

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Fachzeitschrift für Hydrographie und Geoinformation

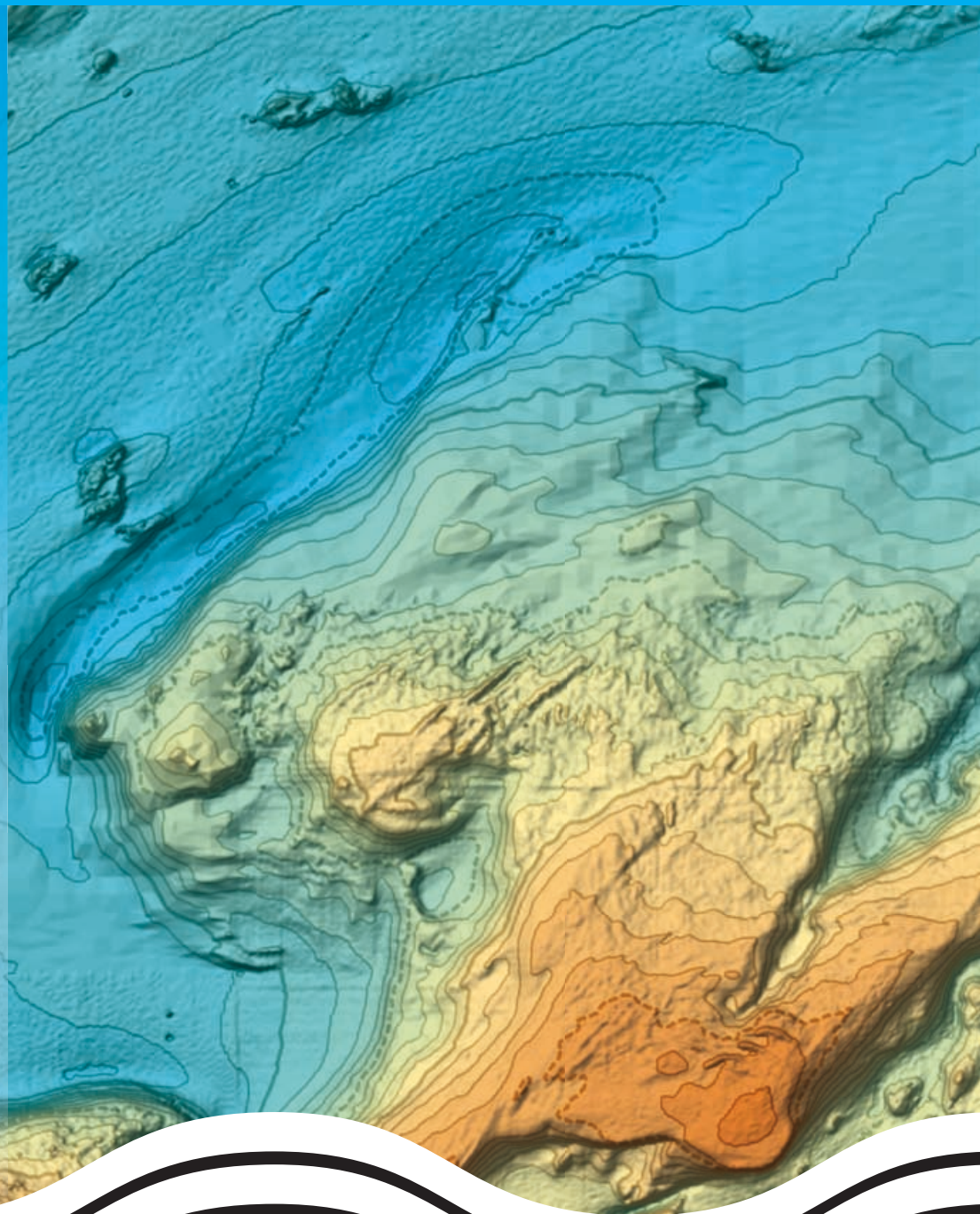
Neue Reliefkarten der
deutschen Ostsee

Die Verbindung moderner
und klassischer Gewässer-
vermessung – Airborne
Hydromapping und
Echolotvermessung

Blau ist die Hoffnung –
Potenziale maritimer
Geodateninfrastrukturen

»Vermessungsingenieure
streiten sich nicht« –
Ein Wissenschaftsgespräch
mit Gunther Braun

OpenSeaMap -
Wassertiefen per
Crowdsourcing





Cartoon: OpenSeaMap

Macht Probleme:
Immer noch kein einheitliches
Seekartennull!

OpenSeaMap – Wassertiefen per Crowdsourcing

Ein Beitrag von *Wolfgang Bosch* und *Markus Bärlocher**

Seekarten brauchen Flachwassertiefen – auch OpenSeaMap – die freie Seekarte. Die Wassertiefen sind zwar weltweit erfasst, aber in den meisten Ländern noch nicht als Open-Data verfügbar. Deshalb sollen die Küsten per Crowdsourcing vermessen werden. Mit GPS und Echolot an Bord kann jeder mitmachen und Tiefendaten sammeln. Crowdsourcing von Flachwassertiefen kann auch helfen, amtliche Vermessungen zu ergänzen. In vielen Ländern sind die Daten veraltet und ungenau. Kürzungen von Ressourcen führen auch in europäischen Ländern zunehmend zu Problemen.

