

Die Herausforderung einer globalen Meeresbodenvermessung und das unterschätzte Potenzial der Datenakquise auf Transitstrecken

Ein Beitrag von ANNE-CATHRIN WÖFL, DANIEL DAMASKE, GAUVAIN WIEMER und COLIN DEVEY

Nur etwa 20 % des Meeresbodens sind bislang mit Fächerecholoten kartiert worden. Größere zusammenhängende Flächen werden selten systematisch und hochauflösend kartiert. Stattdessen gibt es den Ansatz, dass Forschungsschiffe Bathymetriedaten auf Transitstrecken aufnehmen. Im Pilotprojekt »Unterwegs«-Forschungsdaten der DAM – Deutsche Allianz Meeresforschung tragen deutsche Forschungsschiffe dazu bei, weitere Teilstücke des Meeresbodens zu kartieren, um Datenlücken zu schließen. Die Bathymetriedaten werden im Datenarchiv PANGAEA veröffentlicht und von dort in das Portal Deutsche Meeresforschung integriert.

Deutsche Allianz Meeresforschung | AtlantOS | Transitbathymetrie | GEBCO | Bathymetriedaten | PANGAEA
German Marine Research Alliance | AtlantOS | transit bathymetry | GEBCO | bathymetric data | PANGAEA

Only about 20 % of the seabed has been mapped with multibeam echo sounders so far. Larger contiguous areas are rarely mapped systematically and at high resolution. Instead, the approach is for research vessels to record bathymetric data on transit routes. In the pilot project Underway Research Data from the German Marine Research Alliance, German research vessels are helping to map further sections of the seabed to close data gaps. The bathymetric data are made available in the data archive PANGAEA and integrated into the German Marine Research Portal.

Autoren

Dr. Anne-Cathrin Wöfl ist Wissenschaftlerin am GEOMAR in Kiel und koordiniert die AG Bathymetrie im Pilotprojekt »Unterwegs«-Forschungsdaten der DAM. Daniel Damaske ist Mitarbeiter bei PANGAEA/MARUM in Bremen und koordiniert die AG Bathymetrie im Pilotprojekt »Unterwegs«-Forschungsdaten der DAM. Dr. Gauvain Wiemer leitet den Kernbereich Datenmanagement und Digitalisierung der DAM. Prof. Dr. Colin Devey ist Professor für die »Dynamik des Ozeanbodens« und leitet den Forschungsbereich 4 am GEOMAR in Kiel.

awoelfl@geomar.de

Neue wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Weltraumforschung, wie die Entdeckung von subglazialen Seen auf dem Mars, ziehen unsere Aufmerksamkeit an, die sich nicht vergleichen lässt mit dem Interesse, das der Meeresforschung entgegengebracht wird. Dabei gibt es auch auf unserem Planeten noch sehr viel zu entdecken, denn unsere Ozeane und insbesondere die Tiefsee sind noch weitgehend unerforscht. Zwar haben wir beispielsweise durch Satellitenmessungen einen globalen Überblick über die grobe Struktur des Meeresbodens bekommen. Allerdings handelt es sich hierbei um Höhenmessungen der Meeresoberfläche, woraus Meeresbodentiefen abgeleitet und Meeresbodenkarten erstellt werden können, die aber eine relativ geringe horizontale Auflösung zwischen 6 und 9 km in der Tiefsee erreichen (Sandwell et al. 2006). Bis heute sind weniger als 20 % des Meeresbodens hochauflösend mit schiffsbasierten Fächerecholoten kartiert worden (GEBCO 2020). Somit bleibt die Welt unter den Meeren für uns immer noch größtenteils verborgen. Die Konsequenz, die sich daraus ergibt, ist ein lückenhaftes Wissen über die Topographie unserer Meeresböden sowie ein unvollständiges

