

100 JAHRE eCHOLOT

Die tiefe HöREN

4000 JAHRE tieFENMESSUNG IM ozeAN



mit freundlicher Unterstützung der
Landeshauptstadt Kiel



Wie tief ist das Meer?

02 Zitate zum Thema Tiefenmessung im Ozean

Zitate zum Thema Tiefenmessung im Ozean

Plinius der Ältere (60 n. Chr.), römischer Naturforscher, schätzt die Tiefe des Meeres auf 3.000 m. Es gäbe aber auch Stellen, die unermesslich tief seien.

Ferdinand Magellan (1522), ließ während seiner Weltumsegelung eine Eisenkugel an einem 700 m langen Seil in den Pazifik hinab. Da sie den Boden nicht erreichte, vermutete er, „dass das Meer unendlich tief sei“.

Graf Luigi Marsigli (1725), ein Pionier der Ozeanographie: „Die Fischer, die in 275 und 360 m Tiefe Korallen fischen, deren Leinen aber nicht ausreichen, größere Tiefen festzustellen, sprechen kühn vom bodenlosen Meer. Sie behaupten, es sei unmöglich den Boden zu loten. Diese Auffassung erscheint mir absurd und einzig darauf zu beruhen, dass sich bisher noch niemand die Mühe gemacht hat und die Mittel aufgebracht hat, die für die Durchführung solcher Lotungen erforderlich sind.“

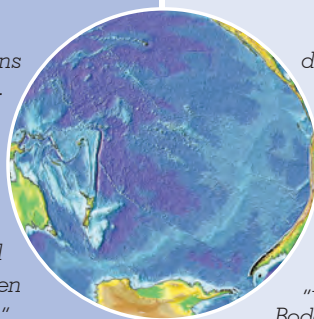
Johann Friedrich Wilhelm Otto (1794), früher Meereskundler: „Bis jetzt ist uns kein zuverlässiges Mittel

bekannt, welches uns in den Stand versetzt, die Tiefe des Meeres auf eine ganz zuverlässige Art zu erforschen. Dies ist auch viel schwerer als die Höhen der Berge zu messen.“

Alexander v. Humboldt (1845): „Die Tiefe des Ozeans und des Luftmeeres sind uns beide unbekannt. Im Ozean hat man an einigen Punkten in einer Tiefe von 2.530 Fuß noch keinen Grund gefunden [...]“

Rudolf von Willemoes-Suhm (1875), aus Holstein stammender Zoologe an Bord der HMS „Challenger“: „Zwischen den Karolinen, Philippinen fanden wir die größte bisher gemessene Tiefe mit 4.475 Faden (8.168 m).“

Prof. Dr. Otto Krümmel (1907), Kieler Ozeanograph, mahnt, „dass alle in den Karten konstruierten Isobathen (Tiefenlinien) mit subjektiven, ja mehr oder weniger geradezu mit willkürlichen Auffassungen belastet sind und deshalb zwei Autoren aus



demselben Material keineswegs gleiche Tiefenbilder ableiten werden.“

Dr. Alexander Behm (1912), Kieler Physiker, wird durch das Unglück der Titanic veranlasst zu überlegen, „ob man Eisberge mit Hilfe reflektierender Schallwellen [...] rechtzeitig auffinden könnte.“

Dr. Max Groll (1912), Berliner Institut für Meereskunde: „Es ist geradezu erschreckend, wie wenig wir vom Bodenrelief der Ozeane wissen und auf wie dürtigen Angaben unsere Vorstellungen beruhen.“

Prof. Dr. Günter Dietrich (1956), Kieler Ozeanograph: „Zwar ließ die Verwendung des Echolotes die Zahl der Lotungen in den letzten Jahren enorm anwachsen, aber die Verbesserungen der Kenntnisse des Bodenreliefs konnten nicht im gleichen Verhältnis mit der steigenden Anzahl der Lotungen standhalten.“

Prof. Dr. h.c. mult. Eugen Seibold (2004), Kieler Meeresgeologe und ehemaliger Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG): „Vor hundert Jahren wurde die erste internationale Tiefenkarte der Ozeane mit nur 18.400 Lotungen erstellt, vor fünfzig Jahren waren es immerhin noch 370.000. Im Mittelmeer gab es um 7960 noch Flächen von 100x50 km ohne jede Tiefenmessung. Bei allen seitherigen Fortschritten sind unsere heutigen Kenntnisse der Ozeanböden mit denen der Festländer vor dreihundert Jahren zu vergleichen. Sie beschränken sich wie damals im Wesentlichen auf küstennahe Gebiete und auf Routenaufnahmen (der Handels-schiffahrt) in Küstenferne. Um die großen Lücken zu schließen, müssen deshalb auch Satelliten neben genauer Ortsbestimmung mit erheblich verbesserter Auswertung von Schwereanomalien helfen.“



Prof. Dr.
Otto Krümmel

Bis heute kennen wir den Meeresboden der Weltmeere schlechter als die Oberfläche des Mondes. Mit 350 Mio. km² bedeckt das Meer mehr als 70 % der Erdoberfläche, aber nur ca. 7 % sind bisher mit Echoloten vermessen. Mit Hilfe der von Satelliten-Sensoren gemessenen Schwereanomalien können nur die groben Strukturen über 10 km² Größe am Meeresboden detektiert werden. Kleinere Strukturen und Objekte können einzig mit der (Fächer-) Echolot-Technologie detailliert vermessen werden.

100 Jahre Echolot - Die Tiefe hören

Die Medizinische Fakultät der Kieler Universität verlieh dem Erfinder des Echolots Alexander Behm am 24.11.1928 die „Ehrenwürde des Doktors der gesamten Medizin“ mit folgenden Worten (Auszug):

„So - durch den erschütternden Untergang der „Titanic“ von Forschergeist erfüllt - Abwehr solchen Unheils ersann und in seinem Echolot ein Präzisionsinstrument schuf, das nicht nur die dem Meere anvertrauten Leben bewahren hilft, sondern auch dazu berufen ist, den erdumspannenden Verkehrsmitteln der Lüfte mehr und mehr Sicherheit zu geben.“

In den Jahren nach 1913 war das Echolot vor allem ein Gerät, das die Schifffahrt wie den Luftverkehr mit deutlich mehr Sicherheit verschah. Erst in den 1960er / 70er Jahren bestätigten die inzwischen in großer Zahl vorliegenden Tiefenmessungen im Ozean das Modell der Plattentektonik, mit dem wir heute die Prozesse im System Erde umfassend verstehen und erklären können. Damit wurde auch die Kontinentalverschiebungs-Theorie von Alfred Wegener aus dem Jahr 1912 letztlich bestätigt.

Nach wie vor ist die Hydroakustik für den Schiffsverkehr wie auch für die Meeresforschung ein grundlegendes Messverfahren.

Wir wünschen der neuen Ausstellung zahlreiche Besucher!

Prof. Dr. Peter M. Herzig
Direktor GEOMAR Helmholtz-Zentrum für
Ozeanforschung Kiel

Im Jahr 1913 erdacht, kam das von Alexander Behm entwickelte Echolot zunächst ganz wesentlich der Sicherheit der Schifffahrt zugute. Schnell aber wurde klar, welch' ungeheurer Nutzen dieser Erfindung innewohnte. In bis dato undurchdringliche Tiefen zu schauen, die Welt der Ozeane in all ihrer phantastischen Vielfalt mit tiefen Schluchten und weltumspannenden Gebirgszügen wahrnehmen zu können, ließ nicht nur Forscherherzen höher schlagen.

Eine Vielzahl spannender Weiterentwicklungen des Behm'schen Verfahrens gestatteten in der Folge den Blick auch noch in die tiefsten Ozeantiefen und sogar darüber hinaus den Blick ins Innere des Meeresbodens zu werfen. Das Echolotprinzip ist heute nicht nur zur notwendigen Grundlage allen maritimen Handelns auf See geworden, es bildet auch die Grundlage für ein überaus erfolgreiches wirtschaftliches Engagement in den maritimen Märkten.

Die Vielfalt der Anwendungen unterstreicht hierbei eindrucksvoll die grundsätzliche Bedeutung der Behm'schen Erfindung. Moderne Echolote dienen heute nicht nur der Sicherung der Schifffahrt, sondern sind auch notwendiges Werkzeug zur Entwicklung und Unterhaltung von Schifffahrtsstraßen, Häfen und Hafenanlagen oder Wasserbauwerken. Sie ermöglichen die systematische Suche und Nutzung mariner Rohstoffe und helfen bei der Erfassung von Veränderungen unserer marinen Umwelt. Sie gestatten den marinen Wissenschaften einen Blick in unbekannte Tiefen und tragen dazu bei, ein wahrhaft umfassendes Verständnis unserer Binnengewässer, Küstenzonen und Meere zu entwickeln.

Mit der Entwicklung des Echolotverfahrens im Jahr 1913 hat Alexander Behm nicht nur die Tür aufgestoßen in unbekannte Welten. Er hat uns auch das Werkzeug an die Hand gegeben, diese neuen Welten im maritimen Zeitalter verantwortungsvoll in Besitz zu nehmen.

Holger Klindt
1. Vorsitzender Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V.

Der Planet Erde ist mit seinen Gebirgen und Flüssen, mit seinem Klima und den Meeren, mit Wüsten, Gletschern und Vulkanen ein komplexes System. Meeres- und Geowissenschaftler sind dabei, dieses „SYSTEM ERDE“ zu entschlüsseln.

GESCHICHTE DER HANDLOTE

In der ägyptischen Pharaonenstadt Theben entdeckten Archäologen den vermutlich ältesten Nachweis einer Handlotung aus der Zeit um 2040 v. Chr.. Dort fanden sich in einer kleinen Grabkammer des Kanzlers Meketre Modelle eines Reise- und eines Küchenschiffes, auf deren Bug jeweils ein Matrose mit einem Handlot zu erkennen ist. Im Terrasentempel der ägyptischen Königin Hatschepsut (1500 v. Chr.) in Theben zeigen Wandmalereien ein detailliert dargestelltes Schiff, auf dem ein Mann abgebildet ist, der am Bug mit einem Lotstab die Wassertiefe misst.



Ägypter mit Handlot

In der Bibel wird die Nutzung eines Handlotes in der Apostelgeschichte beschrieben: Der Apostel Paulus wird 62 n. Chr. gefangen genommen und nach Rom gebracht. Auf der Fahrt erleidet er durch einen Orkan vor Malta Schiffbruch. Während das Schiff vom Sturm bedrängt wird, nehmen die Matrosen Lotungen vor (Apostelgeschichte 27, 27-29): „Als wir schon die vierzehnte Nacht auf der Adria trieben, merkten die Matrosen um Mitternacht, dass sich ihnen Land näherte. Sie warfen das Lot hinab und maßen 20 Faden; kurz danach loteten sie nochmals und maßen 15 Faden. Aus Furcht, wir könnten auf Klippen laufen, warfen sie vom Heck aus vier Anker und wünschten den Tag herbei.“



Apostel Paulus im Sturm vor Malta



Ausschnitt aus dem gestickten Bildteppich von Bayeux (1066)

Handlot (14 x 8 cm)

Fund aus dem Hafen des wikingerzeitlichen Seehandelszentrums Haithabu, Archäologisches Landesmuseum Schleswig-Holstein



Im Hafen von Haithabu wurde eines der ältesten Handlote Nordeuropas entdeckt (9. - 11. Jahrhundert).

Der Teppich von Bayeux, ein 70 Meter langer gewebter Wandteppich, zeigt in bunten aufgestickten Bildern die Geschichte der Eroberung Englands im Jahr 1066. Eines der Bilder zeigt einen Wikinger am Schiffsbug beim Werfen des Handlotes.

Die älteste Segelanweisung Nordeuropas stammt von dem norwegischen Kaufmann Ottar für die Route von Bergen nach Haithabu (880 n. Chr.): „[...] auf der Backbordseite liegt während der ganzen Zeit Norwegen. Südlich von Sciringssal (bei Oslo) geht ein großes Meer (die Ostsee) ins Land hinein, das breiter ist, als dass es ein Mensch überblicken könne [...]. Dieses Meer geht viele hundert Meilen weit ins Land hinein [...]. Von Sciringssal ist er in fünf Tagen nach dem Hafen gesegelt, den man Haethum (Haithabu) nennt.“



Holzchnitt des
Olaus Magnus

Olaus Magnus (schwedischer Geistlicher und Historiker) schreibt in seiner „Historia de gentibus septentrionalibus“ aus dem Jahre 1555: „Die unbeschreibliche Tiefe des bergigen Gestades Norwegens ist meist so groß, dass das gewaltigste Schiff mit noch so langen Leinen ausgestattet sein kann: Wirft man das Senkblei, so vermag man doch nicht seine Tiefe zu ergründen.“ Auch hebt er das Lot als Navigations-Instrument hervor:

„[...] erfahrene und zuverlässige Seeleute können am in die Tiefe geworfenen Lot erkennen, wie nahe oder fern der Hafen liegt [...]“. Ein historisches Zitat verdeutlicht die Bedeutung des Lotes an Bord: „1449 nimmt man dem Danziger Schiffer Hans Hoppenbruer in Plymouth lyne und loth, was ausreicht, ihn an der Weiterfahrt zu hindern.“

Zur Vereinfachung und Beschleunigung der Messungen in tieferem Wasser wurde im 19. Jahrhundert die Lotmaschine entwickelt, bei der die Dampfmaschine zum Einsatz kommt. Bei der Biskaya-Vermessung um 1850 wurde Stahldraht und später Klaviersaitendraht anstelle der Hanf-, Leinen- und Seidenseile früherer Zeiten verwendet.

