitale Geländemodell für den untersuchten Teil im Westen des Schweriner Außensees deckt 2,36 km² ab und wurde in einer Auflösung von mindestens 0,50 m und in großen

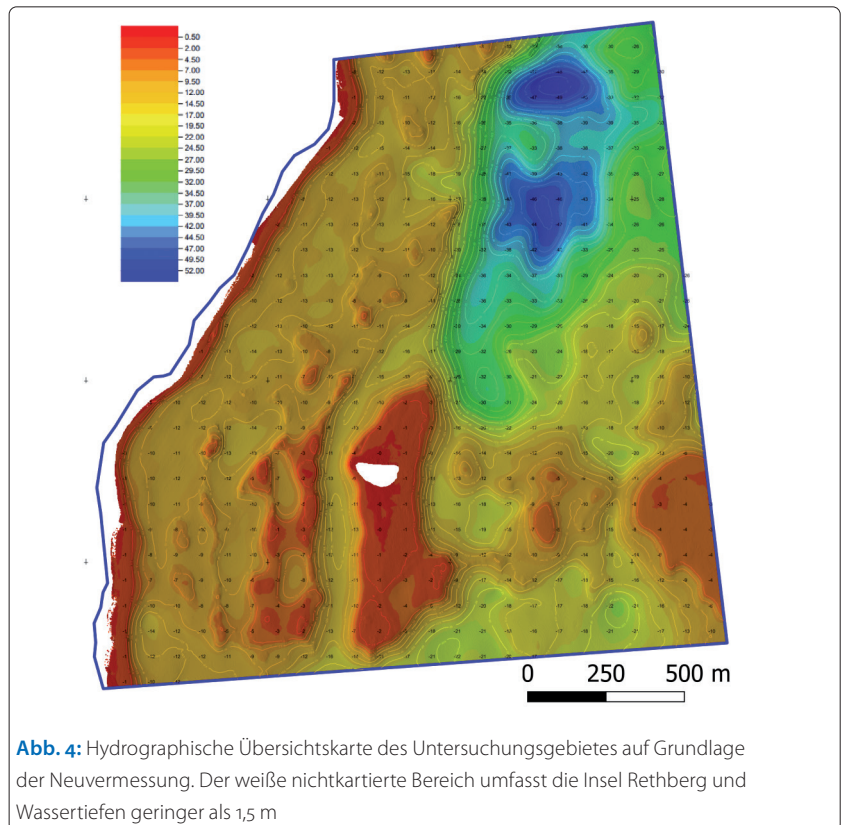
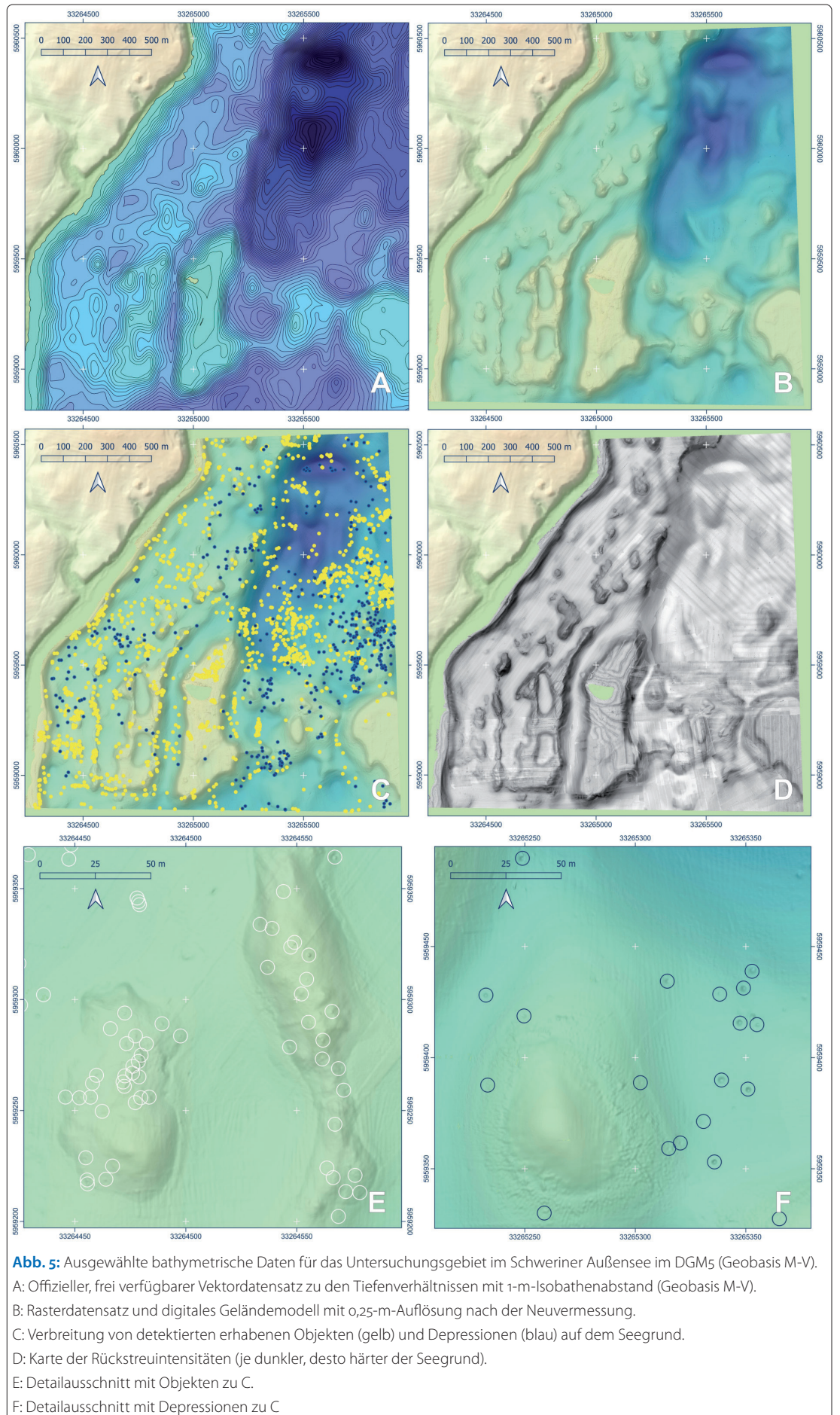