Verständnis über die dort vorkommenden Prozesse. Zusammengeführt werden Bathymetriedaten bei GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), einer Non-Profit-Organisation, aufgebaut aus führenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und Forschungsorganisationen auf dem Gebiet der Bathymetrie, die sich zum Ziel gesetzt hat, globale bathymetrische Karten der Ozeane bereitzustellen. Die Initiierung der ersten Kartenserie erfolgte durch Prinz Albert I. von Monaco im Jahr 1903. Nach fünf gedruckten Ausgaben der Kartenserie folgte 1994 der *GEBCO Digital Atlas* (unter anderem mit einer digitalen Version der bathymetrischen Konturlinien) und 2003 der erste digitale GEBCO-Rasterdatensatz. Das aktuelle GEBCO_2020-Raster, welches im April dieses Jahres veröffentlicht wurde, basiert maßgeblich auf Fernerkundungsdaten der Erdoberfläche (SRTM15+, Version 2) (Tozer et al. 2019) und wird ergänzt durch hochauflösende bathymetrische Daten von schiffsbasierten Systemen. Dieses Raster hat eine Auflösung von ungefähr 500 m auf Höhe des Äquators, was gering ist im Vergleich zu den Karten der Landoberfläche der Erde, die Auflösungen von 30 m und besser erreichen. Seit An-

fang des 20. Jahrhunderts hat sich viel verbessert in Bezug auf Auflösung und Datenmenge, insbesondere in den letzten Jahren. So hatte das erste GEBCO-Raster eine Auflösung von ungefähr 2 km, und die Fläche der kartierten Meeresböden hat sich seit 2017 mehr als verdreifacht. Einen großen Anteil daran hat sicherlich das »Nippon Foundation–GEBCO Seabed 2030«-Projekt, welches sich zur Aufgabe gemacht hat, alle weltweit verfügbaren bathymetrischen Daten zusammenzuführen, um eine verbindliche und öffentlich zugängliche Karte des Meeresbodens bis 2030 zu erstellen. Beteiligt daran sind unter anderem auch Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des GEOMAR Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel sowie des Alfred-Wegener-Instituts – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung. Das Projekt wurde im Juni 2017 auf der Weltozeankonferenz der Vereinten Nationen ins Leben gerufen und ist auf Ziel 14 – Leben unter Wasser – der globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung ausgerichtet. Erreicht werden soll, unter anderem, der Schutz der Meeres- und Küstenökosysteme sowie eine nachhaltige Nutzung ihrer Rohstoffe, um die Gesundheit und Produktivität dieser Ökosysteme zu erhalten und zu fördern. Ein entscheidender Schritt, um dieses Ziel zu erreichen, ist neben der Vertiefung wissenschaftlicher Erkenntnisse auch die systematische Schließung von Wissenslücken. Dazu zählen auch hochauflöste Karten des Meeresbodens, die nicht nur zu einem besseren Verständnis des größten zusammenhängenden Ökosystems der Erde führen, sie sind auch unverzichtbar bei der Untersuchung von Strömungsmustern und Ozeanzirkulation, der Ausweisung mariner Schutzgebiete oder der Bewertung von Ressourcenpotenzialen.

Für eine vollständige Kartierung der Tiefsee müssten aktuell noch mehr als 200 Mio. km² Meeresboden kartiert werden, wofür ein einzelnes Schiff annähernd 200 Jahre benötigen würde (Mayer et al. 2018). Jedoch sind reine, großflächige Kartierungskampagnen eher selten. Größere zusammenhängende Gebiete werden häufig nur für einen spezifischen Zweck hochauflösend kartiert, zum Beispiel für die Beantwortung einer wissenschaftlichen Fragestellung oder im Fall einer Katastrophe. Ein tragisches Beispiel dafür ist das Verschwinden der Maschine des Malaysia Airlines-Fluges MH370, deren ausgiebige Suche den Mangel an hochauflösender Bathymetrie in den Weltmeeren mehr als deutlich gemacht hat. So waren die vorhandenen Daten im vermuteten Absturzgebiet nicht ausreichend, um eine detaillierte Suche mit Unterwasserfahrzeugen durchführen zu können. Infolgedessen wurden annähernd 279 000 km² Meeresboden in der Tiefsee des Indischen Ozeans hochauflösend kartiert. Eine Meeresbodenvermessung in dieser Größenordnung und die unmittelbare Freigabe dieser Daten ist die große Aus-