OpenSeaMap | Seekarte | Crowdsourcing | Open-Data | Tidenmodell | LAT

Flachwasserdaten

Von GEBCO wurden Tiefenwasserdaten an OpenSeaMap gespendet, die den Bereich von 200 bis 10 000 m abdecken. OpenSeaMap hat daraus ein Geländemodell gerechnet. Täler, Rücken und Festlandssockel mit ihren Abbrüchen und unterschiedlichen Steigungen werden anschaulich in 24 Blaustufen dargestellt. Die Meerestopologie ist dadurch detailliert zu erkennen, was beispielsweise im Geographie-Unterricht genutzt werden kann. In höheren Zoomstufen werden zusätzlich Tiefenlinien ab 200 m angezeigt, die 100-m-Linie ist extrapoliert. Für den Segler und Wassersportler sind jedoch die Wassertiefen unter 50 m entscheidend. Und diese sind in den GEBCO-Daten nicht enthalten. Flachwassertiefen werden zwar von den Staaten weltweit erfasst, stehen aber leider meistens nicht frei zur Verfügung.

Open-Data

Open-Data will volkswirtschaftlich vorteilhafte Entwicklungen einleiten, indem Daten für jedermann frei zugänglich gemacht werden. Freie Daten können unbürokratisch synergetisch verknüpft werden, und damit können innovative Produkte und Dienste geschaffen werden.

In den USA ist Open-Data selbstverständlich: was der Bürger bezahlt hat, gehört dem Bürger. Das betrifft auch alle Geodaten, beispielsweise die Daten der NOAA. Diese sind weltweit frei verfügbar. Die Open-Data-Kultur setzt sich auch in anderen Ländern zunehmend durch. So hat beispielsweise das BSH beschlossen, die Wassertiefen inklusive Flachwassertiefen der Nord- und Ostsee in einem 50-m-Raster freizugeben. Auch Neuseeland und die Niederlande haben ihre Tiefendaten freigegeben. Und im Rahmen von INSPIRE werden viele europäische Länder diesem Vorbild folgen.

Knappe Ressourcen der HOs

»We know more about Mars and Moon than the ocean's floor« (Alberto Neves, IHB).

Die Hydrographischen Dienste (HO) der einzelnen Staaten erfassen die Wassertiefen und stellen sich die bathymetrischen Daten gegenseitig zur Verfügung, um Seekarten zu erzeugen. Erfasst werden die Daten in regelmäßigen Abständen durch

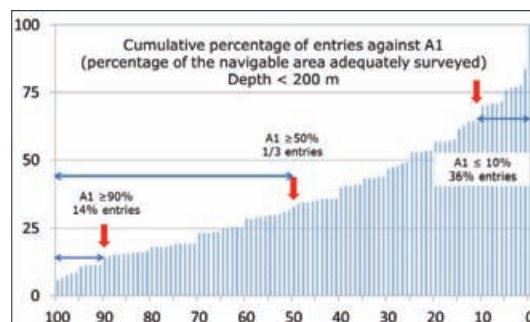
Messschiffe mit hochpräziser Sonar-Messtechnik. Aber nicht alle Länder verfügen über die erforderlichen technischen und finanziellen Ressourcen.

Die Dokumentation C-55 der IHO zeigt die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der einzelnen Staaten (siehe Abb. 1). Beispielsweise geben nur 12 Staaten an, ihre Küsten vollständig und aktuell erfasst zu haben. Das BSH meldet für Deutschland 98 % als erfasst. Bei 85 Staaten fehlen noch 30 % ihrer Küstengewässer. 53 Staaten haben gerade mal 50 % erfasst. Und bei 45 Staaten fehlen ganze 90 %. Bei einigen Ländern sind die Daten schon über 40 Jahre alt, erfasst mit den damals vorhandenen ungenauen Technologien. Und es gibt Küsten, die überhaupt noch nicht erfasst sind, beispielsweise Syrien, Eritrea, Malediven und viele Inseln und Kleinstaaten wie Bouvet Island oder Nauru. Hier kann Crowdsourcing helfen.

Doch auch die HOs industrialisierter Staaten sind zunehmend von Ressourcenkürzungen betroffen. Es mangelt an Geld, Personal, Ausrüstung und Zeit. Dadurch kann die zeitnahe Aktualisierung der Wassertiefen auch bei uns kritisch werden.

Crowdsourcing für Flachwassertiefen

Crowdsourcing von Flachwassertiefen kann amtliche Vermessungen entscheidend ergänzen. Denn Crowdsourcing nutzt das Potenzial von Millionen freiwilligen Datensammlern, die weltweit unterwegs sind. Ziel ist, den Minimum-Standard »Order 1« des IHO-Standards S-44 zu erfüllen. Das bedeutet eine horizontale Genauigkeit von 5 m und eine vertikale Genauigkeit von 0,5 m. Wegen der beschränkten Möglichkeiten der verwendeten Consumer-Geräte, müssen Massendaten mit statistischen Methoden verbessert werden.



Dieser Artikel beschreibt die Erfassung von Wassertiefen per Crowdsourcing, die Beschickung der Rohdaten und die anschließende Berechnung des Geländemodells. Die berechneten Tiefendaten stehen dann allen frei und kostenlos zur Verfügung.

