

FISCH UND UMWELT

Ist das Meer so tief, wie unsere Messgeräte angeben?

H.-J. Kellermann, Institut für Fischereiökologie

Das Institut für Fischereiökologie führt regelmäßig radioökologische Untersuchungen im früheren Versenkungsgebiet für schwach radioaktive Stoffe im Nordostatlantik durch (Vobach 2002). In diesem Zusammenhang werden an bestimmten Positionen Wasserproben aus verschiedenen Tiefen, von der Oberfläche bis hinab zum Grund in knapp 5000 m Tiefe genommen. Dabei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, mittels eines Pingersystems (kurze 12 kHz Schallsignale) Tiefen bis etwa 3000 m als Entfernung vom Schiff und darunter liegende als Entfernung vom Grund (Bethke und Kellermann 1994) zu bestimmen. Damit einheitlich für alle Ergebnisse die Probenahmetiefe angegeben werden kann, muß die Entfernung vom Schiff bis zum Grund, also die Wassertiefe, bekannt sein.

Die Tiefe ist schwerlich durch Loten mit einem Draht messbar, weil als Folge von Wasserströmungen und Windwirkung der Draht meist schräg ins Wasser geht und unter Wasser diese Schräglage nicht beibehalten wird. Die Tiefe wird genauer per Echolot oder durch Druckmessung bestimmt. Die Tiefenanzeigen vom Echolot und die Druckmessung an Grund per Multisonde stimmen in flachen Gewässern mit ausreichender Genauigkeit überein, wenn die Druckangabe in Dezibar ($1 \text{ dbar} = 10^5 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{s}^2)$) als Wassertiefe in Metern gedeutet wird. In der Tiefsee (46° N , 17° W) jedoch misst beispielsweise die Multisonde bei 8 m über Grund 4864 dbar, wogegen das Echolot 4724 m angibt. Wie tief ist es dort tatsächlich? Ohne das physikalische Hintergrundwissen ist man ratlos mit diesen beiden Angaben.

Messung mit der Multisonde

Der Druck, p , ist definitionsgemäß eine Kraft pro Fläche. Der Druck über Grund ergibt sich aus dem Gewicht der gesamten Wassersäule über ihrer Fläche. Unter Gewicht wird hier die Kraft (kp) verstanden, welche die Masse (kg) aufgrund der Erdbeschleunigung ($g = 9,807 \text{ m/s}^2$) ausübt. Die Dichte (ρ) des Wassers (Kilogramm pro Liter) nimmt mit der Tiefe, z , zu. Sie alleine bewirkt die Schichtung von Wasserkörpern. Daher nimmt das Gewicht der Wassersäule nicht proportional mit der Tiefe zu, sondern stärker. Aus den mit der Multisonde im Wasser gemessenen Parametern: Druck, Temperatur und Leitfähigkeit können über empirische Beziehungen (Fofonoff et al. 1983) Werte für Salzgehalt,

Schallgeschwindigkeit und Dichte berechnet werden (Anon. 1991). Die Änderung der Dichte mit dem Druck ist in der Tiefsee recht gut als gerade Linie zu beschreiben:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + a \cdot p) \quad (1)$$

Hierin bedeutet ρ_0 die Dichte für $p=0$, also an der Oberfläche, a beschreibt die Änderung der Dichte mit dem Druck. Die beiden Parameter ρ_0 und a wurden aus einer Regressionsanalyse (Dichte gegen Druck) der Multisondenmessung bestimmt. ($\rho_0 = 1,027 \text{ g/cm}^3$, $a = 4,515 \cdot 10^{-6} \text{ dbar}^{-1}$). Durch die aus (1) entwickelte Formel wird die Tiefe aus dem angezeigten Druck berechnet:

$$z = \frac{p}{g \cdot \rho_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{2} \cdot p} \quad (2)$$

Der rechte Faktor der Gleichung ist die Korrektur als Folge der Dichteänderung. Sie wird erst bei höherem Druck merklich wirksam und verkleinert die Tiefe. Im flacheren Wasser, bis rund 500 m, ist der mit a gebildete Summand sehr klein und daher quasi unwirksam. In der Tiefsee hingegen werden aus 4864 dbar mit dieser Beziehung 4775 m. Die Dünung verursacht ein Rollen des auf Position liegenden Schiffes. Durch den Ausleger erfährt die Multisonde eine „Auf-und-nieder-Bewegung“. In Abbildung 1 ist diese Bewegung zu erkennen. Als Schwingungsamplitude sind hier etwa 6 m ablesbar. Im tiefsten Punkt war der Bodenmelder ausgelöst worden. Der Drucksensor hängt bei Auslösen des