nahme. Allerdings können Bathymetriedaten auf dem Weg zu oder aus Forschungsgebieten, also auf sogenannten Transitstrecken, erhoben werden, um die noch verbliebenen Datenlücken zu schließen. In den USA geschieht ähnliches bereits seit 2009 im Rahmen des »Rolling Deck to Repository«-Programms (R2R), bei dem Forschungsdaten der US-amerikanischen Forschungsflotte in öffentlich zugänglichen Datenzentren kuratiert und archiviert werden. 2015 entstand am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel die Idee für ein Projekt, in dem deutsche Forschungsschiffe Bathymetriedaten auf Transitstrecken aufnehmen sollten. Diese Idee entwickelte sich zum »AtlantOS Transitbathymetrie«-Projekt, an dem sich die drei deutschen Forschungsschiffe *Maria S. Merian*, *Meteor* und *Sonne* beteiligten (Wöfl et al. 2019). Mit Ende des AtlantOS-Projektes im Jahr 2019 wurde die Transitbathymetrie in das Pilotprojekt »Unterwegs«-Forschungsdaten der Deutschen Allianz Meeresforschung (DAM) integriert und fortgeführt, um weiterhin einen Beitrag zur vollständigen Kartierung des Meeresbodens zu leisten.

AtlantOS Transitbathymetrie – Jede Meile zählt

Die meisten Forschungsschiffe operieren auf hoher See und legen deshalb häufig weite Transitstrecken zurück. Etwa 15 % der Strecken, die deutsche Forschungsschiffe zurücklegen, bestehen aus Transiten. Da diese häufig durch internationale Gewässer führen, ist die Aufnahme von Bathymetriedaten uneingeschränkt möglich. Daher haben die Deutsche Forschungsgemeinschaft, das BMBF und die Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe im Jahr 2015 beschlossen, dass deutsche Forschungsschiffe nun fortwährend und systematisch Bathymetriedaten auf Transitstrecken durch internationale Gewässer aufzeichnen. Daraus entstand das Transitbathymetrie-Projekt, welches das GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel innerhalb des EU-Forschungs- und Innovationsprojektes »Horizont 2020 AtlantOS« ins Leben gerufen hat. Seitdem werden Bathymetriedaten auf Transitstrecken aufgenommen und am GEOMAR bearbeitet. Anschließend werden die Daten in das Datenarchiv PANGAEA – Data Publisher for Earth & Environmental Science überführt mit dem Ziel, neben der eigentlichen Kartierung des Meeresbodens die Auffindbarkeit von Bathymetriedaten zu verbessern und einen uneingeschränkten Zugang zu Bathymetriedaten zu ermöglichen.

Fortführung der Transitbathymetrie bei der Deutschen Allianz Meeresforschung

Seit 2019 ist das Transitbathymetrie-Projekt Teil des Pilotprojektes »Unterwegs«-Forschungsdaten der Deutschen Allianz Meeresforschung (DAM). Die DAM wurde im Juli 2019 gegründet, initiiert

vom Bund und den fünf norddeutschen Bundesländern (Freie Hansestadt Bremen, Freie und Hansestadt Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein), um den Herausforderungen in der Erforschung der Meere und Ozeane zu begegnen und die wissenschaftlichen und technischen Kapazitäten der deutschen Meeresforschung in einem international herausragenden Verbund von Expertisen und Institutionen zu bündeln. Die Allianz begegnet den großen Zukunftsfragen der Meeresforschung auf höchstem Niveau und verstärkt den wissenschaftlichen Beitrag zu Handlungswissen für Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft. Die DAM setzt dabei Aktivitäten in vier Kernbereichen – Forschung, Infrastruktur, Transfer sowie Datenmanagement und Digitalisierung – um.

Das Pilotprojekt »Unterwegs«-Forschungsdaten hat innerhalb des Kernbereiches Datenmanagement und Digitalisierung im September 2019 mit der Umsetzung begonnen, das als Pendant zum US-amerikanischen R2R-Programm betrachtet werden kann. Dabei geht es um die systematische Erfassung, Datenübermittlung, Qualitätssicherung und Veröffentlichung von »Unterwegs«-Forschungsdaten nach den FAIR-Prinzipien. Als »Unterwegs«-Forschungsdaten werden jene Daten bezeichnet, die von bord-eigenen, meereswissenschaftlich relevanten Sensoren gemessen werden und nicht Teil des wissenschaftlichen Programms sind. Gemäß der FAIR-Prinzipien sollen Daten »findable« (auffindbar), »accessible« (zugänglich), »interoperable« (interoperabel) und »re-usable« (wiederverwendbar) sein. Diese Grundsätze wurden von Vertretern aus Wissenschaft, Industrie, Förderinstitutionen