LOTMASCHINEN

Für das Aufholen des Lotes wurden motorisierte Winden eingesetzt.

Das Lot benötigte 33 1/2 Minuten bis zum Grund in 4.456 m Wassertiefe, die 12 PS-Dampfwinde dann ca. 4 Stunden, um es wieder heraufzuziehen.



Lotmaschine an Bord der
„Valdivia“ (1898/99)

Noch in den 1970er Jahren wurde in sehr flachen Bereichen von Nord- und Ostsee mit Drahtlot und Lotstab gemessen.

In vielen Küstenstaaten werden Handlote und Lotstäbe bis heute eingesetzt.

Tiefsee-Drahtlotungen waren auch nach der Entwicklung der Lotmaschine aufwendig. Das Schiff musste für Stunden auf Position gehalten werden. Erst ab 1920 konnten Schiffe in großen Tiefen ankern. Darüber hinaus war ruhige See beim Loten unbedingte Voraussetzung.



Handlotung im Küstenbereich
der Ostsee

Brockhaus 1895: „Für größere Tiefen von 6.000-9.000 m, wie man sie zur Legung unterseeischer Kabel oder zu wissenschaftlichen Zwecken zu ermitteln hat, benutzt man fast ausschließlich die Thomsonsche Lotmaschine. Diese Lotmaschine ist die vorzüglichste und daher bei allen Marinen im Gebrauch.“

Der Nutzen von Handloten bei der Navigation

Den Kapitän eines Schiffes interessierte im Küstenbereich zunächst die Wassertiefe, die auch zum Stecken der Ankerkette von Bedeutung war. Aber auch die Beschaffenheit des Meeresbodens gewann an Bedeutung. Aus antiken und mittelalterlichen Segelanweisungen ist bekannt, dass die Geologie des Meeresbodens zur Ortsbestimmung genutzt wurde. Die Eignung als Anker-



Kogge im Siegel der Hansestadt Stralsund



Kogge unter Segeln

grund und die Auswirkungen eventueller Grundberührungen des Schiffes hängen natürlich von der Beschaffenheit des Meeresbodens ab.

Seit der Antike weisen zahlreiche Handlote an ihrer Unterseite einen Hohlraum auf. Diese Hohlräume wurden vor der Tiefenmessung mit Fett oder Talg, der sogenannten Lotspeise, eingefettet. Beim Auftreffen des Lotes auf dem Meeresgrund wurde dort die Bodenprobe fixiert und anschließend zur Untersuchung an Bord gehievt.

Handlot von der Darsser Kogge (18 x 8 cm), Anfang 14. Jhdt. (Ostsee V, Darss, Fundplatz 40; Archäologisches Landesmuseum Mecklenburg-Vorpommern)



Hohlraum für die Lotspeise

Das Wissen der Seefahrer um das Meer wurde zunächst als Segelanweisung in Seebüchern aufgeschrieben (Leeskart-Bücher, Vorläufer der heutigen Seehandbücher) oder in Form erster Seekarten (Schetskarten, Vorläufer der heutigen Seekarten) dokumentiert. Sie enthielten Informationen zu Küstenverläufen, Hafenansteuerungen, Wassertiefen, zur Meeresbodenbeschaffenheit, zu Strömungsverhältnissen und zu Ankergründen. Die älteste Segelanweisung Nordeuropas stammt aus der Wikingerzeit.

Segelanweisung aus der Nordsee (1470):

„Wenn man von der Doggerbank segelt und kommt südlich Flamborough Head [...], dann findet man es 25 Faden tief, und der Grund besteht aus grobem grauen Sand, vermengt mit Schlick. Und wenn man den Grund schwarz, rot und weiß findet auf 20 Faden Tiefe, dann lotet fleißig und hütet euch vor dem gefährlichen Grund, der 5 Meilen [...] nordnordost von de Schilt in der See liegt.“

Herodot (479 v. Chr.) äußert sich zur Entstehung des Meeresbodens in der Nähe des Nildeltas: „Denn mit der Art und Entstehung des Landes Ägypten steht es so: Erstens, bist du noch bei der Anfahrt und eine Tagesstrecke ab vom Festland und wirfst dann das eingefettete Senklot aus, bringst du Schlick mit hoch und das bei einer Tiefe von elf Klaftern. Das zeigt, dass die Anschwemmung der Erde (vom Nil) so weit hinaus reicht“.

Die Entwicklung der Seekarten

im Flachwasser am Beispiel der Ostsee

Die erste genaue Beschreibung von Nord- und Ostsee findet sich im Seebuch von 1532, das ab 1544 grobe Küstenansichten, sogenannte Vertonungen, enthält. Die „Caerte von Oostlant“ (1543) des niederländischen Kartographen Anthonisz war lange Zeit maßgeblich für die Gewässer Nordeuropas. Anschließend verwendete man im Norden die sehr verlässlichen Schetskarten, Vorgänger der Seekarten, u.a. der Niederländer L. J. Waghenaeer (1548/85) und A. Heyen (1585).

Im Laufe des 17. Jahrhunderts übernahm Schweden die hydrographischen Belange im Bereich der Ostsee.

Es folgten französische (1683 - 98), dänische (ab 1698), englische (1646 - 47) und russische (1757) Seekarten der Ostsee.

Erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts traten die Segelanweisungen ihre Jahrhunderte währende Vorrangstellung gegenüber

Alexis Hubert Jaijoll, Pieter Moitier:
Carte de la mer de Dannemark,
Paris 1693 (Ausschnitt)



C.C. Louis, Neue Seekarte des Sundes und der beiden Belte, 1777 (Ausschnitt)

den Seekarten ab, die von da an zuverlässige Abbildungen der Küstenverläufe von Nord- und Ostsee auf wissenschaftlicher Grundlage boten.

1858 erschien der preußische Seeatlas der inneren Deutschen Bucht. An der Ostseeküste gab zunächst das Preußische Ministerium des Handels Ostseekarten heraus (1833 - 43). Ab 1861 übernahm das Hydrographische Büro des Preußischen Marineministeriums das gesamte deutsche Seekartenwesen. Im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts erreichten die deutschen Seekarten ein international anerkanntes Niveau. Heute wird diese Aufgabe vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) wahrgenommen.

C. Anthonisz.,
Karte von Ostland,
ca. 1560 (Ausschnitt)



Brockhaus 1895: „Lot: Durch Vergleichung der Tiefen und des Bodens mit den auf den Karten angegebenen Daten ist das Lot ein vorzügliches Hilfsmittel der Schifffahrt. Das schwere Lot, welches bis zu 300 m Tiefe gebraucht wird, wiegt 20 kg, das Mittellot 7,5 kg und das bis zu 40 m Tiefe gebräuchliche Handlot 3,5 bis 4,5 kg.“

Leinen los!

Mit diesem oder einem ähnlichen Ruf wurde vermutlich schon vor 4.000 Jahren das Ablegemanöver größerer Schiffe eingeleitet.

Die Schiffsreisen waren damals aber mangels Seekarten und Seezeichen - besonders in flachen Küstenbereichen - stets mit erheblichen Risiken verbunden.

Auf die wenigen, nur aus Text bestehenden Segelanweisungen folgten vermutlich schon in der Antike erste (graphische) Seekarten mit Angaben zur Wassertiefe. Im Norden Europas stammen die ältesten Segelanweisungen aus dem 9. Jahrhundert, die ältesten Seekarten mit ersten Angaben zur Wassertiefe aus dem 15. Jahrhundert. Neben sehr vereinzelt Messungen im tieferen Wasser wurde damals fast ausschließlich im küstennahen Flachwasser wegen des an Bedeutung zunehmenden Seehandels gelotet.

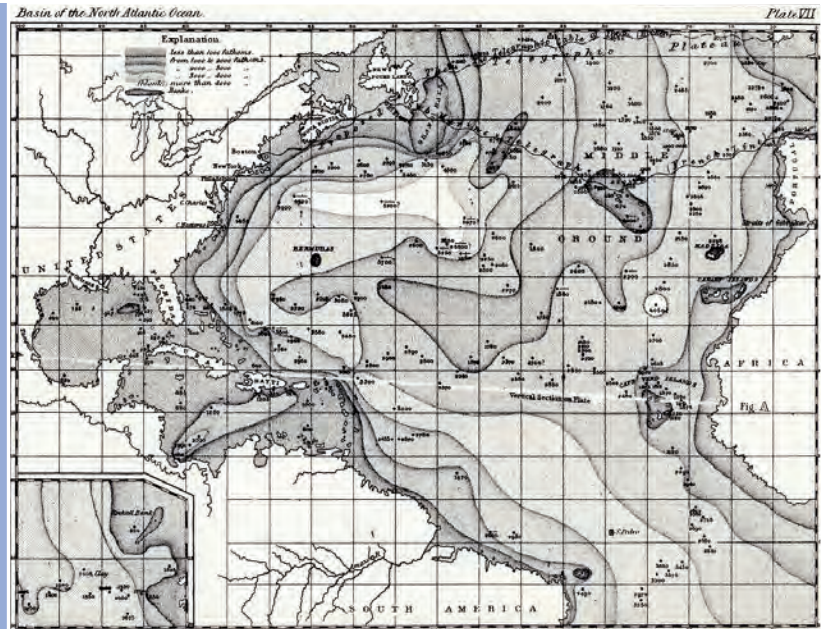
Der Beginn systematischer Lotungen im tieferen Ozean wurde ebenfalls durch wirtschaftliches Interesse initiiert. Die Vorbereitungen zur Verlegung des ersten transatlantischen Seekabels zwischen Nordamerika und Europa führten 1854 zur ersten Tiefenkarte des Nordatlantiks.

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts dominierte die Vorstellung in der Wissenschaft, dass es unterhalb von 500 m Tiefe kein Leben im Meer geben könne. Diese Theorie wurde 1869 durch Wyville Thompson während der Reise der HMS „Porcupine“ widerlegt, auf der Lebewesen aus 2.500 Faden (4.600 m) Tiefe geborgen wurden.

Diese faszinierende Erkenntnis führte zur Expedition des britischen Forschungsschiffes HMS „Challenger“, das während seiner Forschungsreise (1872-1876) 492 Drahtlotungen in der Tiefsee mit einem 100 kg schweren Bleilot durchführte.

aus Meyers Enzyklopädischem Lexikon (1976):

Ozeanographie: Wissenschaft vom Meer; im engeren Sinne als physische Ozeanographie die Erforschung und Darstellung der physikalischen und chemischen Erscheinungen und Vorgänge im Weltmeer sowie der Morphologie des Meeresbodens und des maritimen Wettergeschehens; im weiteren Sinne gehört zur Ozeanographie auch die Meeresgeologie, die Meeresphysik und die Meeresbiologie.



Erste Tiefenkarte des Atlantik - M.F. Maury (1854)

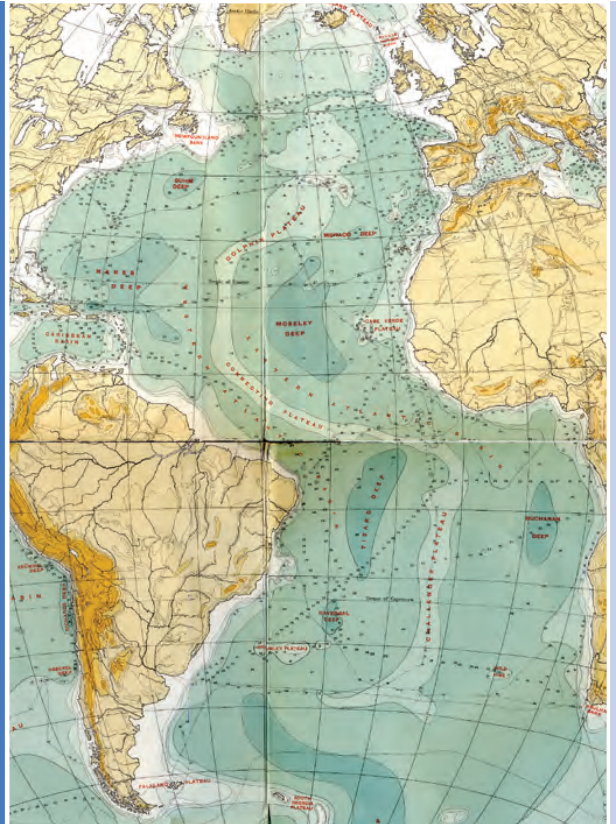
Deutschlands Einstieg in die Tiefseeforschung erfolgte im Juni 1874, als die SMS „Gazelle“ die Kaiserliche Werft in Kiel mit dem Ziel Auckland-Inseln verließ (1874-76).