Autoren

Dr. Wolfgang Bosch arbeitet beim Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut (DGFI) in München. Er ist Spezialist für Gezeitenmodelle und arbeitet an der Korrektur der Rohdaten

Markus Bärlocher, Hochseesegler und Segellehrer, ist Initiator von OpenSeaMap

Kontakt unter:

bosch@dgfi.badw.de
Project@OpenSeaMap.org

* Mitarbeit von Jens Kübler und Martin Over

Abb. 1: Erfassungsgrad der Wassertiefen (Quelle: IHB)



Jeder kann mitmachen

Sind sie Sportbootfahrer oder arbeiten Sie in der Berufsschiffahrt? Fahren Sie Motorboot oder segeln Sie? Veranstalten Sie Regatten oder sind Sie Betreiber einer Charterflotte? Sind Sie Angler, Taucher oder Seekajakfahrer? Sind Sie Reeder oder bauen Sie Offshore-Windparks? Dann machen Sie mit! Auch als Fischer oder Kapitän auf einem Ausflugsschiff, mit Taxiboot, Schlepper oder Hafenfahrzeug können Sie beitragen. Auch Polizei, DGzRS, DLRG, Wasserwacht und andere Behörden und Rettungsorganisationen laden wir ein – messen Sie Wassertiefen! Und auch Universitäten sind herzlich eingeladen, mitzuwirken!

Daten hochladen

<http://depth.openseamap.org>

Abb. 2: Rohdaten werden von einem Logger gesammelt, und zusammen mit Metadaten auf den OpenSeaMap-Server geladen

Die Ergebnisse werden dabei umso genauer und zuverlässiger, je mehr die HOs die Datensammler unterstützen. Bei der Erfassung und vor allem bei der Auswertung der Daten können die erfahrenen Profis mit ihrem Expertenwissen helfen. Viel Unterstützung bekommt OpenSeaMap bereits vom BSH, und auch der Kontakt zu den Schwesterprojekten Argos und TeamSurv ist gut.

Die gemeinsam gewonnenen Ergebnisse können zu allseitigem Nutzen zusammengefügt werden. Ziel könnte sein, mit Crowdcourcing den weltweiten Erfassungsgrad der Wassertiefen wesentlich zu verbessern. Schwächere Länder, die sich keine eigene bathymetrische Vermessung leisten können, könnten davon ganz besonders profitieren.

Die Ausrüstung

Jedes Schiff hat ein GPS-Gerät und ein Echolot an Bord und erfüllt damit die Voraussetzung, um mitmachen zu können. Die Positions- und Tiefendaten werden im NMEA-Format übertragen und müssen nur noch gespeichert werden. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten (siehe Abb. 2):

- Kartenplotter,
- Software-Logger,
- Hardware-Logger,
- WLAN-Logger.

Kartenplotter von Raymarine und von Humminbird können die Position und die Wassertiefe von Haus aus auf eine SD-Karte schreiben. Mit diesen Geräten kann jeder sofort Daten erfassen.

Der kostenlose *Software-Logger* arbeitet wie ein Seekartenplotter. In einem Splitscreen werden links die Navigationsdaten angezeigt (Kurs und Geschwindigkeit, Windrichtung und -stärke, Wassertiefe, Position und Uhrzeit, GPS-Status). Rechts wird in einem großen Fenster die Seekarte mit eingblendeter Schiffsposition gezeigt, darunter sind in einem kleinen Fenster die NMEA-Datensätze sichtbar. Die gemessenen Daten werden kontinuierlich gespeichert. Angeschlossen wird das Notebook für NMEA-0183 bzw. Seataalk-1 über ei-

nen RS-232-zu-USB-Wandler, für NMEA-2000 bzw. Seataalk-NG über einen Seataalk-NMEA-Konverter.

Alternativ ist ein *Hardware-Logger* in Bau, der ab August zum Selbstkostenpreis von ca. 40 € erhältlich ist. Zwei Eingänge für NMEA-0183 bzw. Seataalk-1 empfangen die Daten Optokopplergetreibt von GPS und Echolot. Zur Erfassung von Rollen und Stampfen ist zusätzlich ein Lage- und Beschleunigungssensor eingebaut. Ein interner Taktgeber synchronisiert die Datenpakete der verschiedenen Sensoren mit der Atomzeit des GPS. Die Daten werden automatisch auf eine SD-Karte gespeichert.

Ein *WLAN-Logger* wurde als Selbstbau-Lösung auf dem Hydrographentag in Papenburg vorgestellt. Er erfüllt zwei Funktionen:

1. Navigationsdaten werden per WLAN übertragen und sind überall auf dem Schiff per Smartphone oder Tablet zu empfangen.

2. NMEA-Daten werden auf einem USB-Stick gespeichert.

Beide Aufgaben leistet ein TP-LINK, der für 35 € über eBay erhältlich ist. Der Trick: dem TP-LINK wird eine speziell angepasste Firmware per USB-Stick zur Verfügung gestellt. (Die Anleitung dazu gibts im Wiki von OpenSeaMap.)

Damit auch Reviere mit dem Schlauchboot vermessen werden können, wird ein Vermessungsrucksack zusammengestellt, der GPS, Echolot, Logger, Stromversorgung und Befestigungsmaterial enthält. Als mobile Messeinheit soll er an Segelvereine, Tauchsportgruppen, Marinabetreiber etc. ausgeliehen werden.