und Verlagen mit dem Ziel zusammengestellt, die Wiederverwendung wissenschaftlicher Daten zu unterstützen und zu fördern (Wilkinson et al. 2016). Durch die Anwendung von FAIR-Prinzipien wird das Potenzial für den Mehrwert erhöht, den Daten erbringen können. Der Fokus während der Pilotphase liegt auf den Forschungsschiffen *Maria S. Merian*, *Meteor*, *Polarstern* und *Sonne*. Zu den Geräten und Sensoren, die in der Pilotphase prioritätär behandelt werden, gehören das CTD-System (von engl. conductivity, temperature, depth: Leitfähigkeit, Temperatur, Tiefe), das Fächerechlot (inklusive Schallgeschwindigkeitsmessungen), der akustische Strömungsmesser (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP), der Thermosalinograph (TSG), die Ferrybox und bio-optische Sensoren. Bathymetriedaten und CTD-Daten werden grundsätzlich berücksichtigt, auch wenn sie nicht strikt der Definition von »Unterwegs«-Forschungsdaten folgen. Parallel wurde mit dem Aufbau des »Portals Deutsche Meeresforschung« begonnen (Abb. 1), um den Zugriff auf und die Visualisierung von marinen Forschungsdaten zu vereinfachen.

Für die »Unterwegs«-Bathymetrie nehmen die Forschungsschiffe Daten in internationalen Gewässern und in Ausschließlichen Wirtschaftszonen (AWZ) auf, sofern eine diplomatische Genehmigung dafür erteilt worden ist. Zusammen mit dem Fahrleiter bzw. der Fahrleiterin, der Leitstelle und der Reederei werden die Fahrtrouten so geplant, dass die freien Zeiten optimal für die Meeresbodenkartierungen genutzt werden können. Die geplanten Routen werden nach Möglichkeit weitestgehend durch unkartiertes Gebiet gelegt, um die Datenlücken effizient zu schließen. Nach Abschluss