Abb. 4: Hydrographische Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes auf Grundlage der Neuvermessung. Der weiße nichtkartierte Bereich umfasst die Insel Rethberg und Wassertiefen geringer als 1,5 m

Teilen sogar 0,25 m für erste Interpretationen berechnet (Abb. 4). Im Gegensatz zu den bislang vorhandenen, auf Vektordaten beruhenden Tiefenkarte mit einem Isobathenabstand von 1 m (Abb. 5A, Seenprogramm des Umweltministeriums M-V) liegen nun hochauflösende Rasterdaten vor. Diese erlauben die morphologische Interpretation des Seebeckens in einer Genauigkeit, wie sie bislang nur für terrestrische Geländemodelle möglich ist (Abb. 5B).

Das Seebecken des Schweriner Sees ist kräftig reliefiert und durch Untiefen und Inseln gegliedert (Abb. 1, Abb. 5B). Im Schweriner Außensee wird der Ostteil des Sees durch ausgedehnte Flachwasserzonen mit Wassertiefen unter 10 m geprägt. Der Westteil des Außensees – und damit auch das Untersuchungsgebiet – wird hingegen von NO bis SW streichenden Rinnen durchzogen, die für abrupt abnehmende Wassertiefen aufgrund steiler Hänge, aber auch subaquatische Verebnungen und vor allem das wannenartige Beckentiefste sorgen (Abb. 5B). Unterbrochen werden die rinnenartigen Strukturen von Höhenrücken. Diese treten als Einzelkuppen aufgelöst oder als plateauartige Verebnungen auf (Abb. 5B). Die Einzelkuppen oder Rücken (Abb. 5E) ragen mit steilen Flanken als stärker strukturierte Oberflächen aus einem morphologisch deutlich abgrenzbaren, gleichförmigen Seegrund. Wahrscheinlich sind unterschiedliche Muddemächtigkeiten dafür ursächlich – geringe Seesedimentmächtigkeiten bestehen auf den Kuppen, wodurch sich möglicherweise die Be-