Die zweite Entwicklungsphase der Ozeanographie wurde durch die „Deutsche Atlantische Expedition“ 1925 - 27 mit der „Meteor“ eingeleitet (s. Seite 15), die mit dem Südatlantik erstmals einen sehr großen Meeresraum detailliert vermaß. Die Entwicklung der Tiefenmessung war für das Verständnis des Systems Erde von grundlegender Bedeutung. Die detaillierte Kartierung der Ozeane führte in den 1960er Jahren zum Modell der Plattentektonik, das Alfred Wegeners Theorie der Kontinentalverschiebung von 1912 in weiten Teilen bestätigte. Doch ein Problem bei der Seevermessung war bis zur Einführung der Satellitennavigation Anfang der 1990er Jahre die Ortsbestimmung. Die zuvor üblichen

Tiefenkarten aus dem Atlantik

Methoden mit Sextant, Chronometer und nautischen Tafeln zeigte insbesondere fern der Küste große Ungenauigkeiten. Auch die in den 1990er Jahren eingeführten Verfahren der Funknavigation und der ersten Satellitennavigation führten noch zu Ungenauigkeiten von bis zu 1,8 km, was einer Fläche von 10 km² entspricht.

Die erste systematische Vermessung im tieferen Ozean wurde von dem amerikanischen Kaufmann Cyrus Field initiiert, der von der Idee fasziniert war, das erste transatlantische Telegraphenkabel zu verlegen. Für diese Idee gewann er Matthew Fountaine Maury, der das Karten- und Instrumentendepot der US-Marine in Washington leitete. Zur Lokalisierung einer geeigneten Trasse ließ Maury Handlotungen vornehmen. 1854 erschien die erste Tiefenkarte, eine sogenannte bathymetrische Karte, des Nordatlantiks, 1866 stand die Telegraphenverbindung zwischen Irland und Neufundland.



Tiefenkarte des Atlantik der „Challenger“ (1885)

Die Expeditionsergebnisse zeigten einen ersten umfassenden Einblick in die Natur der Ozeane und erbrachten die erste Tiefenkarte des gesamten Atlantischen Ozeans (1885).

Diese Karte zeigte erstmals das zentrale Rückensystem im Atlantik, wodurch Maurys Darstellung des Atlantischen Ozeans als Kontinente trennender Trog widerlegt war. Vom Juli 1898 bis Mai 1899 führte der Breslauer Zoologe Prof. Dr. Carl Chun die „Deutsche Tiefsee-Expedition“ durch.



HMS „Challenger“

1853 organisierte Maury den ersten ozeanographischen Kongress in Brüssel, 1855 veröffentlichte er das erste Lehrbuch für Meereskunde. Die Expedition der „Challenger“ (1872 - 1876) gilt als die erste ozeanische Expedition.

Eigentlich müsste die Erde besser „Ozean“ heißen, da über 70 % unseres Planeten vom Meer bedeckt ist. Die Fläche des Atlantiks mit 82 Mio. km² entspricht etwa der doppelten Fläche von Europa und Asien. Der Pazifik bedeckt mit ca. 165 Mio. km² Fläche etwa ein Drittel der Erdoberfläche. Die durchschnittliche Tiefe des Weltozeans beträgt 3.800 m (bezogen auf N.N.), die durchschnittliche Höhe des Festlands beträgt 840 m.

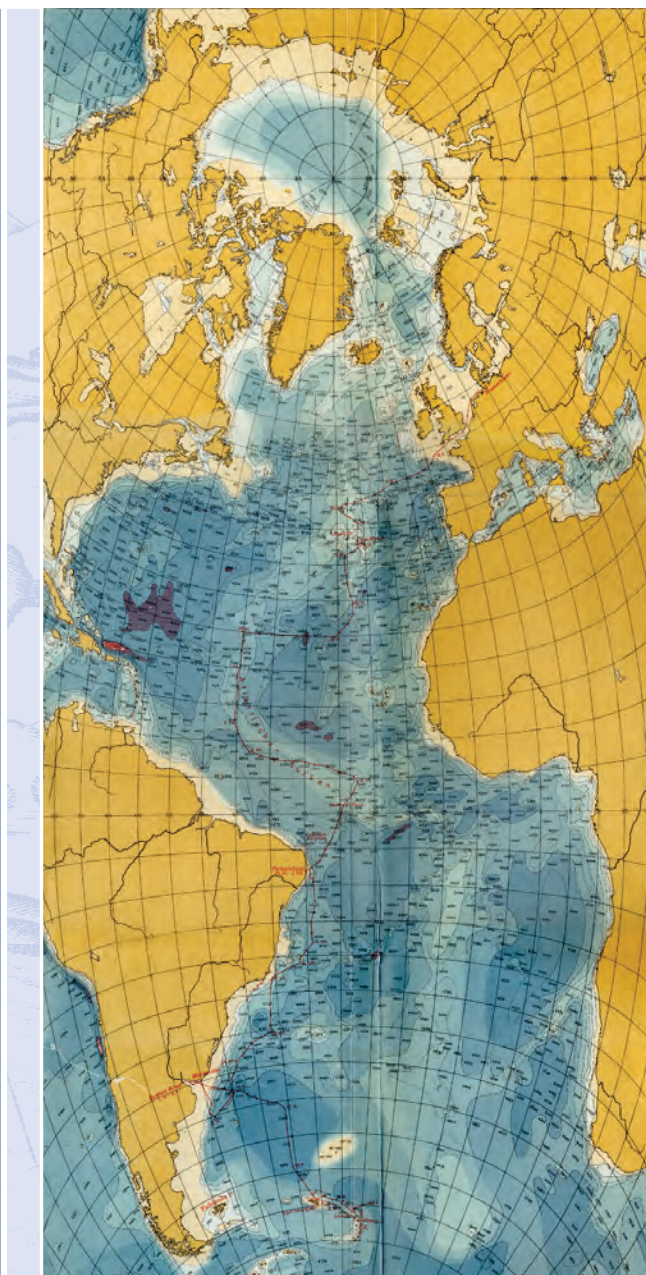
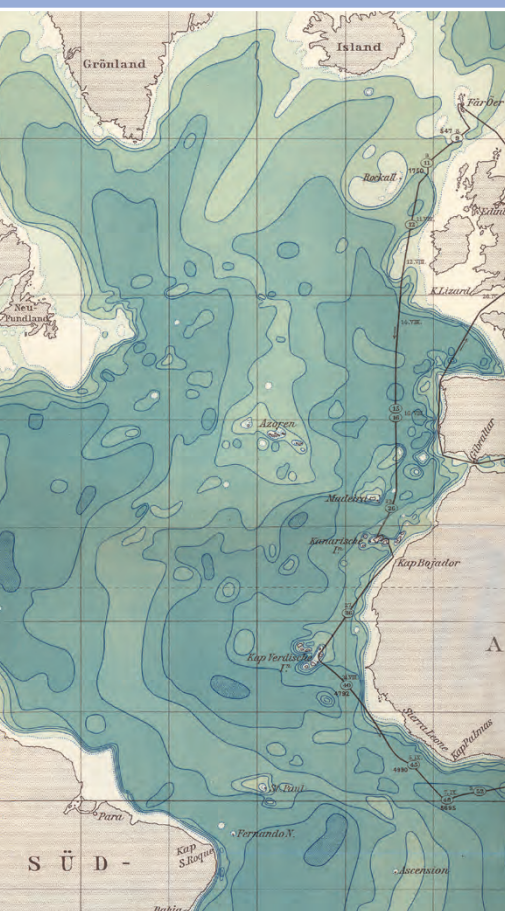
Im Rahmen der Publikation der Ergebnisse wurde von Dr. Carl Schott 1900 eine neue Tiefenkarte des Atlantischen, Indischen und Stillen Ozeans publiziert. 1912 wurden alle weltweit publizierten Drahtlotungen von Dr. Max Groll am Berliner Institut für Meereskunde auf ihre Qualität überprüft. 6.000 von ihm ausgewählte Tiefenmessungen führten zu seiner Tiefenkarte des Atlantischen, Indischen und Stillen Ozeans.

1899 wurde auf dem VII. Internationalen Geographen-Kongress in Berlin die Herstellung der „General Bathymetric Chart of the Oceans“ (GEBCO) als

Grundlage für die einheitliche Darstellung der Meerestiefen beschlossen. Nach 1904 (18.400 Lotungen), 1927 (29.000 Lotungen), 1955 (370.000 Lotungen) und 1958-67 (unvollständige Ausgabe) erschien 1975-82 (über 28 Mio. Lotungen) die fünfte Ausgabe, die von der Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) der UNESCO bzw. der International Hydrographic Organisation (IHO) herausgegeben wurde.

Die GEBCO-Karte kann man heute als digitalen Atlas erwerben.

Atlantik Tiefenkarte mit der Route der „Valdivia“ von Dr. C. Schott (1900)



Tiefenkarte des Atlantik von Dr. M. Groll (1912),
Berliner Institut für Meereskunde

Bei der Bestimmung von Tiefen bis über 40 m wurden statt der leichten Handlote die schwereren Tiefenlote benutzt. Das größere Gewicht ist in der größeren Tiefe nötig, um beim Aufschlagen auf Grund die Erleichterung der Leine bis oben fühlen zu können. „Challenger“ und „Gazelle“ haben ein Schwerelot von 45 kg noch bis zu Tiefen von 2000m benutzt (W. Stahlberg, 1900)

Der Erfinder des Echolotes

von Dr. Jörg Schimmler

Dass Wasser den Schall hervorragend leitet, war schon 1490 Leonardo da Vinci aufgefallen. Es dauerte noch mehr als 400 Jahre, bis das Interesse an der Nutzung des Schalls im Wasser erwachte.

Am Anfang stand die Messung der Schallgeschwindigkeit im Wasser. Die Schweizer Mathematiker Jean-Daniel Colladon und Charles François Sturm bestimmten sie 1826 im Genfer See auf gut 1400 m/s. Mit der bekannten Schallgeschwindigkeit und der gemessenen Laufzeit ergibt sich die zurückgelegte Schallstrecke.

*Dieser Sachverhalt hatte den amerikanischen Mathematiker Charles Bonycastle schon 1838 auf die Idee gebracht, die Meerestiefe mit Schallimpuls und Stoppuhr zu messen, allerdings scheiterten seine Versuche, entsprechende Ideen und Versuche Anderer führten nicht zum Ziel. Es sollte noch einmal fast 80 Jahre dauern, bis der gebürtige Mecklenburger **Alexander Behm** auf diese Weise in der Kieler Förde die Tiefe lotete und einen Apparat schuf, den er „Echolot“ nannte.*

Dr. Alexander Behm (1880 - 1952)



Das Behmlot

Der 1880 im mecklenburgischen Sternberg als Sohn eines Postbeamten geborene Alexander Behm erlebte in der Umgebung von Parchim eine glückliche Jugend.

Seine Leistungen in der Schule waren sehr mäßig. Das besserte sich nicht, als der Vater in das damals preußische Hadersleben (heute das dänische Haderslev) versetzt wurde. Es gab eine Ausnahme: Die Physik faszinierte den ansonsten schwachen Schüler. Sein hervorragender Physiklehrer experimentierte und publizierte sogar mit seinem begabten Schüler. Mit seiner Unterstützung schaffte Behm wenigstens die Mittlere Reife.