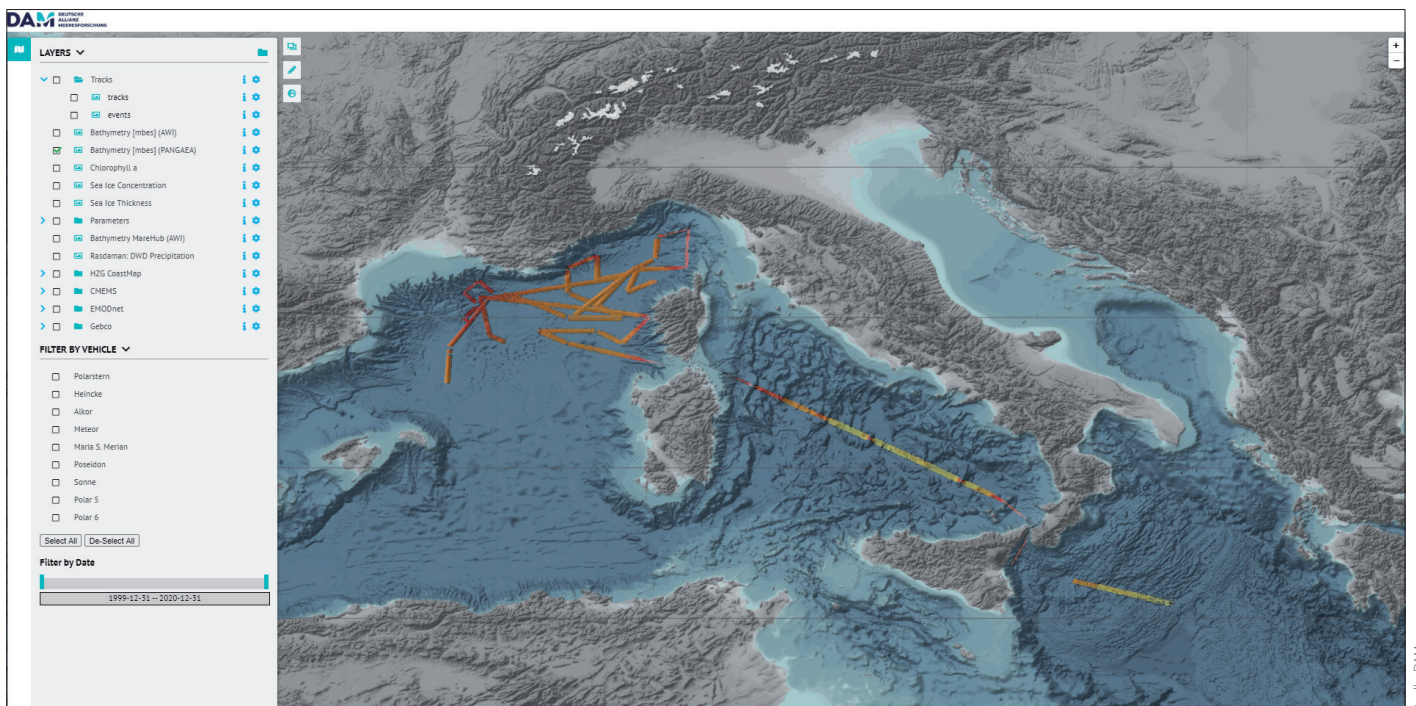


Abb. 1: Prototyp des Portals Deutsche Meeresforschung der DAM

Quelle: DAM

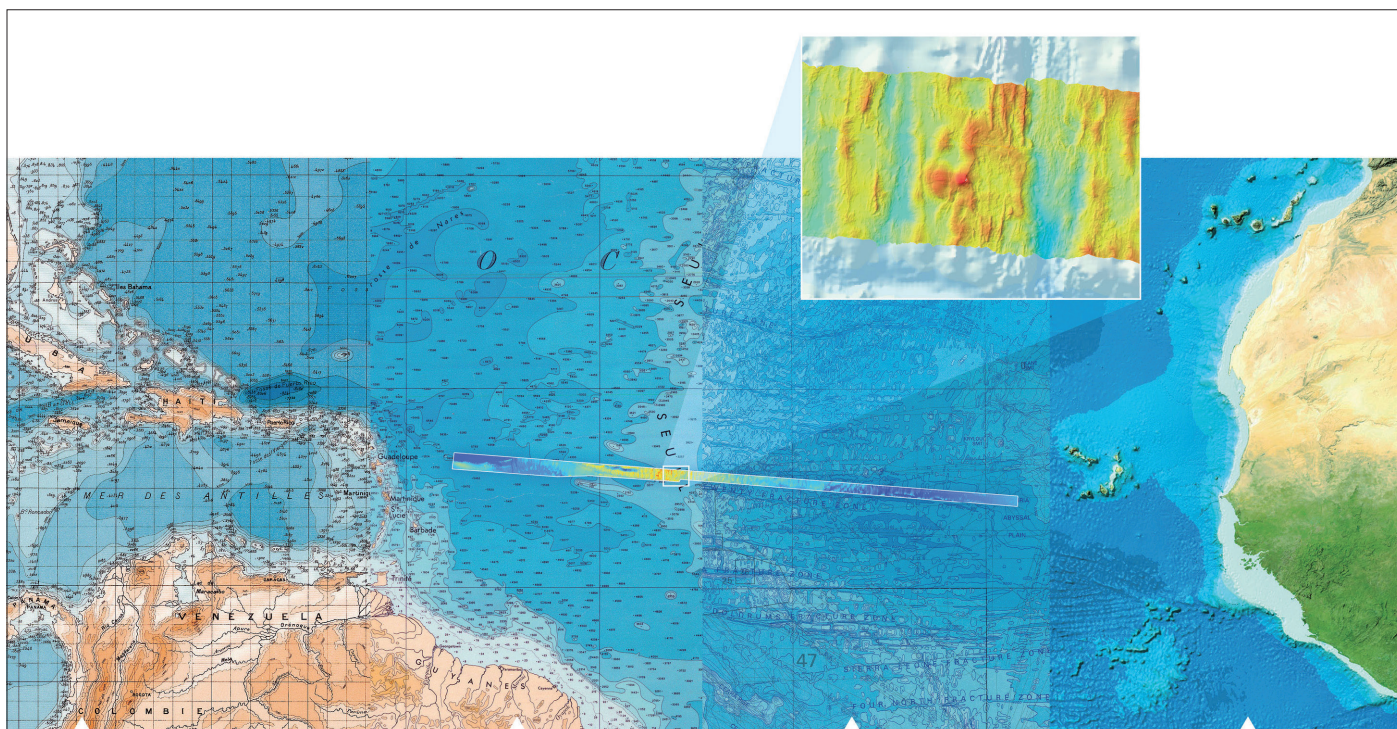


Abb. 2: Die Entwicklung der GEBCO-Karten mit der zweiten Auflage von 1910 bis 1930, der vierten Auflage von 1958 bis 1973, der fünften Auflage von 1973 bis 1982 und dem GEBCO-2019-Raster (von links nach rechts). Der Streifen in der Mitte ist das Resultat der Kartierungskampagnen MSM88/1 und MSM88/2

Quelle: GEBCO World Maps, MSM88/GEOMAR; Grafik: Christoph Kersten/GEOMAR

einer Expedition werden die Bathymetriedaten von der Reederei an die DAM übermittelt, wo die Daten qualitätsgeprüft, prozessiert, Datenprodukte erstellt und publiziert werden. Daten, die Teil des wissenschaftlichen Programms sind, bleiben unberührt. Die Rohdatensätze werden unter Angabe des Fahrtleiters bzw. der Fahrtleiterin als Erstautor unmittelbar nach Erhalt der Daten bei PANGAEA veröffentlicht.

PANGAEA ist ein weltweit führendes Datenarchiv für Erd- und Umweltwissenschaften, welches gemeinsam durch das MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen – und das Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung – betrieben wird. PANGAEA archiviert bereits heute Hunderte bathymetrische Datensätze aus Forschung und Wissenschaft. Hier kuratierte und archivierte Daten erhalten einen digitalen Objektbezeichner (Digital Object Identifier, DOI). Dies ist ein sogenannter »persistent identifier« oder, vereinfacht ausgedrückt, eine eindeutige und dauerhafte Kennnummer eines Datensatzes, mittels der die Daten nachhaltig und webbasiert zugänglich gemacht werden. Für die Wissenschaft werden digitale Daten somit wie ein Buch oder ein wissenschaftlicher Artikel nutzbarer, da diese zitierbaren Daten auch mit umfassenden Metadaten angereichert sind. Die Daten der Transitbathymetrie werden in PANGAEA unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0 publiziert. Das bedeutet im Kern, dass die Daten unter Angabe der Zitation (inklusive DOI) uneingeschränkt genutzt und weiterverbreitet werden dürfen. Neben Forschungszwecken ist die