Metadaten

Zur Korrektur und Verbesserung der rohen Messwerte von GPS und Echolot werden zu jeder Messung umfangreiche Metadaten mit etwa 50 Parametern manuell erfasst. Gespeichert werden Daten über

- das Schiff als Messplattform,
- eingesetzte Messgeräte,
- verwendete Sensoren,
- die relative Position der Sensoren.

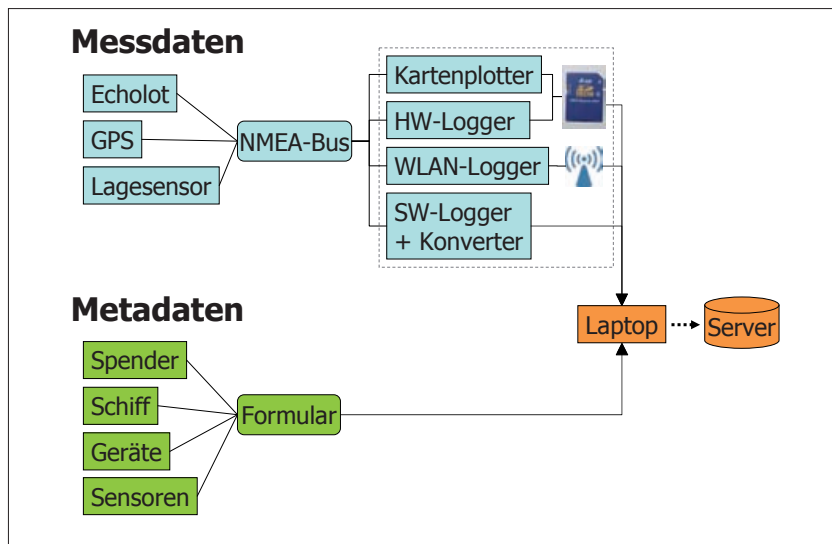
Auch Messparameter wie z. B. der Öffnungswinkel, die Sendefrequenz und die Abtastmethode der Echolote werden erfasst.

Daten hochladen

Die gesammelten Rohdaten werden vom Datensammler als Datei zusammen mit den Metadaten über die Messeinrichtung über eine Internetverbindung auf den Server von OpenSeaMap hochgeladen. Derzeit können folgende Formate verarbeitet werden: NMEA-0183, NMEA-2000, Seataalk-1, Seataalk-NT, FSH (Raymarine), FSH (Humminbird), CSV (Lowrence). Um das Hochladen zu beschleunigen, werden die Daten komprimiert.

Wassertiefen berechnen

Um nun aus den Rohdaten Wassertiefen zu berechnen, müssen sie mit Tide und Welle beschickt wer-



den. Weitere Einflussgrößen sind die Wasserschallgeschwindigkeit, Eigenbewegungen des Schiffes durch Krängung, Rollen und Stampfen sowie die Lage der Sensoren zueinander und zur Wasserlinie.

Tidenkorrektur

Im Idealfall erfolgen die Echolotmessungen in der unmittelbaren Nachbarschaft von Pegeln. Um dominante Gezeitenkonstanten zu berechnen, sollte der Pegel ausreichend kontrolliert sein und mindestens ein Jahr lang registriert haben. Mit Hilfe der Gezeitenkonstanten lässt sich dann der aktuelle Tidenhub unter günstigen Umständen recht gut berechnen.

Die Realität sieht leider anders aus. Pegel sind nicht in ausreichender Dichte verfügbar. Sie sind meistens in Häfen oder Flussmündungen installiert und ihre Registrierungen sind nicht zwangsläufig repräsentativ für den offenen Ozean. Kontrollierte Messreihen von ausreichender Länge stehen auch nicht immer zu Verfügung oder sind der Öffentlichkeit nicht zugänglich.

Stehen Gezeitenkonstanten von benachbarten Pegeln nicht zur Verfügung, muss auf Gezeitenmodelle zurückgegriffen werden. Gezeitenmodelle stellen die Gezeitenkonstanten für die wichtigsten Partialtiden in einem bestimmten Gebiet zur Verfügung, in der Regel auf einem regelmäßigen Raster. Die Gezeitenkonstanten werden meistens durch hydrodynamische Modellierung gewonnen (die im Übrigen von zuverlässigen Flachwassertiefen abhängen – ein Münchhausen-Problem!?). Solche Modellierungen werden auf unterschiedlichen Raumskalen durchgeführt, von regional bis global. Regionale Modelle passen sich der Küstenstruktur besser an als globale Modelle und versprechen daher eine genauere Berechnung des Tidenhubs. Jedoch sind regionale Gezeitenmodelle selten öffentlich zugänglich. Hier eröffnet sich ein weiteres Feld für Crowdsourcing, die Sammlung und Aufbereitung regionaler Gezeitenmodelle. Dort, wo keine regionalen Gezeitenmodelle zur Verfügung stehen, ermöglichen globale Gezeitenmodelle weltweit die Bestimmung von Wassertiefen.

Die Tabelle führt einige globale, öffentlich verfügbare Gezeitenmodelle auf. Einige Modelle sind empirisch mit Hilfe der Satellitenaltimetrie (Messung von Höhe und Welligkeit der Meeresoberfläche per Radar) bestimmt worden und daher unabhängig von Kenntnissen der Bathymetrie.