So war Kiel seit der Jahrhundertwende neben Boston eines der beiden ersten eigenständigen Wasserschallzentren der Welt. Wegweisende Erfindungen und Entwicklungen, auf denen die moderne meeresakustische Vermessung ebenso wie die Sonartechnik beruht, stammen von Alexander Behm, Heinrich Hecht und Hugo Lichte (P. Wille, 1994)

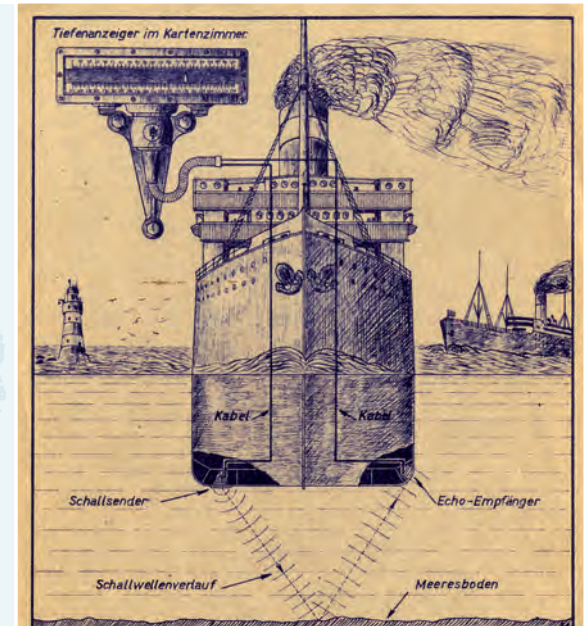
Trotz fehlenden Abiturs erreichte Behm wegen seiner Vorkenntnisse die Aufnahme als Student der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Karlsruhe. Nach wenigen Monaten wurde Behm Assistent und begann, sich mit der Akustik zu befassen. Sein Sonometer, ein Gerät zur Messung von Schallstärken, und ein Artikel in den „Annalen der Physik“ erregten Aufsehen. Ein verlockendes Angebot aus der Baustoffindustrie bewog Behm, sein Studium nach zwei Jahren abzubrechen. Acht Jahre leitete er ein Versuchslabor in einer Korksteinfabrik in Wien und befasste sich mit Schall- und Wärmedämmung. Zivile und militärische Anwendungen des Wasserschalls für Navigation, Kommunikation und Ortung gewannen insbesondere mit Entwicklung von U-Booten an Bedeutung. Behm beendete seine Tätigkeit in der Korksteinfabrik.

Die Titanic-Katastrophe im April 1912 löste weltweites Entsetzen aus. Eisberg-Warnsysteme sollten solche Unglücke verhindern.



Titelblatt der Zeitschrift „Technischer Ansporn“ von 1951

Behm wurde gebeten, ein schallbasiertes Eisberg-Warnsystem zu entwickeln. Er schätzte jedoch die Erfolgsaussichten als gering ein, kam aber auf die Idee, die Meerestiefe mit Schall zu messen. Er begann in Wien mit vorbereitenden Arbeiten. Im September 1912 reichte er in Österreich ein Patent für ein Lotverfahren ein. Die Bemühungen, für seine Arbeiten die notwendige materielle Unterstützung zu



Skizze aus dem Behm-Nachlass, Stadtmuseum Kiel

erhalten, führten in Kiel zu einer Übereinkunft mit Hermann Anschütz-Kaempfe, dem Erfinder des Kreiselkompasses, der die Entwicklungsarbeit Behms finanziell und materiell nachhaltig förderte.

Behm machte zunächst die Schallstärkenmessung mit dem Sonometer, seinem Spezialgebiet, zum Ausgangspunkt der Tiefenmessung mit Wasserschall. Die Schallstärke des Echos sollte die Wassertiefe anzeigen. Die naheliegende Messung der Laufzeit des Schalls zum Grund und zurück, die Echozeit, schien ihm unmessbar kurz zu sein.



Dr. Behm mit einem Mitarbeiter

Doch hat man einmal eine Idee gefaßt, so arbeitet sie auch im Unterbewußtsein weiter, und so war es auch bei mir. Eines Tages ging ich mit meiner Frau in Wien, wo ich damals wohnte, auf der Maria-Hilfer-Straße spazieren, als ich sie plötzlich am Arm packte: „Du, ich habe eine Idee. Mit dem Eisbergsuchen, das ist nichts, aber man könnte doch einmal versuchen, ein Echo vom Meeresgrunde aufzufangen und aus der Stärke desselben oder aus der Echozeit die Wassertiefe zu ermitteln. Das wäre ein Verfahren, an dem doch die gesamte Schifffahrt interessiert sein müßte.“ (Alexander Behm, Technischer Ansporn 1951)

DR. *ALEXANDER* BEHM (1880 – 1952)

13

Dr. Alexander Behm

Die Abschwächung der Schallstärke hängt jedoch nicht nur von der Wassertiefe, sondern auch von der Beschaffenheit des Meeresbodens ab.

Behm musste sein Konzept aufgeben und nun doch die kurzen Echozeiten höchst genau messen. Das Sonometer zeigte nur den Knall einer Sprengpatrone und danach das Eintreffen des Echos an. Die Anzahl der Schwingungen einer Stimmgabel maß die Zeitspanne dazwischen. Die Messungen wurden auf Fotopapier aufge-

zeichnet und die Wassertiefe konnte aus den Fotogrammen bestimmt werden.

Nach endlosen Versuchen und vielen Rückschlägen gelang Ende 1915 auf der Kieler Förde die erste Lotung.

Aus der Versuchsanordnung mit Sonometer und Stimmgabel entstanden die ersten funktionstüchtigen Apparate, die Behm als Echolote bezeichnete. Die Marine bestellte vier Echolote, die jedoch wegen des Kriegsendes nicht mehr ausgeliefert wurden.



Behm-Echolot-Fabrik mit Belegschaft



Mag auch später die weitere technische Ausgestaltung der Behmschen Echolotmethode durch die Großindustrie aller Länder mit ihren unbegrenzten wissenschaftlichen und geldlichen Mitteln übernommen sein, so beruht das die unvergängliche Leistung von Behm ebenso wenig, wie etwa die weitere Entwicklung des Kraftwagens, des Rohölmotors oder des Luftschiffes die Leistungen von Benz, Diesel oder Zeppelin (J. Georgi, 1941)

DR. *Alexander* BEHM (1880 – 1952)

14 Dr. Alexander Behm

Für den praktischen Einsatz auf zivilen Schiffen schuf Behm das direkt anzeigende Echolot mit einem neu entwickelten Kurzzeitmesser. Auf Knopfdruck konnte auf der Kommandobrücke die Wassertiefe auf einer Skala abgelesen werden.



Höhenmessung im Luftschiff mittels Behm-Luftlot

Mehrere Expeditionen setzten von Behm speziell konstruierte Echolote ein. Roald Amundsen maß die Meerestiefe vom Polareis aus. Für General Nobile entwickelte Behm ein Echolot, das vom Luftschiff zur Messung der Meerestiefe herabgelassen werden konnte. Die schwedische Sandström-Expedition entdeckte mit einem Behm-Lot die Ostgrönland-Rinne.

Die Vorführung im Juni 1920 auf der Kieler Förde begründete Behms Erfinderruhm und war Beginn einer erfolgreichen Entwicklung von Echoloten für Schiffe. Behm gründete in demselben Jahr die Behm-Echolotgesellschaft und die Behm-Echolot-Fabrik, die die Produktion der Behm-Echolote aufnahm.

Der Erfinder erkannte schnell, dass die Abstandsmessung durch Messung der Echozeit auch für den Luftverkehr von größter Bedeutung war.

Seine Luftlote dienten Luftschiffen und Flugzeugen als Höhenmesser, die unabhängig von Luftdruckschwankungen waren. Für diesen Beitrag zur Verbesserung der Flugsicherheit wurde Behm in den Niederlanden und in Frankreich ausgezeichnet.



Die Verleihung der Ehrendoktorwürde durch die Medizinische Fakultät der Universität Kiel im Jahre 1928 war eine besondere Anerkennung für den Erfinder, der so manchen Rückschlag erlebt hatte.

Anfang der dreißiger Jahre kam die Entwicklungsarbeit mit über 100 Patenten zum Abschluss. Behm widmete sich seinen Leidenschaften für das Angeln und Jagen.

Während des Zweiten Weltkriegs übernahm die Echolotfabrik Aufträge der Rüstungsproduktion. Behm zog sich aus der Leitung seines Unternehmens zurück. Nach dem Krieg fertigte und vertrieb die Echolotfabrik Echolote, die der Physiker Siegfried Fahrentholz entwickelte.

Die letzten Lebensjahre verbrachte Behm mit seiner Frau in seiner Fischerhütte am Oberlauf der Treene bei Tarp.



Am 22.1.1952 verstarb Dr. med. h.c. Alexander Behm in der Universitätsklinik Kiel.

Heute muss jedes Schiff über 300 BRT über ein sogenanntes Navigationslot (Echolot) verfügen. Fällt dieses Gerät aus, darf das Schiff nicht mehr in Küstennähe navigieren. Das deutsche Küstengebiet und die Bundeswasserstraßen im Binnenland werden regelmäßig mit Echoloten vermessen, um der Schifffahrt die Sicherheit der garantierten Wassertiefe zu geben.

Die Deutsche Atlantische Expedition

Nach der englischen „Challenger“-Expedition (1872–76), die die Ozeanographie als Forschungsrichtung etablierte, wurde 1925 mit der deutschen „Meteor“-Expedition die zweite Epoche der Meeresforschung eingeleitet.

Erstmals wurde mit dem Südatlantik ein sehr großer Meeresraum systematisch vermessen und untersucht. Zu diesem Zweck stattete man die „Meteor“ mit dem Freilot, dem Behm-Lot, dem Signal- und dem Atlas-Ultraschall-TiefseeLOT aus. Neben der hydroakustischen Technik nahm man zur Sicherheit zusätzlich zwei Lotmaschinen mit an Bord. Vom 16. April 1925 bis zum 2. Juni 1927 fuhr die „Meteor“ 13 Mal zwischen verschiedenen

Punkten an den Küsten Afrikas und Südamerikas hin und her und nahm dabei 67.000 Tiefenmessungen vor. Der größte Teil dieser Messungen wurde mit den Ultraschall-Echoloten vorgenommen. Vor allem auf der Basis dieser Daten publizierten Theodor Stocks und

Georg Wüst 1934 die erste moderne Tiefenkarte des Atlantik. Die „Meteor“-Daten zeigten die bis dahin detaillierteste Darstellung des mittelatlantischen Rückens als untermeerischen Gebirgszug zwischen den Kontinenten.



Das Forschungsschiff
HMS „Meteor“

Wie tief ist das Meer?

Das Weltmeer zeigt typische Tiefenbereiche. Die Küsten sind Teil des Schelfbereiches, der die Kontinente wie eine Treppenstufe zwischen Festland und Tiefsee umgibt. Seine Breite variiert um bis zu 200 km, seine Tiefe reicht bis ca. 200 m hinab. 92 % der Ozeane sind tiefer als 200 m. Mit einem scharfen Knick im Gefälle schließt sich hier der Kontinentalhang an, eine steile Böschung, die bis in die Tiefsee-Ebenen hinabführt.

Die durchschnittliche Wassertiefe der Tiefsee, die in ca. 1.000 m Tiefe beginnt und etwa 60 % der Ozeane einnimmt, beträgt 3.000 - 5.000 m. Aus dieser ragen mit durchschnittlichen Höhen um 2.500 - 3.000 m die Ozeanischen Rücken auf. Die Tiefseeegräben erstrecken sich bis in Tiefen zwischen 8.000 und 11.000 m.



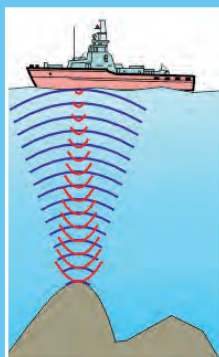
Tiefenkarte des Atlantik unter besonderer Berücksichtigung der „Meteor“-Tiefendaten von Drs. T. Stocks und G. Wüst (1934)

„Meer: Hat keinen Grund. Abbild des Unendlichen. Gibt große Gedanken ein. Am Meeresufer braucht man immer ein Fernrohr. Beim Betrachten sage man stets: Nichts als Wasser! Nichts als Wasser!“ (Gustave Flaubert, 1821-1880)

Echolote und Fächerlote

Echolote und Fächerlote in Flachwasser und Tiefsee

Das Grundprinzip der Echolotung besteht darin, dass ein Schallimpuls ins Wasser gegeben und sein Echo an der Wasseroberfläche aufgefangen wird. Der Zeitraum zwischen beiden Ereignissen wird gemessen. Die Wassertiefe (h) ergibt sich aus einer bekannten Schallgeschwindigkeit (c) und der gemessenen Laufzeit (t) des Schallsignals $h = 1/2 (c t)$.



Funktion des Echolotes

Die Genauigkeit der Tiefenmessung ist abhängig von der Zeitmessung, der Bündelung der Schallwellen, der Schiffsbewegung, der Form des Meeresbodens und der durchschnittlichen Schallgeschwindigkeit. Letztere ist wiederum abhängig von der Temperatur und dem Salzgehalt des Wassers. Da sich der Wasserstand ändert, müssen die gemessenen Tiefen auf ein Bezugsniveau ausgerichtet sein.

Das Echolot hat seit seiner Erfindung an der Jahreswende 1912/13 eine rasante Entwicklung erlebt. Bereits in den 20er Jahren wurde Ultraschall genutzt, wodurch der Schall stärker gebündelt und somit präzisere Messungen ermöglicht wurden. Zusätzlich wurden die Methoden zur Aufzeichnung der Daten immer weiter verbessert: aus dem Echolot wurde der Echograph, der durch die Aneinanderreihung der aufgezeichneten Daten die Konturen des Meeresbodens in Form eines Profils darstellte.