ckenbasis durchpaust. Dem entgegen herrschen in den schwach strukturierten Beckenabschnitten wahrscheinlich hohe Muddemächtigkeiten, die aufgrund ihrer starken Wassersättigung für ein eher weiches bzw. gleichförmiges Erscheinungsbild sorgen. Die [Abb. 5D](#) bestätigt für die nicht verebneten Kuppen eine stärkere (dunklere) und die Senken eine schwächere (hellere) Rückstreuintensität und damit unterschiedliche Sedimenthärten. Den subaquatischen Verebnungen sind unter anderem Terrassenleisten, wallartige Säume und erhabene Objekte als morphologische Details gemein. Sie können auf niedrigere Wasserstände und damit ehemalige Uferkanten hinweisen. Auch die Verebnungen, vor allem zwischen 2 und 4 m unter dem heutigen Seespiegel, fallen mit steilen Flanken zu tieferen Beckenbereichen ab, wobei sie allgemein schwächere Rückstreuintensitäten (helle Färbung) aufweisen. Die auffallend scharfen Abgrenzungen der beckeninternen Senken deuten auf den Einfluss begrabenem Toteises bei der Beckenentstehung hin, welches mit Verzögerung im Spätglazial austaute und überlagernde Sedimente als Hohlformen einsinken ließ. Sehr markant fällt die um mehr als 10 m tief eingeschnittene Rinnenstruktur im Zentrum der unteren Bildhälfte von [Abb. 5B](#) auf, die vom Teilbecken des Beckentiefsten in Richtung Süden vermittelt.

Die hohe Auflösung des Rasterdatensatzes ermöglicht Aussagen zum Mikrorelief, das heißt zu Objekten und Strukturen im Submeterbereich, die sich als erhabene positive oder eingesenkte negative Formen klassifizieren lassen. Über den YOLOv4-Algorithmus wurden Hunderte dieser Formen identifiziert ([Abb. 5C](#)). Die erhabenen Objekte ([Abb. 5C](#), gelbe Punkte) zeigen eine regelhafte, zum Teil gereihete Anordnung und lassen sich in Vergesellschaftung mit den subaquatischen Rücken und Kuppen als mögliche Geschiebe und Blockpackungen deuten. Geschiebe (Dezimeter- bis Meterdimension) sind typischer Bestandteil der glazialen Sedimente und lassen sich sowohl den moränenen Ablagerungen (Grundmoräne) wie auch den Schmelzwassersedimenten zuordnen. Ihr massenhaftes Auftreten ist in der berühmten Kulturlandschaft des Jungmoränengebietes nicht mehr zu beobachten, hier unter Wasser aber möglicherweise noch erhalten. Im Sohlen- und Flankenbereich der tiefen Becken ist von großen Seesedimentmächtigkeiten bei zugleich hohen Sedimentationsraten auszugehen, sodass nicht alle Positivformen mit einer Bestreuung durch Geschiebe erklärbar sind ([Abb. 5E](#)). Mögliche andere Deutungen sind z. B. sedimentäre Aufhöhungen im Bereich von Grundwasser- oder auch Gasaustritten. Eine eindeutige Zuordnung der Positivformen muss im Weiteren durch Bildaufnahmen bestätigt werden. Die Negativformen (Depressionen, [Abb. 5C](#), blaue Punkte) treten ebenfalls zahl-

reich auf und weisen Dimension von wenigen Dezimetern bis zu 3 m auf. Sie erinnern stark an Depressionen, die im marinen Formenschatz der Tiefsee als pockmarks bezeichnet und vor allem mit dem Austreten von Gasen und Gashydraten im Bereich der Kontinentalabhänge in Verbindung gebracht werden ([Abb. 5F](#)) (Hovland et al. 2002). Die hohen Organikgehalte der Seesedimente im Beckentiefsten (Adolph et al. 2024, S. 2150) lassen auch im Schweriner See Gasaustritte als ursächlich dafür erscheinen. Begleitend zu den Bohrkernentnahmen im Beckentiefsten im September 2019 wurden kräftige Gasaustritte beobachtet. Für die ufernahen Beckenbereiche mit Wassertiefen bis 10 m sind kleinere Depressionsbildungen z. B. auch durch ankernde Angelboote denkbar.