Modell	Methode	Auflösung	Referenz
FES2004	hydrodynamisch	7,5' × 7,5'	Lyard et al. (2006)
GOT4.7	empirisch	30' × 30'	Ray, pers. Auskunft
TPX07.2	hydrodynamisch	15' × 15'	Egbert et al. (2010)
EOT11a	empirisch	7,5' × 7,5'	Savcenko u. Bosch (2012)
DTU	empirisch	7,5' × 7,5'	Cheng u. Andersen (2012)
FES2012	hydrodynamisch	3,75' × 3,75'	Carrère et al. (2012)

Im offenen Ozean unterscheiden sich die globalen Gezeitenmodelle nur wenig. Hier kann man nach

Shum et al. (1997) erwarten, dass Unterschiede von etwa 2 cm auftreten. Im Küstenbereich kann sich der Tidenhub verschiedener Gezeitenmodelle jedoch durchaus um 1–2 dm oder mehr unterscheiden. Bereits die unterschiedliche räumliche Auflösung der Modelle beeinflusst die Verlässlichkeit der Vorhersage des küstennahen Tidenhubs. Vielversprechend ist die jüngste Entwicklung von FES2012 (Carrère et al. 2012), ein globales, hydrodynamisch bestimmtes Gezeitenmodell mit einem Raster von nur 3,75 Bogenminuten.

Eine internationale Vergleichsstudie der globalen Gezeitenmodelle ist in Vorbereitung. OpenSeaMap wird die Ergebnisse dieser Studie heranziehen und das am besten geeignete Modell für die Tidenkorrektur der Rohdaten verwenden. Zur jeweiligen Messposition wird der relevante Teil des Modellrasters extrahiert (siehe Abb. 3). Dann werden die Gezeitenkonstanten auf die Messposition interpoliert und der Tidenhub τ berechnet.

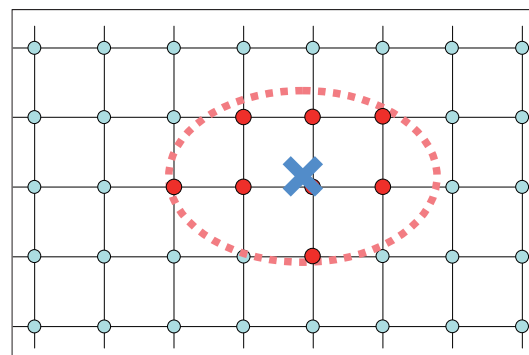
In gleicher Weise kann auch der LAT-Tidenhub τ_{LAT} berechnet werden. Da τ_{LAT} als Minimum des Tidenhubs über 18,6 Jahre aber unabhängig von der aktuellen Beobachtungszeit ist, soll diese Berechnung einmal vorab erfolgen. Die Ergebnisse können dann als globale Rasterwerte auf dem OpenSeaMap-Server bereitgestellt werden.

Wellenkorrektur

Wellen, aber auch das Stampfen und Rollen des Schiffes beeinflussen die Echolotmessung. Diese Störeffekte können – im Gegensatz zum Tidenhub – nur statistisch verarbeitet und müssen in geeigneter Weise gefiltert werden.

Als Standardverfahren für eine solche Aufgabe bietet sich das Kalman-Filter an. Das Kalman-Filter ist ein Verfahren, das sich dynamisch den Messfehlern anpasst und damit einen optimalen Zustand des Messsystems in jedem Zeitschritt ermittelt.

Ausgehend von der Modellierung des Wellensystems über die Modellierung der Messung und deren erwarteten Varianzen kann der dynamische Systemzustand optimal bezüglich minimaler Fehler geschätzt werden. Dadurch kann das auftretende Sensorrauschen weitestgehend unterdrückt werden. Fehler, die außerhalb der Varianzen liegen, können mit dem Chi-Square-Test vorab eliminiert werden, sodass der Filter konvergiert. Diese Eigenschaften plus Erweiterungen, die auch nichtlineare System- und Messmodelle betrachten, machen



Eine Auswahl brennender Forschungsfragen

- *Rohdaten und Metadaten* stehen frei zur Verfügung, um damit zu experimentieren. Für die Beschickung der Rohdaten mit Welle, Tide und Salinität können aktuelle Modelle verglichen, neue Methoden entwickelt oder angewandte Methoden verfeinert werden. Unterstützung ist auch bei der Datenspeicherung und -verarbeitung und bei der Automatisierung der Prozesse gefragt. Ziel ist es, die Datenauswertung und -korrektur zu optimieren.
- *Vergleichsstudien* zwischen professioneller Vermessung und Crowdsourcing sind geplant. Dabei können Consumer-Echolote mit hochpräzisen Sonarsystemen verglichen werden, oder der eingesetzte Low-Cost-Lagesensor mit präzisen Lage-Messeinheiten.
- *Globale Gezeitenmodelle* könnten auf Zuverlässigkeit in Küstennähe untersucht werden. Interessant wäre auch die Kombination von globalen Modellen mit Küstenpegeln.
- *Lagesensoren* könnten bezüglich ihrer Aussagefähigkeit zu Krängung, Rollen und Stampfen untersucht werden, und wie mit den Daten auf die Wellenhöhen und -längen geschlossen werden kann.
- *Wellenmodelle* könnten auf Anwendbarkeit zur Verbesserung der Tiefenmessungen geprüft werden.
- *Methoden zur Beurteilung der Qualität der Rohdaten* wären hilfreich, um diese für die Auswertung zu wichten.
- *Optimale Interpolationsverfahren* zur Ableitung von Tiefenlinien aus regional unterschiedlich dicht verteilten Messpunkten sollen gefunden werden.