Bei einer Wassertiefe von 5.000 m konnten 1830 maximal 5 Handlotungen pro Tag durchgeführt werden, nach Einführung der Lotmaschine um 1900 erhöhte sich dieser Wert auf 16 Drahtlotungen. Heute liefert ein modernes Fächerlot bei dieser Wassertiefe ca. 1 Mio. Messungen pro Tag, im Flachwasser bis zu 10.000 Tiefenwerte pro Sekunde, also 864 Mio. Daten pro Tag.

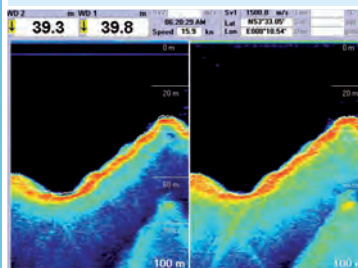


Echolot-Profil des mittelozeanischen Rückens (1958)

Anfang der 1950er Jahre begannen die Physiker Harold Farr und Paul Froehlich im Auftrag des amerikanischen Militärs ein Mehrstrahl-Echolot zu entwickeln. Dieses sendet eine Reihe von Impulsen aus, so dass ein breiter Streifen des Meeresbodens gleichzeitig erfasst wird. Das erste Mehrstrahl-Echolot, das den Namen „SEA BEAM“ erhielt, konnte ab 1965 anhand von 61 einzelnen Fächern eine Breite von bis zu sechs Kilometern vermessen. Das System blieb jedoch dem Militär vorbehalten und wurde erst 1981 auf einem amerikanischen Forschungsschiff installiert.

Heute können die Fächerecholote über 200 einzelne Fächer erzeugen. Damit erreicht man eine Abdeckung bis zum 5-fachen Wert der Wassertiefe. Bei großen Tiefen kann ein 31 km breiter Streifen gleichzeitig kartiert werden. Um kleinste Strukturen am Meeresboden der Tiefsee aufzeichnen zu können, werden heute Tauchboote mit Fächerloten aus-

stattet, die in wenigen Metern Abstand zum Meeresgrund den Boden der Tiefsee sehr detailliert vermessen.



Echolotanzeige mit Darstellung des Tiefenprofils mittels verschiedener Frequenzen

Die Vermessung der Ozeane

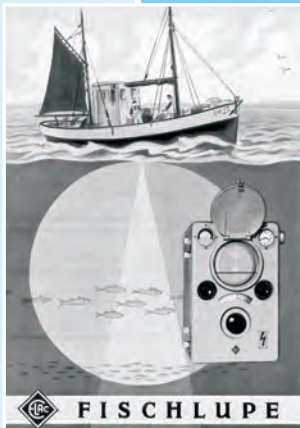
von Dr. Ingo Klaucke, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Landmassen und sogar die Wasseroberfläche können heutzutage mit Satelliten mit einer räumlichen Auflösung von weniger als einem Meter vermessen werden. Der Meeresboden bleibt diesen Systemen jedoch verborgen, da elektromagnetische Wellen im Wasser sehr stark gedämpft werden.

Unsere Kenntnisse der Topographie des Meeresbodens ist daher nur sehr ungenau und basiert auf der Satellitenvermessung der Meeresoberfläche.

Untermeerische Gebirge haben eine leichte Aufwölbung der Wasseroberfläche zur Folge und diese kann von Satelliten sehr genau erfasst werden. Details gehen dabei allerdings verloren und die genaue wissenschaftliche Untersuchung des Meeresbodens beruht daher auf der Verwendung akustischer Signale und damit verschiedenen Abwandlungen und Weiterentwicklungen des Echolotes.

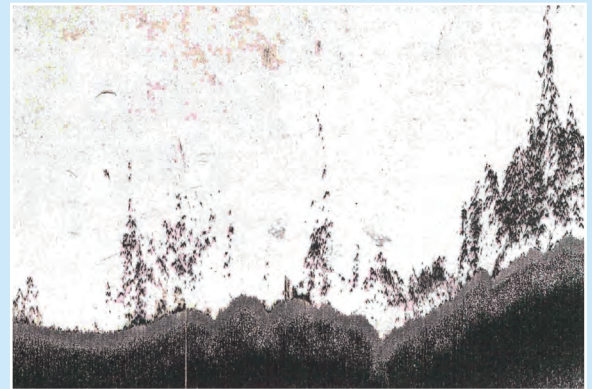
Dabei handelt es sich um Navigations- und Fischereiloten, Sedimentecholote, Fächerecholote und Seitensichtsonare.



Die ELAC Fischlupe

Navigations- und Fischereiloten

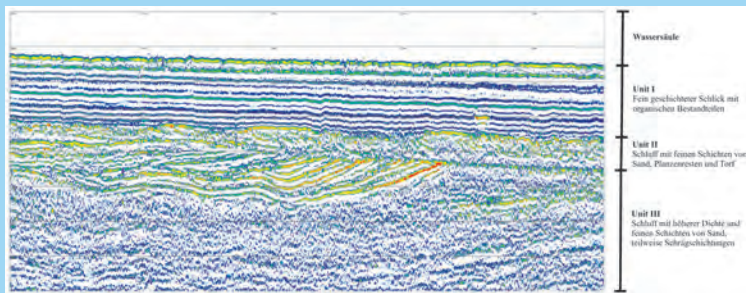
Das Echolot wurde ursprünglich entwickelt, um ein Frühwarnsystem für Eisberge an Bord von Schiffen zu haben. Recht schnell stellte sich jedoch heraus, dass die vielen Echos von Wellen an der Wasseroberfläche eine genaue Ortung von Eisbergen unmöglich macht. Jedoch erwies sich das neue Echolot sehr schnell als ein ideales Werkzeug für die Bestimmung der Wassertiefe.



Echogramm mit Heringsschwärmen

Das klassische Echolot wird auch heute noch genutzt. Viele Handelsschiffe sind mit einem Navigationslot ausgestattet um beim Navigieren in unbekanntem Gewässern mögliche Untiefen erkennen zu können, oder auch um beim Anlaufen eines Hafens mit großen Tidenunterschieden den Tiefgang zu überprüfen. Echolote werden auch in der Fischerei genutzt, um große Fischschwärme aufzuspüren, da

aus der ELAC Echolotfibel (1982): *Fische und die meisten anderen Wasserorganismen geben bereits auf Grund ihrer stofflichen Zusammensetzung ein weniger starkes Echo als die meisten anderen im Wasser vorkommenden toten Gegenstände. [...] Ein Fischschwarm gibt um so stärkeres Echo, je dichter er ist. Ein Fischschwarm gibt stärkeres Echo als ein Einzelfisch dieses Schwarmes. Ein grosser Fisch gibt stärkeres Echo als ein kleiner.*



Echogramm eines 8 kHz Sedimentlotes, aufgenommen in der Mecklenburger Bucht

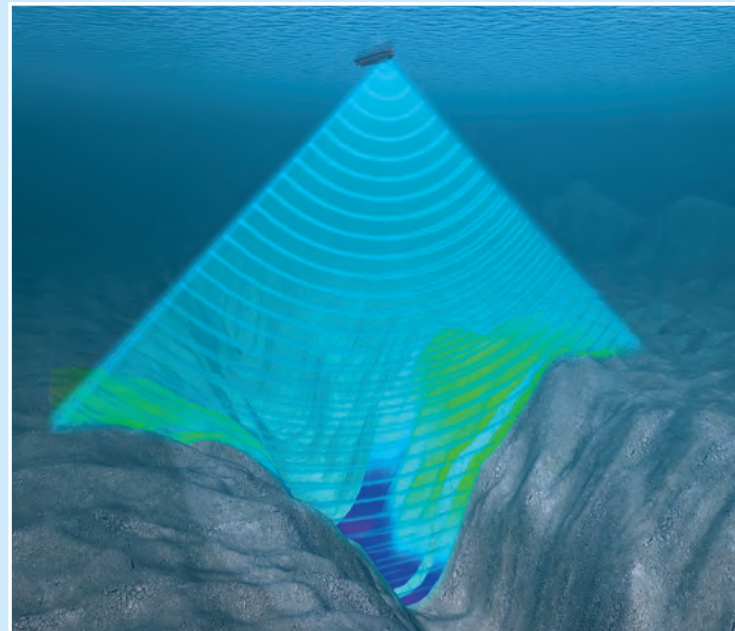
die Schwimmblase der Fische ein deutliches Echo erzeugt. Solche Fischereilote arbeiten üblicherweise mit Signalen von 38-60 kHz und werden auch in der Forschung genutzt, um beispielsweise den Aufstieg von Gasblasen in der Wassersäule zu erkennen und teilweise auch zu quantifizieren.

Sedimentecholote

Das klassische Echolot diente dazu, die Wassertiefe zu bestimmen. Bei Echoloten, die mit einem Signal von 12 kHz oder weniger arbeiten, wird das Signal nicht nur am Meeresboden reflektiert, sondern ein Teil der akustischen Energie dringt auch in den Untergrund ein und wird an tieferen Grenzflächen reflektiert. Es entsteht dabei ein Abbild der Strukturen im Untergrund. Wie viel Energie am Meeresboden reflektiert wird und wie viel davon in den Untergrund eindringt hängt stark vom Impedanzkontrast (Impedanz ist das Produkt aus Schallgeschwindigkeit und Dichte) am Meeresboden ab. Dieser Kontrast ist bei festen Gesteinen wie z.B. Lavaflüssen sehr groß, sodass sich diese Methode vor Allem für die Untersuchung von Lockergesteinen (Schlamm, Sand, Kies) eignet. Anhand der Echogramme von diesen Sedimentecholoten können nicht nur Aussagen über die Strukturen und Ablagerungsschichten im Untergrund gemacht werden, sondern auch grobe

Aussagen über die am Meeresboden oder im Untergrund anzutreffenden Sedimente (eher grob- oder eher feinkörnig, glatte oder raue Oberfläche). Je geringer die Frequenz, desto höher ist dabei die Eindringtiefe des Signals. Eine geringe Frequenz bedingt jedoch auch einen großen Abstrahlwinkel von bis zu 30 Grad, worunter die Auflösung, vor Allem in tiefem Wasser, leidet.

Höhere Frequenzen erlauben einen geringeren Abstrahlwinkel, werden in den Sedimenten jedoch stärker gedämpft, und dringen damit weniger tief ein. Um dieses Problem zu umgehen wurden sogenannte „parametrische Echolote“ entwickelt, bei denen sich zwei Ausgangsfrequenzen in der Wassersäule überlagern und dabei ein sekundäres Signal erzeugen. Die Frequenz dieses sekundären Signals wird



3D-Darstellung einer Fächerlotdetektion im Tiefwasserbereich

Das GEOMAR Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung Kiel nutzt Sedimentecholote in unterschiedlichen Bereichen. So kommt die Methode zum Einsatz bei der Vermessung der Landschaften am Meeresboden, um so geeignete Lokationen für die Beprobung z.B. durch Schwerelote zu ermitteln. Speziellere Fragestellungen betreffen die Erforschung gashydratreicher Sedimentschichten oder die Suche nach vulkanischen Aschelagen im Ozeanboden.



von der Differenz der Ausgangssignale bestimmt, sein Abstrahlwinkel entspricht jedoch diesen hochfrequenten Ausgangssignalen. Eine weitere Möglichkeit die Auflösung eines Sedimentcholotes zu erhöhen besteht darin, Sender und Empfänger näher an den Meeresboden zu bringen.