Der morphologische Detailreichtum des Gewässergrundes eines Sees im Jungmoränengebiet Nordostdeutschlands ist in dieser Qualität bislang unbekannt. Mit der Deutung und Validierung der nun erkennbaren Strukturen eröffnen sich neue Untersuchungsmöglichkeiten, beispielsweise über das Monitoring von bislang nicht lokalisierbaren Gas- und Grundwasseraustritten, das Erkennen alter ertrunkener Uferlinien oder das Ableiten von Unterwasserhabitaten im Bereich von starker Geschiebebestreuung.

4 Methodische Schlussfolgerungen und Potenziale

Der Einsatz eines USV erwies sich am Schweriner Außensee als äußerst effektiv und wird aus mehreren Gründen auch für andere, kleinere Seen als ideales Vermessungsfahrzeug erachtet. Der Wechsel von sehr flachen zu deutlich tieferen Bereichen erforderte den Einsatz von zwei Messsystemen. Beide Systeme waren notwendig, da die erhobenen Daten für die zwei Tiefenabschnitte (0 bis 12 m und 12 bis 51 m) in der Qualität variierten. Während das Fächerecholot R2Sonic 2026 V+ den Seeboden sowohl in flachen als auch in tiefen Bereichen abbilden konnte, verringerte sich seine Reichweite in sehr flachen Bereichen mit Wassertiefen von kleiner 5 m erheblich. Dadurch hätten die Fahrspuren enger gesetzt werden müssen, um die gewünschte Abdeckung zu erreichen, verbunden mit einer deutlich längeren Messzeit. Aus diesem Grund wurde entschieden, das interferometrische Sonar GeoSwath 4R 500 kHz, welches auch in sehr geringen Wassertiefen eine größere Reichweite und eine geringere Installationshöhe als das R2Sonic aufweist, einzusetzen (Vermeidung von Grundkontakt im zum Teil steinbestreuten Flachwasser).

Das Fächerecholot GeoSwath 4R 500 kHz erwies sich in den Bereichen mit sehr geringer bis geringer Tiefe (0 bis 15 m) dank seiner großen Flächenabdeckung als sehr sinnvoll. Mit ihm kann eine Fächerbreite bis zum 12-Fachen der Wassertiefe abgedeckt werden, sodass es sich für die litora-

len Bereiche mit weniger als 12 m Wassertiefe als effizient herausstellte. Ein pauschaler Spurlinienabstand kann für das Fächerecholot GeoSwath 4R 500 kHz im Flachwasser nicht benannt werden. Er richtet sich nach der Einstellung des Winkels und der gewünschten Auflösung. Selbiges Sonar war beim Einsatz in Gewässertiefen über 20 m stark verrauscht.

Das Fächerecholot R2Sonic 2026 V+ hat zwar eine geringere Flächenabdeckung, jedoch eine höhere Punktdichte und -genauigkeit in tieferen Gewässern. Es konnte optimal in den Wassertiefen ab 12 m eingesetzt werden. Der Spurlinienabstand variierte in dieser Studie mit einer angestrebten Mindestauflösung von 0,50 m zwischen 10 und 30 m in Abhängigkeit von der Wassertiefe.

Die gesamte Fläche von 2,36 km² konnte in wenigen Tagen vermessen werden. Die Kombination aus beiden hier beschriebenen Geräten ermöglicht eine Erfassungsgenauigkeit der Bathymetrie in der Fläche von 0,50 m (in den meisten Tiefen sogar bis 0,25 m). Dadurch werden Strukturen in bislang unbekannter Detailliertheit dargestellt und Objekte ab einer Größe von ca. 0,50 m sicher erfasst. Ein höherer Messabstand in den sehr flachen Bereichen hätte zu Informationsverlusten geführt, da Lücken entstanden und somit Daten in einer geringeren Auflösung produziert worden wären.