weitere Datenverarbeitung auch für kommerzielle Zwecke erlaubt.

Um die Publikation von bathymetrischen Rohdaten sowie der prozessierten Daten unter Einhaltung der FAIR-Prinzipien gewährleisten zu können, werden derzeit für PANGAEA neue methodische Standards der Datenkuration und Datenarchivierung entwickelt. Hierzu zählen unter anderem auch das halbautomatisierte, standardisierte Auslesen von Metainformationen aus den Rohdaten mit dem Open-Source-Softwarepaket MB-System (Caress et al. 2017) und deren Archivierung in PANGAEA. Mit MB-System lassen sich derzeit die meisten der auf den deutschen Forschungsschiffen erzeugten Bathymetriedatenformate einlesen und bearbeiten. Gleichzeitig werden die für PANGAEA bereitgestellten Daten als Basis mit MB-System vorprozessiert, sodass diese in einem kontinuierlichen Datenfluss in das Portal Deutsche Meeresforschung überführt werden können. Abhängig von den Lizenzrechten der Daten werden Fahrtlinien, Abdeckungs-Polygone sowie Rasterdaten (im GeoTIFF-Format) aus den Rohdaten erstellt. Über das Portal Deutsche Meeresforschung sollen webbasierte Schnittstellen (OpenGIS Web Map Services) bereitgestellt werden, welche eine Einbindung dieser mit PANGAEA verlinkten Daten in andere Datenportale ermöglichen. Somit können, neben anderen bathymetrischen Daten, auch die Daten der Transitbathymetrie leicht in das IHO Data Centre for Digital Bathymetry (DCDB) eingebunden werden. Das 1990 gegründete DCDB verwaltet die weltweite Sammlung bathymetrischer

Daten und wird von NOAA's National Centers for Environmental Information (NCEI) in Boulder, Colorado, betrieben. Derzeit sind annähernd 60 Terabyte bathymetrische Datensätze beim DCDB erfasst und für Forschende aus aller Welt frei zugänglich. Das DCDB dient auch als Langzeitarchiv für das »Nippon Foundation–GEBCO Seabed 2030«-Projekt.