Fächerecholote

Ziel der Entwicklung von Fächerecholoten war es, die Zahl gleichzeitig gewonnener Tiefenmessungen entlang eines Profils zu erhöhen. Dabei werden

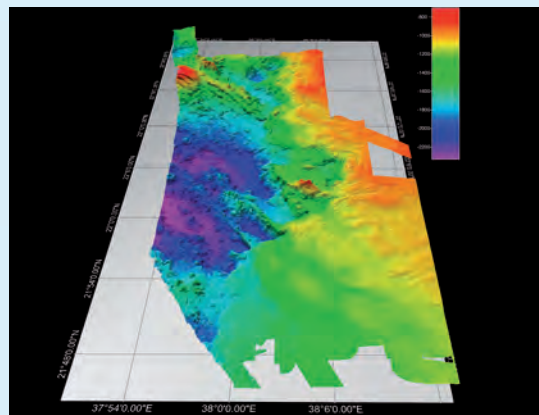
nebeneinander mehrere Stellen des Meeresbodens mit Hilfe eines Echolotes vermessen. Dies kann sowohl physikalisch geschehen, d.h. mehrere Echolote werden in einer Reihe quer zum Schiff angebracht, als auch elektronisch, wobei die Empfänger so orientiert und abgeschirmt sind, dass sie nur Echos aus einem bestimmten Winkel, und damit nur einer kleinen Stelle des Meeresbodens, empfangen. Da in diesem Fall, entgegen dem klassischen Echolot, die akustische Welle nicht nur senkrecht sondern auch in einem mehr oder weniger steilen Winkel auf sogenannte Sprungschichten (Grenzflächen im Wasser an denen sich dichte, Salzgehalt



FS POSEIDON während der Installation des Fächerlotes und der dazugehörigen Sende- und Empfangseinheiten

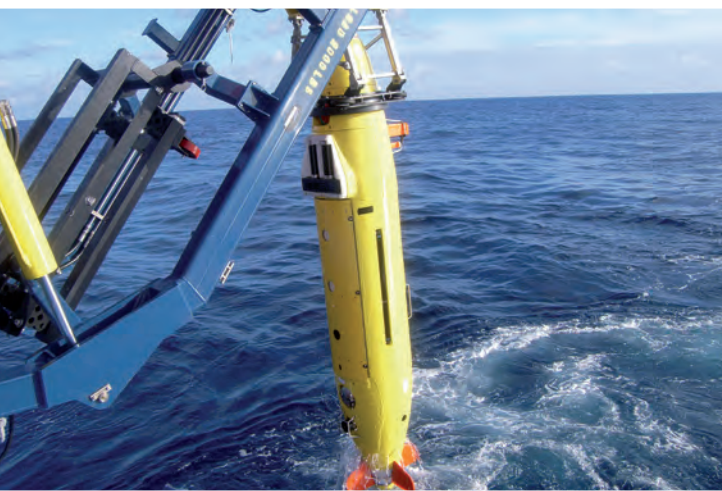
und Temperatur stark ändern) treffen und dort gebrochen werden, ist die genaue Kenntnis des Wasserschallprofils, d.h. der vertikalen Änderung der Wasserschallgeschwindigkeit, eine Voraussetzung für die korrekte Wassertiefenbestimmung. Dazu kommt eine genaue Kenntnis der Orientierung und der Bewegungen des Schiffes zwischen Senden und Empfang des akustischen Signals. Ein möglichst genauer Bewegungssensor ist daher ebenfalls unerlässlich. Moderne Fächerlote für das Flachwasser arbeiten heute mit Frequenzen im Bereich von mehreren Hundert Kilohertz und erreichen eine Auflösung im Bereich von Dezimetern. Dies ist nur möglich, wenn auch die Positionsbestimmung des Schiffers per GPS bis auf wenige Zentimeter genau ist.

Fächerecholote, die auch die tiefsten Stellen der Ozeane vermessen können, arbeiten üblicherweise mit 12-50 kHz Signalen, wodurch die Sender-Empfänger-Einheiten mehrere Meter lang sind. Während



50 kHz Fächerlotdaten vom Hatiba Deep (Rotes Meer), FS POSEIDON

Die in den 60er Jahren von der US-Firma General Instruments und nachfolgend unter dem Namen SEA BEAM für den kommerziellen Markt weiterentwickelte Fächerlottechnologie wird heute von der Firma L-3 ELAC Nautik am Kieler Standort produziert und weltweit vertrieben. Die Kieler Fächerlotanlagen dienen der Kartierung von flachen Gewässern bis hin zur Tiefsee und werden weltweit auf allen Gewässern bis hin zum Polarmeer eingesetzt.



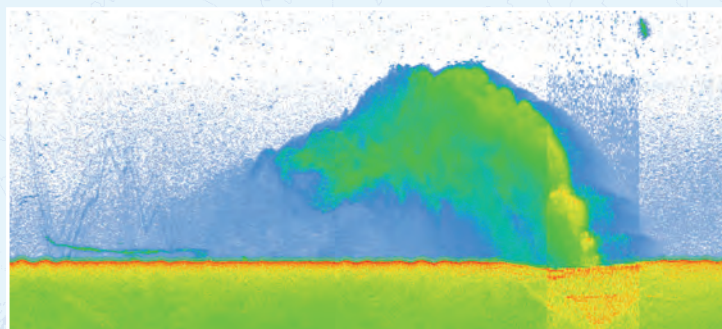
Autonomous Underwater Vehicle (AUV) „ABYSS“

die ersten Fächerecholote noch mit nur 12 gleichzeitigen Messungen auskommen mussten, werden bei modernen Fächerloten bis zu 800 Tiefenmessungen gleichzeitig gewonnen, wobei die vermessene Fächerbreite das bis zu 7-fache der Wassertiefe sein kann. Mit einem einzigen Profil lässt sich daher in der Ostsee (Wassertiefe 30 m) nur ein ca. 200 Meter breiter Streifen kartieren, während er in der Tiefsee (Wassertiefe 4000 m) mehr als 25 km breit ist. Die dabei erzielte laterale Auflösung sinkt allerdings auch von weniger als 1 m auf mehr als 100 m. Auch hier muss das Instrument näher an den Boden gebracht werden, um eine höhere Auflösung zu erzielen.

Dies wird heute meist durch programmierbare, autonome Unterwasserfahrzeuge (sogenannte AUVs) erzielt. Eine weitere neue Entwicklung bei vielen Fächerecholoten geht dahin auch die Wassersäule aufzuzeichnen, da dadurch genauere Erkenntnisse über die Verteilung von beispielsweise Gasaustritten am Meeresboden zu gewinnen sind.

Genau bathymetrische Daten sind auch heute nur von wenigen Gebieten des Meeresbodens verfügbar. Sie sind jedoch die Grundlage für das Studium der Geomorphologie des Meeresbo-

dens und damit der Prozesse, die zu dieser Morphologie geführt haben. Bathymetrische Karten sind auch weiterhin die Grundlage für die moderne meeresgeologische Forschung.



Seitliche Wassersäulen-Ansicht von Gasaustritten in der Nordsee

Seitensichtsonare

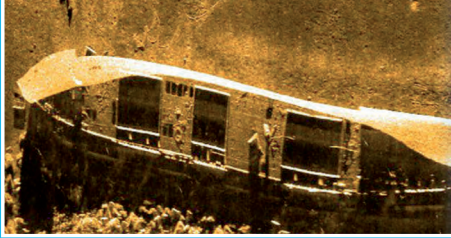
Sonare (für Sound Navigation And Ranging) wurden ursprünglich entwickelt um U-Boote und Minen zu erkennen und zu lokalisieren. Zur Minensuche werden Seitensichtsonare auch heute noch eingesetzt. Sie sind aber auch in der Meeresforschung wichtige Instrumente, um hochauflö-



Typisches Seitensichtsonar

sende, akustische Bilder des Meeresbodens zu erstellen. Ihr Funktionsprinzip beruht darauf, dass ein, von einem Seitensichtsonar, seitlich ausgesandtes Signal am Meeresboden vom Empfänger weg reflektiert wird. Es kommt am

„ABYSS“ ist ein kabelloses, unbemanntes Unterwasserfahrzeug, das die Landschaften am Ozeanboden mit seinem hoch auflösendem Fächerlot sehr detailliert vermessen kann. Zudem unterstützt es die GEOMAR-Wissenschaftler bei der Suche nach Gasaustritten und heißen Quellen am Meeresboden. ABYSS ist nicht mit Kabel mit dem Forschungsschiff verbunden. Es kann autonom die Meeresböden bis in 6000 m Tiefe vermessen. Zur Navigation ist es erforderlich, ein Transponder-system am Meeresboden zu installieren, damit die aufgezeichneten Strukturen mit exakten Ortsangaben verbunden werden können.



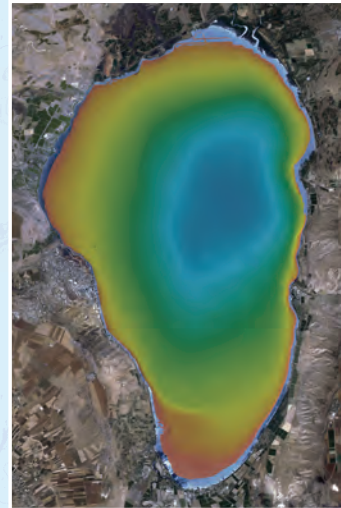
Schiffswrack am Meeresboden, aufgenommen mit einem Seitensichtsonar

Meeresboden allerdings auch zu Streuung an rauen Oberflächen und ein Teil dieser Streuung (die sogenannte Rückstreuung) wird dann vom Empfänger auf dem Seitensichtsonar aufgezeichnet. Die Rückstreuungswerte hängen dabei von der Rauigkeit des Meeresbodens ab, und diese ist ein Maß für die dort anzutreffenden Gesteine. Eine Ebene mit Tiefseeschlamm ist glatter als eine Sandbank oder ein submariner Lavafluss. Ein großer Vorteil dieser Methode ist die sehr hohe Auflösung von 1 m bis zu wenigen Zentimetern, die dabei über einen relativ breiten Streifen des Meeresbodens erzielt wird (bei 1 m Auflösung bis zu 1500 m breit). Die Methode ist daher ideal in flachem Wasser, wo ein Fächerlot nur einen schmalen Streifen kartieren kann. Das Seitensichtsonar muss dabei jedoch nahe am Meeresboden eingesetzt werden, da einerseits sehr hohe Frequenzen zum Einsatz kommen (50 – 1000 kHz), die sehr stark gedämpft werden, und ein flacher Einfallswinkel gewährleistet sein muss. Für einen Einsatz in tiefem Wasser muss daher das Seitensichtsonar nahe an den Boden gebracht werden, entweder durch den Einsatz auf einem AUV oder über ein sehr langes Schleppkabel.

Fazit

Auch wenn das klassische Echolot nur noch selten zum Einsatz kommt, so sind die aus ihm entwickelten Instrumente aus der modernen Meeresforschung nicht mehr wegzudenken. Alle deutschen Forschungsschiffe sind mit einem Fächerecholot ausgestattet, oder können mit einem mobilen System ausgerüstet werden. Zusammen mit Navigations- und Fischereiloten gehören parametrische Sedimentecholote und Fächerecholote mittlerweile zur Standardausrüstung eines modernen Forschungsschiffes.

Fächerecholot, Sedimentecholot und Seitensichtsonar sind auch die wichtigsten Sensoren des AUV ABYSS des GEOMAR, auf dem zusätzlich noch ein tiefgeschlepptes Seitensichtsonar und ein Sedimentecholot zum Einsatz kommen. Die mit diesen Systemen gewonnenen Daten bilden die Grundlage für eine Vielzahl an Meeresforschungsprojekten am GEOMAR.



Fächerlotdaten eines Binnensees, aufgenommen mit einem Fächerlot von L-3 ELAC Nautik

Seitensichtsonare kommen bei sehr unterschiedlichen wissenschaftlichen und angewandten Fragestellungen zum Einsatz. Im Flachwasser z. B. bei der Wracksuche, bei der Untersuchung von Sandwanderungsprozessen oder bei den Auswirkungen der Grundfischerei auf den Meeresboden. In der Tiefsee wurde ABYSS bei der erfolgreichen Suche der Wrackteile des im Atlantik abgestürzten Airbus-Flugzeugs eingesetzt. Zudem werden Tiefsee-Sonare bei der Erforschung von Manganknollenfeldern und Schwarzen Rauchern im Pazifik eingesetzt.

Theorien zur Entstehung der Ozeane

Die Geschichte der Entstehung der Kontinente war den Menschen lange Zeit ein Rätsel. Schon früh fiel Wissenschaftlern auf, dass die Küsten Europas und Afrikas mit der des amerikanischen Kontinents wie Puzzlestücke zusammenpassen. Auch die Befunde aus Bio-, Geo- und Paläontologie stimmen auf beiden Seiten des Atlantiks überein. Mit einer fundierten Erklärung dieser Übereinstimmung taten sich die Gelehrten jedoch lange schwer. Der flämische Karto-



graph Abraham Ortelius (1570) nahm an, der amerikanische Kontinent wäre durch Erdbeben und Flut vom eurasischen Erdteil fortgerissen worden.

Der Geograph Antonio Snider-Pelligrini (1858) dagegen machte die biblische Sintflut für die Bewegung der Erdteile verantwortlich. Andere vermuteten schließlich, die beiden Kontinente seien einst durch Landbrücken verbunden gewesen, die jedoch später im Meer versanken.

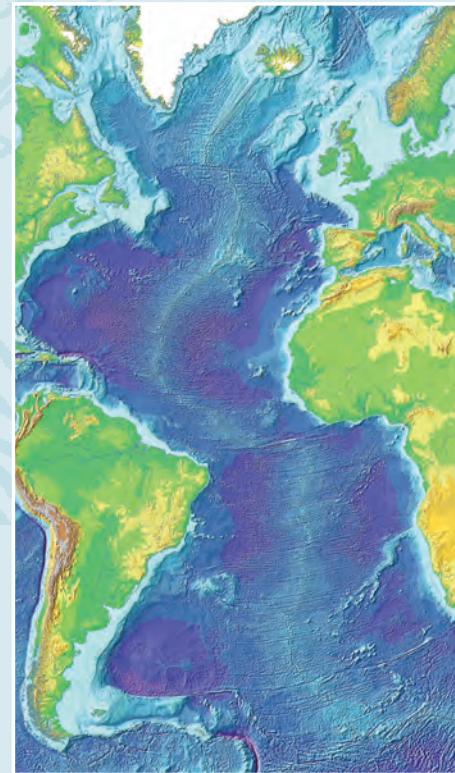
Alfred Wegener fasste 1912 die empirischen Erkenntnisse der Vergangenheit zusammen und entwickelte die Theorie der Kontinentalverschiebung.