Abb. 3: Raster im Gezeitenmodell mit Schiffposition (blaues Kreuz) und relevanten Rasterpunkten (rot) zur Berechnung der Gezeitenkonstanten an der Schiffposition

Literatur

Carrère, Loren; Florent Lyard; Amandine Guillot; Mathilde Cancet; Laurent Roblou (2012): FES 2012: A new global tidal model taking advantage of nearly 20 years of altimetry measurements; Proceedings of meeting »20 Years of Altimetry«, OSTST, Venice, 22.-29.09.2012

Chen, Chen-Tung; Frank J. Millero (1977): Speed of sound in seawater at high pressures; Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 62, No. 5, S. 1129–1135

Cheng, Yongcun; Ole Baltazar Andersen (2010). Improvement of global ocean tide models in shallow water regions; Poster, SV1-68 45, OSTST, Lisbon, 18.-22.10.2010

Del Grosso, V.A. (1974): New equation for the speed of sound in natural waters (with comparisons to other equations); Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 56, No. 4, S. 1084–1091

Egbert, Gary (2010): TPXO7.2; <http://volkov.oce.orst.edu/tides/>, Aufruf vom 17.06.2013

Fossen, Thor I.; Tristan Perez (2009): Kalman filtering for positioning and heading control of ships and offshore rigs; IEEE Control Systems Magazine, Vol. 29, No. 6, S. 32–46

...

den Filter geeignet, um aufgezeichnete Positions- und Tiefendaten zu prozessieren und Fehler der Aufzeichnung zu eliminieren.

OpenSeaMap hat in einer ersten Implementierung zur Auswertung der Rohdaten eine einfache Systemgleichung gewählt, die nur die Position, Geschwindigkeit und Tiefe in jedem Filterschritt aktualisiert.

Fossen u. Perez (2009) haben gezeigt, wie komplexere Systemmodelle für Kalman-Filter verwendet werden können, die auch Wind, Welle und Schiffsmasse betrachten. Manche Schiffe führen zusätzlich zu Echolot und GPS weitere Sensoren mit, wie z. B. Gyroskop, Beschleunigungs- oder Windmesser. Die Messmodelle können anhand der verfügbaren Sensoren variiert werden. Für optimale Ergebnisse und minimale Fehler werden bei der Auswertung System- und Messmodelle bereitgestellt, die zu den auf dem Schiff verwendeten Sensoren passen.

Wasserschallkorrektur

Die in verschiedenen Tiefen unterschiedliche Wasserschallgeschwindigkeit beeinflusst die Laufzeit des Echolotsignals. Die Geschwindigkeit des Schalls c_w im Meerwasser hängt vor allem von der Wassertemperatur T , dem Salzgehalt S und dem hydrostatischen Druck P ab. Um die Laufzeit Δt des Echolotsignals in Tiefe $D = \frac{1}{2} \Delta t \cdot c_w$ umzurechnen, muss die Schallgeschwindigkeit $c_w(T, S, P)$ berechnet werden. Dazu dient z. B. der UNESCO-Algorithmus (Chen u. Millero 1977), ein Internationaler Standard, der von Wong u. Zhu (1995) an die Internationale Temperaturskala von 1990 angepasst wurde. Statt der UNESCO-Formel wird aber auch die ebenfalls von Wong u. Zhu angepasste Gleichung von Del Grosso (1974) verwendet.

In der professionellen Seevermessung werden Temperatur, Salzgehalt und Druck zur Bestimmung der Wasserschallgeschwindigkeit regelmäßig in

den relevanten Tiefen erfasst. Consumer-Echolote verfügen meist über einen Sensor für die Wassertemperatur, können aber die anderen Parameter nicht erfassen. Wenn Temperatur- und Salzgehaltmessungen nicht zur Verfügung stehen, muss mit plausiblen Annahmen gerechnet werden und die dabei verursachten Fehler müssen abgeschätzt werden. Hilfreich wäre, wenn die Echolot-Hersteller die im Gerät verwendeten Algorithmen zur Korrektur der Laufzeiten oder wenigstens die rohe Zeit zur Verfügung stellten.

Lagemessung

Krängung, Rollen und Stampfen des Schiffes verändern die Richtung des Messstrahls und damit die Position seines Fußpunktes. Deshalb ist im OpenSeaMap-Hardware-Logger ein Lagesensor eingebaut. Der Chip MPU-6050 misst Lage und Beschleunigung in allen drei Achsen (siehe Abb. 4). Der Logger setzt die Lagedaten in das NMEA-Datenformat um. Die Auflösung beträgt 16 Bit für alle sechs Werte. Die Lagewerte können in den Bereichen $\pm 250^\circ/\text{sec}$, $\pm 500^\circ/\text{sec}$, $\pm 1000^\circ/\text{sec}$ und $\pm 2000^\circ/\text{sec}$ eingestellt werden.