Die Pilotstudie verdeutlicht, dass USVs die Möglichkeit bieten, die hydrographische Vermessung in Seen und Binnengewässern zu revolutionieren. Die hochauflösenden bathymetrischen Rasterdatensätze und Rückstreudaten liefern präzise Einblicke in die Seebeckenmorphologie, die Sedimentbeschaffenheit und das Mikrorelief des Schweriner

Außensees. Letzteres erlaubt das (automatisierte) Identifizieren von Objekten (Geschiebe, Baumstämme, Wracks etc.) bei sehr hoher Lagegenauigkeit.

Die kompakte Bauweise und der geringe Tiefgang ermöglichen das Wassern des Fahrzeugs an jedem kleineren Seezugang. Die geringe Fahrzeuggröße, seine Lagestabilität sowie der elektrische und sehr leise Antrieb ermöglichen den Einsatz auch in kleinen flachen Gewässern und auch in naturschutzfachlich sensiblen Bereichen. Die Störwirkung auf Wasservögel wurde als geringfügig beobachtet. Im Vergleich zum Einsatz von Booten benötigt das USV weniger Infrastruktur, da kleine Badestellen für das An- und Ablegen genutzt werden können. So können schwer zugängliche Gewässer (kleine Seen, Wasserstraßen) leichter vermessen werden. Durch die Integration verschiedener Sensoren kann das USV schnell an lokale Anforderungen angepasst, zugleich kann durch die Echtzeitdatenübertragung umgehend auf die bis dahin unbekannt Gegebenheiten reagiert werden, so wie es in dieser Pilotstudie gezeigt werden konnte. Die Datenerfassung geht weit über die reine Tiefeninformation zu einem Gewässer hinaus und bietet Interpretations- und Nutzungsmöglichkeiten durch Fachleute (Limnologen, Geologen, Biologen, Ökologen und Archäologen), Fachverwaltungen (Gewässeraufsicht) sowie Gewässernutzern (Schifffahrt, Fischerei). Zukünftige Erhebungen könnten von der Integration zusätzlicher Sensoren, wie z. B. eines parametrischen Sedimentecholots (sub-bottom profiler), profitieren, um bei engmaschigen Befahrungen die Vollständigkeit der Daten zu optimieren. //

Literatur

- Adolph, Marie-Luise; Sambor Czerwiński; Mirko Dreßler; Paul Strobel; Marcel Bliedtner; Sebastian Lorenz; Maxime Debret; Torsten Haberzettl (2024): North Atlantic Oscillation polarity during the past 3000 years derived from sediments of a large lowland lake, Schweriner See, in NE Germany. *Climate of the Past*, DOI: 10.5194/cp-20-2143-2024
- Geo Acoustic Ltd (2024): GeoSwath USV Module user guide. Geo Acoustic Ltd, United Kingdom
- Hinz, Matthias; Patrick Westfeld; Peter Feldens; Agata Feldens; Sören Themann; Svenja Papenmeier (2024): AI-based boulder detection in sonar data – Bridging the gap from experimentation to application. *International Hydrographic Review*, DOI: 10.58440/ihr-30-1-a08
- Hovland, Martin; James V. Gardner; Alan G. Judd (2002): The significance of pockmarks to understanding fluid flow processes and geohazards. *Geofluids*, DOI: 10.1046/j.1468-8123.2002.00028.x
- Kokalj, Žiga; Maja Somrak (2019): Why Not a Single Image? Combining Visualizations to Facilitate Fieldwork and On-Screen Mapping. *Remote Sensing*, DOI: 10.3390/rs11070747
- LALLF (2025): Gewässer – Das Land Mecklenburg-Vorpommern gilt als das gewässerreichste Bundesland. www.lallf.de/fischerei/statistik/gewaesser
- R2Sonic (2025): Sonic™ 2026-V. <https://r2sonic.com/products/sonic-2026>
- WRRRL-MV (2025): Wasserrahmenrichtlinie in Mecklenburg-Vorpommern. www.wrrl-mv.de/service/WRRRL-in-Zahlen