Diese besagt, dass die einzelnen Kontinente einst eine zusammenhängende Landmasse gebildet hatten, die im Laufe der Jahr-millionen auseinander driftete.

Als Antriebsenergie nahm Wegener Zentrifugal- und Gezeitenkräfte an.

Wegeners Theorie sorgte in der Fachwelt für heftige Diskussionen. Die Vorstellung, dass die „Kontinente wie Eisschollen im Wasser treiben“ erschien vielen Wissenschaftlern zu abwegig.

Heute jedoch weiß man durch die systematische Erforschung des Meeresbodens, dass Wegener in weiten Teilen Recht hatte.



Satelliten-Atlantikkarte

Prof. Dr. Alfred Wegener entwickelte ab 1910 die Kontinentalverschiebungstheorie, auf die er „unter dem unmittelbaren Eindruck von der Kongruenz der atlantischen Küsten“ kam. Diese Theorie veröffentlichte er 1915 in seinem Buch „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“.

Das Modell der Plattentektonik

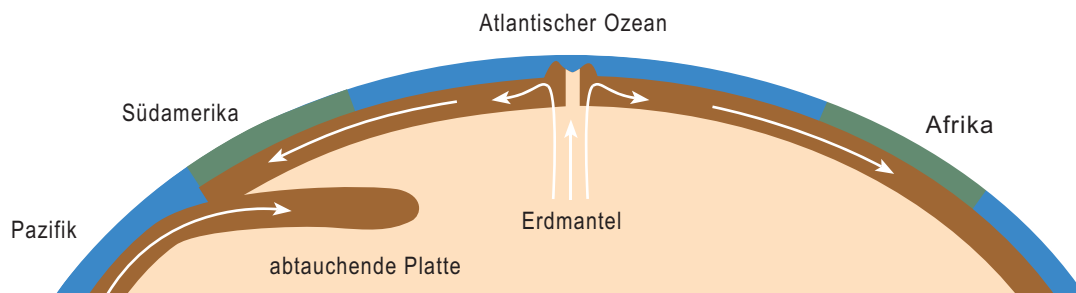
Die detaillierten Tiefendaten, die dank der Echolot-Technologie gewonnen werden konnten, revolutionierten in den 1960er und 1970er Jahren das Verständnis des Systems Erde. Es entstand das Modell der Plattentektonik.

Die amerikanischen Meeresforscher Bruce Heezen und Mary Tharp erstellten die ersten dreidimensionalen Atlantikkarten des mittelozeanischen Rückens. Bei der Gestaltung der Karten wurden sie von dem österreichischen Kartographen Carl Berann unterstützt, dem Autor zahlreicher Gebirgs panoramen. Heezen entwickelte auf Basis dieser Karten die Theorie, dass in den Scheitelgräben der Rücken vulkanisches Material aufdringt, das den Meeresboden auseinander schiebt. Dieses Modell regte wiederum den amerikanischen Geophysiker Harry Hess zur Entwicklung seiner Theorie der Plattentektonik und der Konvektionsströme an.

Diese Theorie besagt, dass die festen Platten der Erdkruste auf dem zähflüssigen Mantel schwimmen. Konvektionsströme im Mantel bewegen die einzelnen Platten. Dort, wo die Platten sich auseinander bewegen, kann heiße Materie aus dem Erdinneren in Form von Magma aufsteigen - es entstehen die (mittel-) ozeanischen Rücken. Ein Teil dieses weltweiten Rückensystems verläuft im zentralen Atlantik und ist oberhalb des Meeresspiegels auf Island sichtbar. Die ozeanischen Rücken erstrecken sich über 75.000 km mit einer Breite von 200 m bis 20 km und einer durchschnittlichen Höhe von 2.500-3.000 m am Boden der drei großen Ozeane. Insgesamt bedecken sie etwa ein Fünftel der Erdoberfläche.

Die Theorie der Platten, die sich auf der äußeren Hülle der Erde bewegen, erklärt die Entstehung der Ozeane und der Kontinente, die Lage der Erdbebenzonen und Vulkanketten und warum sich Gebirge dort erheben, wo wir sie heute finden.

Das Prinzip der Konvektion

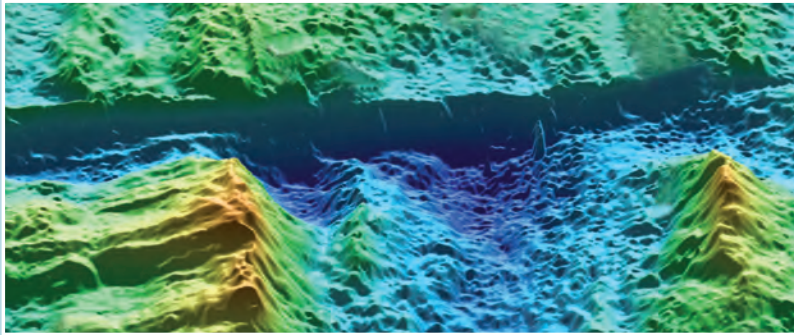


Die Kenntnis der Topographie der Ozeanböden ist notwendig für die Beantwortung vieler Fragen in der Meeres- und Klimaforschung. Viele Prozesse im Meer mit ihren vielfältigen Auswirkungen auf die belebte und unbelebte Umwelt werden von den topographischen Verhältnissen am Meeresboden beeinflusst. So wird z.B. der Verlauf der Meeresströmungen oder die Auswirkungen von Sturmfluten und Tsunamis von den Landschaften am Meeresboden erheblich beeinflusst.

Neuer Meeresboden entsteht – alter Meeresboden wird verschluckt

Der im Bereich der mittelozeanischen Rücken neu geschaffene Meeresboden entspricht dem im Bereich der Subduktionszonen „verschluckten“ Meeresboden. Das Volumen des Planeten Erde bleibt daher konstant.

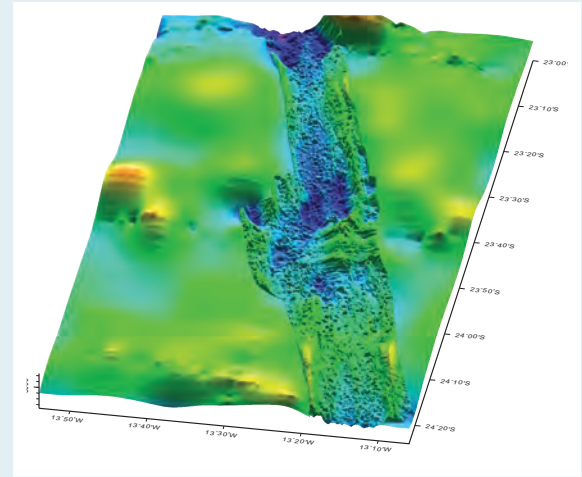
Der Ausschnitt zeigt den Scheitelgraben des mittelozeanischen Rückens bei 5° Süd im zentralen Atlantik. An dieser Stelle wird der Rücken durch einen Querversatz („transform fault“) um



Reliefdarstellung des Mittelozeanischen Rückens (Atlantik)

mehrere Kilometer nach Westen versetzt. Der Ausschnitt umfasst eine Fläche von 40 x 70 km. Die maximale Höhendifferenz beträgt 3.500 m. Die Vermessung wurde mit der „Meteor“ vom GEOMAR durchgeführt.

Mit einer Geschwindigkeit von 2-13 Zentimetern pro Jahr gleitet der Meeresboden seitwärts von den ozeanischen Rücken davon. Als Columbus 7492 über den Atlantik segelte, war dieser Ozean noch ca. 20 m schmaler als heute. In den Scheitelgräben steigt Lava auf, hier bildet sich ständig neuer Ozeanboden. Aus der Theorie des „sea floor spreading“



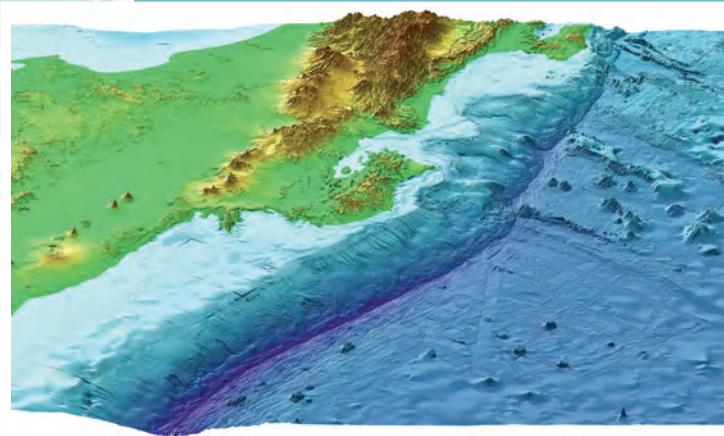
(Ausweitung des Meeresbodens) wurde wenige Jahre später das Modell der Plattentektonik entwickelt. Der nächste Ausschnitt umfasst einen ca. 90 x 155 km großen Bereich des mittelatlantischen Rückens bei 24° Süd. Während der zentrale Graben sehr genau mit einem Fächerecholot auf der „Maria S. Merian“ vom GEOMAR vermessen wurde, sind die Randbereiche mit Tiefendaten aufgefüllt worden, die aus Satellitenmessungen (Satelliten-Altmetrie) bestimmt wurden. Diese Messungen sind wesentlich ungenauer und geben nur den ungefähren Verlauf des Meeresbodens wieder.

Die letzte Abbildung zeigt einen Ausschnitt der Subduktionszone von 530 x 420 km. Die maximale Höhe an Land erreicht 3.600 m, die maximale Tiefe im Meer 5.600 m. Die Vermessung wurde mit der „Sonne“ vom GEOMAR realisiert.

Die etwa 100 km dicken Platten „schwimmen“ auf dem zähplastischen Erdmantel. Dabei kommt es auch zu Kollisionen einzelner Platten. Wenn bei einer solchen Kollision eine Platte zu einem Kontinent gehört (kontinentale Platte) und die andere zum Meeresboden (ozeanische Platte), reicht die höhere Dichte der letzteren aus, dass sie sich unter die spezifisch

Der tiefste Punkt des Weltmeeres liegt mit 11.022 m im Marianengraben des Pazifischen Ozeans. Eine 1 kg schwere Stahlkugel benötigt hier über eine Stunde Fallzeit bis zum Meeresgrund.

Die westliche Ostsee



Subduktionszone vor der Pazifikküste Costa Ricas (Mittelamerika)

leichtere kontinentale Platte schiebt. Dabei wird ozeanische Kruste „verschluckt“, d.h. dem Erdmantel zugeführt. Dieser Prozess wird Subduktion, die geologische Struktur Subduktionszone genannt. Die meisten Tiefseeegräben liegen an den Plattenrändern des Pazifischen Ozeans.

Das Tauchboot „Trieste“ der amerikanischen Marine stellte 1960 im Marianengraben (Pazifik) den Tiefsttauchrekord mit 10.916 m auf. Der Tauchgang dauerte 4 Stunden und 48 Minuten. Im Atlantischen und Indischen Ozean erstrecken sich kleinere Tiefseeegräben.

Im GEOMAR werden die geologischen Prozesse an den Mittelozeanischen Rücken und an den Subduktionszonen in internationaler Kooperation erforscht.

Der Meeresboden der westlichen Ostsee

Für die Karte auf den Seiten 26 und 27 wurden erstmals Tiefenmessungen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, der Royal Danish Administration for Navigation and Hydrography, Kopenhagen und des Leibniz-Institutes für Ostseeforschung Warnemünde zu einer dreidimensionalen Ansicht des Meeresbodens der westlichen Ostsee zusammengefasst. Die landseitigen Daten stammen von den Landesvermessungsämtern der Bundesländer Schleswig-Holstein (Kiel) und Mecklenburg-Vorpommern (Schwerin), ergänzt um Satelliten-Daten der Fa. IXL-AG, Wessling.