Die Beschleunigung kann in den Bereichen $\pm 2 \text{ g}$, $\pm 4 \text{ g}$, $\pm 8 \text{ g}$ und $\pm 16 \text{ g}$ gemessen werden. Die Abtastrate ist frei wählbar zwischen 4 Hz und 1 kHz. Da Schiffe eher träge reagieren, wurde der kleinste Lage- und Beschleunigungsbereich gewählt, also $\pm 250^\circ/\text{sec}$ und $\pm 2 \text{ g}$. Die Auflösung beträgt dann: 131 LSB/(°/s) und 16,384 LSB/g. Die Hoffnung ist, damit Krängung, Rollen und Stampfen gut erfassen zu können. Hub ist nur begrenzt erfassbar; Dünung kann selbst mit professionellen Lagesensoren nicht erfasst werden. Alle Schiffe, die den Hardware-Logger verwenden, liefern also zusätzlich Lageinformation.

Das gilt natürlich auch für alle Schiffe mit eingebautem Lagesensor, z. B. die Vermessungsschiffe des BSH oder andere Forschungsschiffe. Damit

Abb. 4: Lage- und Beschleunigungssensor

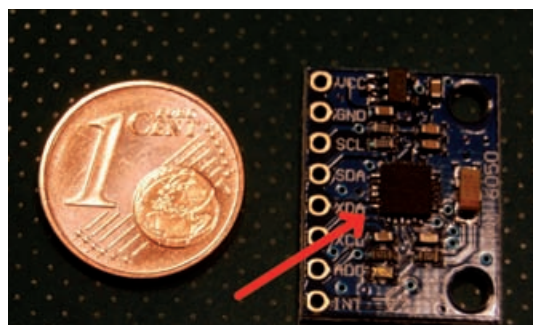


Abb. 5: Position von GPS-Antenne und Echolotgeber

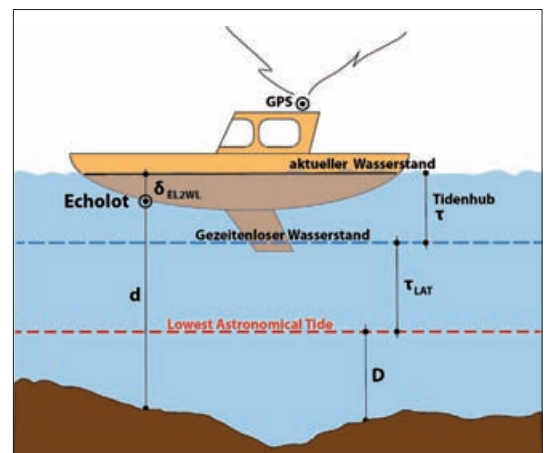
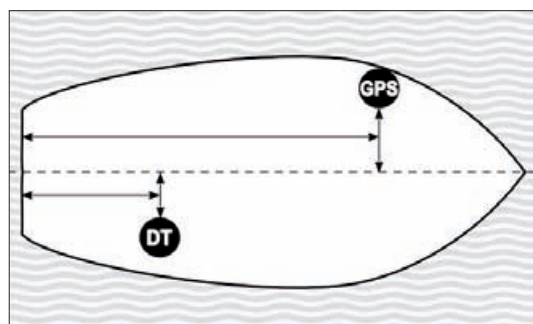


Abb. 6: Zusammenhänge der Bezugssysteme

können sie hochwertige Referenzdaten für die Aktion »Wassertiefen durch Crowdsourcing« liefern.

Sensorposition

Die horizontale Position der GPS-Antenne ist meist versetzt zur Position des Echolotgebers (siehe Abb. 5). Auf kleinen Segelschiffen beträgt der Unterschied meist nur wenige Meter, auf einem Fischerboot können das jedoch mehrere Dutzend Meter sein. Die Position in Bezug auf die Längs- und Querachse wird in den Metadaten erfasst und bei der Auswertung der Rohdaten mit der GPS-Position verrechnet.

Die Höhe der GPS-Antenne über dem Wasserspiegel wird nicht erfasst, da die Höhendaten eines Consumer-GPS zur Bestimmung des Wasserspiegels viel zu ungenau sind. Der Offset, also der Abstand des Echolotgebers zur Wasserlinie, ist dagegen für die Datenauswertung wichtig.

Datenauswertung

Um nun aus den Rohdaten Wassertiefen zu berechnen, sind erforderlich: die Echolotmessung, der Bezug des Echolotgebers zur Wasserlinie des Schiffes und die Fähigkeit, den aktuellen Wasserstand für die Messposition des Schiffes zu berechnen. Abb. 6 skizziert eine vereinfachte Situation der Datenerfassung, aus der sich die notwendigen Größen ableiten lassen:

d	Echolotmessung
D	Wassertiefe relativ zum Seekartennull (hier LAT)
δ_{EL2WL}	Offset zwischen Echolotgeber und Wasserlinie
τ	aktueller Tidenhub
τ_{LAT}	Tidenhub für das Seekartennull

Daraus folgt:

$$D = d + \delta_{EL2WL} - (\tau - \tau_{LAT})$$

Für die Berechnung wird vereinfachend angenommen, dass die horizontale Bezugsebene der Echolotmessung bekannt ist und die Echolotmessung die Schallgeschwindigkeit des Meerwassers berücksichtigt. Außerdem wird angenommen, dass der Offset δ_{EL2WL} zwischen Echolotgeber und Wasserlinie den Ladezustand des Schiffes berücksichtigt, d. h. den Unterschied zwischen Konstruktionswasserlinie und aktueller Wasserlinie. Weiterhin wird der Squat-Effekt ignoriert, ein Einsinken des Schiffes, wenn es Fahrt aufgenommen hat.