Pro Jahr erfassen die drei Schiffe innerhalb des Transitbathymetrie-Projektes etwa 200 000 km² Meeresboden. Das entspricht weniger als 0,1 % der noch zu kartierenden Fläche in der Tiefsee, liefert jedoch eine Menge neuer Erkenntnisse über die Struktur und Beschaffenheit des Meeresbodens. Zusätzlich zu den Transitdaten kommen groß angelegte Kartierungskampagnen, wie die der *Maria S. Merian*-Expeditionen MSM88/1 und MSM88/2 im zentralen Atlantik, die um die Jahreswende 2019/2020 stattgefunden haben (Abb. 2) (Devey et al. 2020). Ziel dieser Kampagnen war es, einen bisher relativ unerforschten Teil des zentralen Atlantiks zu kartieren und die Daten uneingeschränkt zur Verfügung zu stellen. Insgesamt wurde eine

zusammenhängende Fläche von 240 000 km² kartiert, was ungefähr zwei Dritteln der Größe der Bundesrepublik Deutschland entspricht.

Ausblick

Seit Projektbeginn wird das Sammeln von Transitdaten auf den Forschungsschiffen aktiv von den Kapitänen, der Schiffsbesatzung, der Leitstelle und in der Regel auch von den leitenden Wissenschaftlern unterstützt. Maßgeblich für diese Unterstützung war und ist die Selbstverpflichtung, die Daten anschließend für alle Menschen, weltweit frei zugänglich zu machen. Durch die Einbindung des Projektes in das Programm der DAM ist der Grundstein für eine langfristige und nachhaltige Fortführung der Aktivitäten gelegt. Die deutsche Meeresforschung leistet damit einen erheblichen Beitrag zu Seabed 2030 und dem Ziel eine verbindliche und öffentlich zugängliche Karte des Meeresbodens bis 2030 zu erstellen, sowie zur Erfüllung des 14. globalen Zieles für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen. //

Literatur

- Caress, David W.; Dale N. Chayes; Christian dos Santos Ferreira (2017): MB-System Seafloor Mapping Software – Processing and Display of Swath Sonar Data. <http://www.mbari.org/products/research-software/mb-system>
- Devey, Colin W.; Anne-Cathrin Wölfl; Nico Augustin et al. (2020): Bathymetric Mapping Of The Seafloor - A German Contribution To Completing The Map By 2030, Cruise No. MSM88/1 + MSM88/2. Gutachterpanel Forschungsschiffe, DOI: 10.2312/cr_msm88
- GEBCO (2020): Nearly a fifth of world's ocean floor now mapped. Press Release, 21.06.2020, https://www.gebco.net/news_and_media/gebco_2020_release.html
- Mayer, Larry A.; Martin Jakobsson; Graham Allen et al. (2018): The Nippon Foundation–GEBCO Seabed 2030 Project: The quest to see the world's oceans completely mapped by 2030. *Geosciences (Switzerland)*, DOI: 10.3390/geosciences8020063
- Sandwell, David T.; Walter H. F. Smith; Sarah Gille et al. (2006): Bathymetry from space: Rationale and requirements for a new, high-resolution altimetric mission. *Comptes Rendus Geoscience*, DOI: 10.1016/j.crte.2006.05.014
- Tozer, Brook; David T. Sandwell; Walter H. F. Smith et al. (2019): Global bathymetry and topography at 15 arc sec: SRTM15+. *Earth and Space Science*, DOI: 10.1029/2019EA00065
- Wilkinson, Mark D.; Michel Dumontier; IJsbrand Jan Aalbersberg et al. (2016): The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, DOI: 10.1038/sdata.2016.18
- Wölfl, Anne-Cathrin; Helen Snaith; Sam Amirebrahimi et al. (2019): Seafloor Mapping – The challenge of a truly global ocean bathymetry. *Frontiers in Marine Science*, DOI: 10.3389/fmars.2019.00283