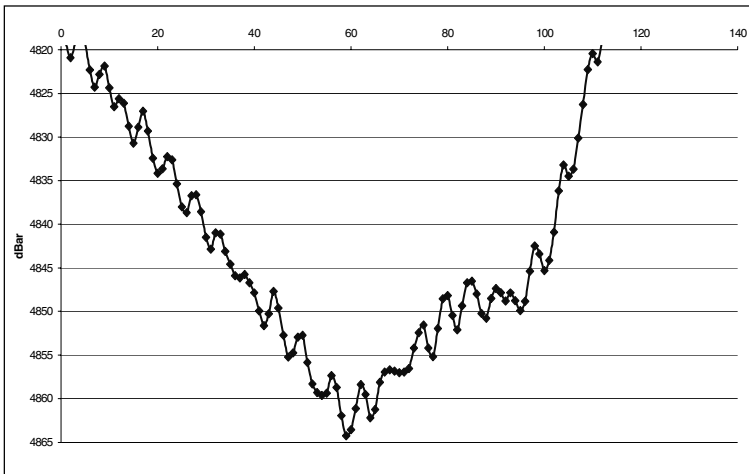


Abbildung 1: Druckmessung mit der Multisonde. Langsame Annäherung an den Grund, sofortiges Anheiven bei Bodenmeldung, Auslösen von Wasserschöpfern und anschließend schnelleres Hieven.

Pressure measurement with CTD. Slow approach to the ground, immediate heaving at bottom signal, release of water samplers and subsequently quicker heaving.

Bodenmelders im Abstand dessen Leinenlänge, etwa 8 m, über Grund. Damit ergibt sich aus der Multisondenmessung eine Tiefe von 4783 m.

Messung mit dem Echolot

Das Echolotverfahren beruht auf einer Zeitmessung. Dabei wird die Zeitdifferenz gemessen zwischen dem Aussenden eines Schallsignals und dem Empfang seines Echos. Mittels der Schallgeschwindigkeit wird auf die zurückgelegte Strecke geschlossen. Im Meer hat der Schall bis in Tiefen von ungefähr 2000 m eine Geschwindigkeit von gerundet 1500 m/s. Die aus den Multisondenaten gewonnene Beziehung zwischen Schallgeschwindigkeit und Tiefe ist in Abbildung 2 dargestellt.

Als Modell der tatsächlichen Verhältnisse kann bis in rund 2200 m Meerestiefe, z_G , die Schallgeschwindigkeit als konstant angesehen werden. Darunter soll sie sich dann linear mit der Tiefe ändern:

$$v = c \quad \text{für } z < z_G \quad (3)$$

$$v = c + b \cdot (z - z_G) \quad \text{für } z > z_G \quad (4)$$

Im Echolotsystem ist grundsätzlich für alle Tiefen die konstante Geschwindigkeit c (1500 m/s) eingestellt. Damit gibt das Gerät eine Tiefe z_0 aus. Dieser Wert in die Lösung für (4) eingesetzt ergibt für Tiefen größer als z_G praktisch:

$$z = z_0 + \frac{b}{2 \cdot c} \cdot (z_0 - z_G)^2 \quad (5)$$

Wegen der im tieferen Wasser höheren Schallgeschwindigkeit ist die tatsächliche Tiefe größer als die angezeigte, daher wird ein Korrekturterm addiert. Eine Parameteranpassung der in Abbildung 2 gezeigten Daten an das Modell (4) führt zu dem Ergebnis

Steigung: $b = 0,01605 \text{ s}^{-1}$
 Achsenabschnitt: $c = 1500 \text{ m/s}$
 Übergang: $z_G = 2190 \text{ m}$

Mittels dieser Parameter errechnet sich (5) für eine angezeigte Tiefe z_0 von 4724 m eine tatsächliche Tiefe von 4758 m.