Normalisierung von LAT

Wassertiefen in Seekarten müssen sich auf eine festgelegte und klar definierte Höhenbezugsebene – das Seekartennull (SKN) – beziehen. Früher hat man das mittlere Springniedrigwasser (MspNW) genutzt. In Gewässern mit geringem Tidenhub (<30 cm, z. B. Ostsee) gilt der Mittlere Wasserstand (MW).

Seit dem Jahr 2005 gilt auch für Deutschland die Lowest Astronomical Tide (LAT). LAT ist der niedrigste Wasserstand, der sich innerhalb einer Peri-

ode von mindestens 18,6 Jahren unter mittleren meteorologischen Bedingungen einstellt. LAT ist heute als Seekartennull von der IHO international empfohlen und auch in ECDIS übernommen worden. Alle Nordseerainer verwenden LAT.

Allerdings haben sich weltweit nicht alle Länder den IHO-Empfehlungen angeschlossen oder diese umgesetzt. Beispielsweise verwenden Griechenland und die USA Mean Lower Low Water (MLLW). Japan verwendet ungefähr Lowest Low Water (LLW). Erschwerend kommt hinzu, dass die Abweichung des verwendeten Seekartennulls zu LAT keine konstante Größe ist, sondern von Ort zu Ort unterschiedlich, selbst innerhalb eines Landes. Eine Aufstellung, in welchem Land welches Seekartennull gilt, konnte bisher nicht gefunden werden.

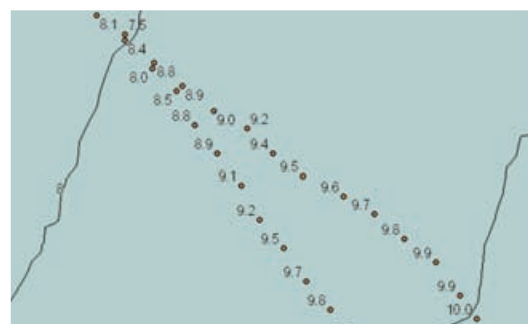
Tiefenlinien erzeugen

Prototypisch wurden bisher Tiefenmodelle für den Brombachsee (im Fränkischen Seenland) und für Teile des Streitköpflerseees (in Baden-Württemberg) berechnet. Die nutzergenerierten Daten wurden mit Quantum-GIS in ein Tiefenmodell umgeformt. Dazu wurden zunächst aus den OpenStreetMap-Daten die Umrisse der Seen abgeleitet. Entlang der Uferlinie wurden Messpunkte mit dem Tiefenwert »0« generiert, und damit die äußere Grenze des Modells definiert.

Mit dem Standard-Interpolationsverfahren (Inverse Distance Weighting, IDW) aus Q-GIS wurde aus dem Punktdatensatz ein Rasterbild mit Tiefenangaben erzeugt. Anschließend wurden die Tiefenlinien berechnet (siehe Abb. 7). Die Verteilung und Dichte der Messpunkte war in beiden Fällen nicht dazu geeignet, die Tiefenstrukturen hinreichend zu repräsentieren. Dennoch konnte beim Brombachsee eine Abweichung von einem RMS Error von unter ± 1 m erzielt werden.

Die Erfassung der Tiefen per Crowdsourcing erfolgt nicht systematisch, z. B. nach einem Raster, sondern zufällig und chaotisch. Deshalb müssen Wege gefunden werden, mit der ungleichmäßigen Verteilung der Messwerte umzugehen.

Als direktes Feedback werden die Tracks im Qualitäts-Layer der Karte angezeigt. Auch die Punktmessungen und die vorläufig abgeleiteten Tiefenlinien werden visualisiert. So ist die Dichte unmittelbar sichtbar. Dritte können dann gezielt Lücken füllen. Und der Nutzer erhält einen ersten Eindruck zur Qualität der Tiefenlinien in einem Revier. □



- ...
 Lyard, Florent; Fabien Lefevre; Thierry Letellier; Olivier Francis (2006): Modelling the global ocean tides: a modern insight from FES2004; Ocean Dynamics, Vol. 56, No. 5–6, 394–415, S. 394–415
 Ray, R. D. (1999): A global ocean tide model from TOPEX/Poseidon altimetry: GOT4.7; NASA Tech. Memorandum 209478, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 58 S.
 Savcenko, Roman; Wolfgang Bosch (2012): EOT11a – Empirical Ocean Tide Model from Multimission Satellite Altimetry; DGF Report No. 89, Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI), München
 Shum, C. K. et al. (1997): Accuracy assessment of recent ocean tide models; Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol. 102, No. C11, S. 25173–25194
 Wong, George S.K.; Shi-ming Zhu (1995): Speed of sound in seawater as a function of salinity, temperature and pressure; Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 97, No. 3, S. 1732–1736

Abb. 7: Messpunkte und erzeugte Tiefenlinien