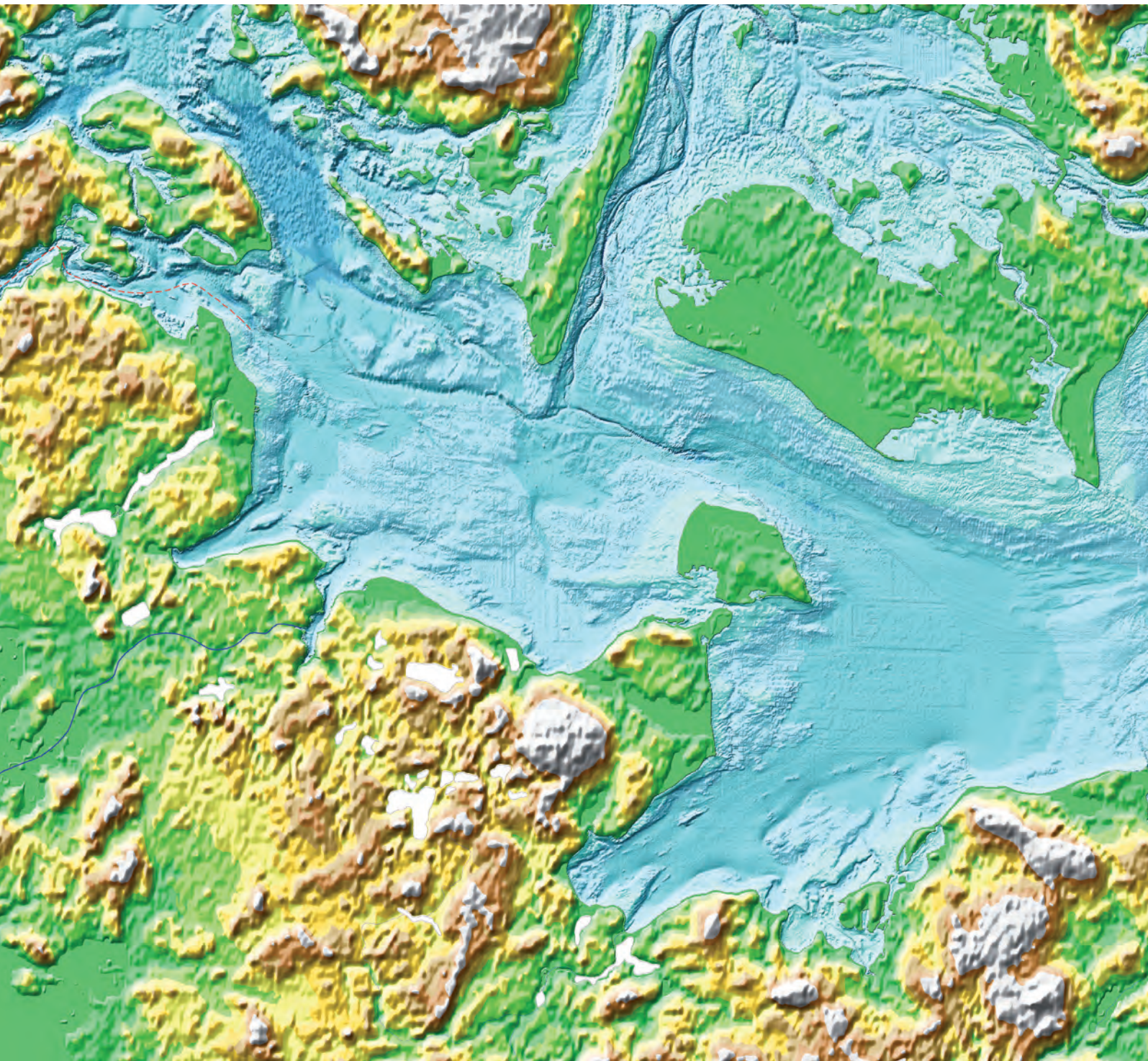
Der tiefste Punkt im abgebildeten Bereich der Ostsee erreicht -55 m unter N.N., der höchste Punkt am Festland 179 m über N.N. Die Karte zeigt, dass die Gestalt des Ostseebodens eiszeitlich geprägt ist.

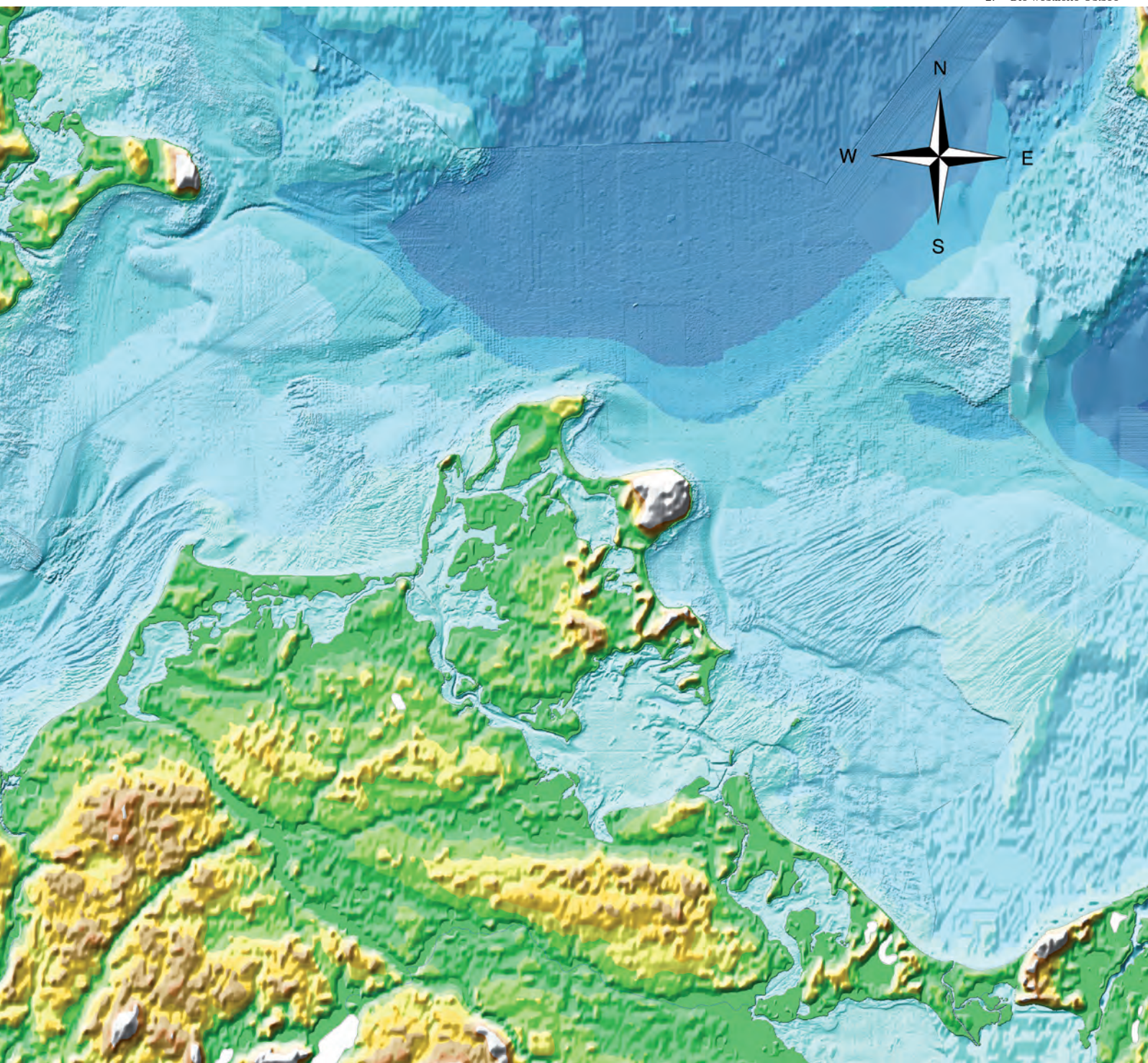
Während der Eiszeiten schufen die skandinavischen Gletscher die Grundform des heutigen Meeresbodens der Ostsee und formten durch ihre Bewegungen eine Fülle von Becken und Schwellen.

Die Gletscher hinterließen eine Moränenlandschaft, die bald durch den Menschen besiedelt wurde. Erst durch den Anstieg des Meeresspiegels infolge der nacheiszeitlichen Klimaerwärmung wurde der abgebildete Bereich der Ostsee geflutet. Neben dem eiszeitlichen Formenschatz entstanden durch Strömungen am Meeresboden typische Bodenstrukturen, wie zum Beispiel die sogenannten Strömungsrippeln.

Ost- und Nordsee sind Bundeswasserstrassen, die ständig von den Schiffen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) vermessen werden. Die Wassertiefen und Wrackfundstellen werden stets aktualisiert. Dies ist insbesondere für die Handelsschifffahrt von eminenter Bedeutung.

Die westliche OSTsee





FOLGENDEN FIRMEN UND INSTITUTIONEN DANKEN WIR FÜR IHRE UNTERSTÜTZUNG

Atlas Hydrographic, Bremen

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie / bsh.de

Dr. Fahrentholz Echolote / fahrentholz.de/

Geo-Institut, Porta Westfalica / geo-institut.de

BORNHÖFT MEERESTECHNIK / bornhoeft.de

INNOMAR / innomar.com

K.U.M. Umwelt- und Meerestechnik / kum-kiel.de

MBT GmbH, Meerestechnisches Büro Turla / macartney.de

Oktopus GmbH / oktopus-mari-tech.de

Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein, Kiel

Landesvermessungsamt Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin

Leibniz-Institut für Ostseeforschung, Warnemünde

Archäologisches Landesmuseum, Stiftung Schleswig-

Holsteinische Landesmuseen, Schleswig

Archäologisches Landesmuseum Mecklenburg-Vorpommern,

Lübstorf

Royal Danish Administration for Navigation and Hydrography,

Copenhagen

Ein besonderer Dank gilt allen Kollegen, die die Ausstellung durch vielfältige Aktivitäten tatkräftig unterstützt haben.

Herausgegeben vom GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel; L-3 ELAC Nautik; Institut für Pädagogik, Abt. Medienpädagogik / Bildungsinformatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) und der Deutschen Hydrographischen Gesellschaft e.V. (DHyG)

Autoren und Redaktion:

Dr. Gerd Hoffmann-Wieck, GEOMAR

Ulrike Schulte-Rahde, L-3 ELAC Nautik

Dr. F.W. Lehmhaus, CAU

Dr. Jörg Schimmler

Dr. Ingo Klaucke, GEOMAR

Kontakt: GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Dr. Gerd Hoffmann-Wieck

Adresse: Wischhofstr. 1-3 / 24148 Kiel

Tel. / E-Mail: 49 (0)431 600 2555 / ghoffmann-wieck@geomar.de

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Das GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel ist eine der führenden Einrichtungen auf dem Gebiet der Meeresforschung in Europa. Aufgabe des Instituts ist die Untersuchung der chemischen, physikalischen, biologischen und geologischen Prozesse im Ozean und ihre Wechselwirkung mit dem Meeresboden und der Atmosphäre. Mit dieser Bandbreite deckt das GEOMAR ein in Deutschland einzigartiges Spektrum ab. / geomar.de

L-3 ELAC Nautik

L-3 ELAC Nautik ist ein in Kiel ansässiges Unternehmen mit mehr als 80-jähriger Erfahrung in der Entwicklung und Fertigung hydroakustischer Systeme. Das Produktportfolio umfasst Sonaranlagen, (Fächer-) Echolote sowie Unterwasserkommunikationssysteme. Im Bereich Vermessungstechnik entwickelt und fertigt L-3 ELAC Nautik modernste hydroakustische Messgeräte und Systeme zur hochgenauen Kartierung der Gewässerbodentopografie für Anwender aus den Bereichen Hydrographie, Vermessung von Häfen, Flüssen und Seen sowie Ozeanografie, Meeresgeologie und -biologie. / elac-nautik.de

Institut für Pädagogik, Abt. Medienpädagogik / Bildungsinformatik
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Die Abteilung Medienpädagogik/Bildungsinformatik des Instituts für Pädagogik der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel unter der Leitung von Prof. Dr. Heidrun Allert untersucht die Transformation von Bildungsprozessen durch Medien. Im Mittelpunkt stehen dabei die Untersuchung und Unterstützung kreativer und kollaborativer Wissenspraktiken, die Frage nach der Rolle von Artefakten/Technologien/Medien im Prozess der Wissensgenerierung und die Förderung von untersuchenden Designprozessen zur Generierung konzeptioneller Innovation in wissensintensiven Gegenstandsbereichen. / av-studio.uni-kiel.de

Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V.

Die Deutsche Hydrographische Gesellschaft (DHyG) ist ein berufsständischer Verein, der sich für die Interessen der Hydrographie einsetzt und sich als Sprachrohr der Hydrographen versteht. Seit 1984 fördert die DHyG die praktische und wissenschaftliche Hydrographie sowie die nationale und internationale Zusammenarbeit. Die DHyG bietet allen Interessierten ein Forum des regelmäßigen Fachaustauschs. Drei Mal im Jahr gibt die DHyG die Hydrographischen Nachrichten heraus, die einzige deutschsprachige Fachzeitschrift für Hydrographie und Geoinformation. / dhyg.de

Der Mauna Hawaii erhebt sich aus einer Wassertiefe von etwa 5.000 m 9.200 m über den Meeresboden des Pazifischen Ozeans. Damit ist er der höchste Berg der Erde. Der Mount Everest ist 8.848 m hoch.