Zusammenfassung

Die ursprünglich irritierenden unterschiedlichen Tiefenangaben von Echolot und Multisonde beruhen darauf, daß

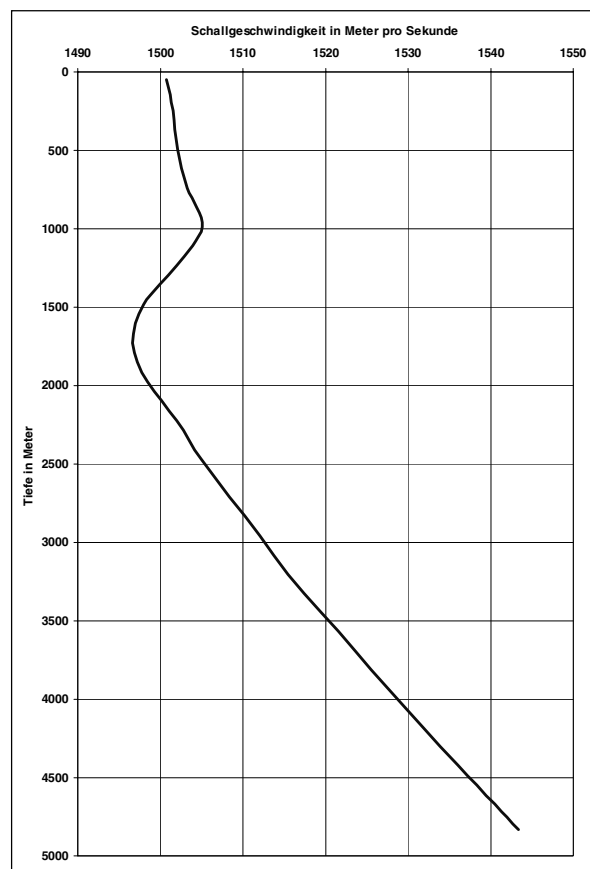


Abbildung 2: Schallgeschwindigkeit im Meer in Abhängigkeit von der Wassertiefe.

Sound velocity in the sea in dependence of depth.

in der Tiefsee die Dichte des Wassers, wie auch die Schallgeschwindigkeit nicht über die gesamte Wassersäule konstant sind. Unter Einbeziehung der physikalischen Beziehungen lassen sich die angegebenen Werte zu richtigen Entfernungen berichtigen.

Innerhalb der systembedingten Ungenauigkeit (Eichparameter der Multisonde, Modell der Schallgeschwindigkeit) stimmen diese Ergebnisse in Tabelle 1 gut überein. Jetzt gleichen sich die aus beiden Systemen in „Gebiet B“ berechneten Tiefen bis auf 25 m. Die tatsächliche Tiefe an der beschriebenen Multisondenstation ist,

Tabelle 1: Gegenüberstellung ausgegebener und berechneter Tiefen.

Comparison of displayed and calculated depths.

Station	System	Anzeige	Ergebnis
Gebiet B	Multisonde	4864 dbar	4783 m
	Echolot	4724 m	4758 m
Ost-B	Multisonde	4922 dbar	4841 m
	Echolot	4786 m	4822 m

als Mittelwert daraus, rund 4770 m. Eine ähnliche Übereinstimmung ergibt sich für das etwas tiefere Referenzgebiet „Ost-B“ bei 46° N 13° W. Dort beträgt der Unterschied 19 m und die Tiefe berechnet sich zu rund 4830 m.

Danken möchte ich meinen Kollegen Manfred Stein und Gerd Wegner aus dem Institut für Seefischerei für das Überlassen der Multisonde und für ihre fördernde Diskussion der Grundlagen zu diesem Beitrag.

Zitierte Literatur

Anonymus: Benutzerhandbuch für das ME MULTIPAR Programm, Version 4.0. ME Meerestechnik Elektronik GmbH, 1991.

Bethke, E.; Kellermann, H.-J.: Wasserprobenahme über Grund mit FFS „Walther Herwig III“. Infn Fischw. 41(1): 37-41, 1994.

Fofonoff, N.P.; Millard Jr., R.C.: Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. UNESCO Tech.pap. in Mar. Sci., 44, 1983.

Vobach, M.: Fahrtprogramm für die 238. Reise des FFS Walther Herwig III. Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg, 2002.

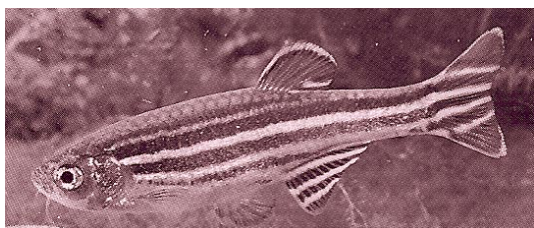
AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE IN DER BFA FISCHEREI:

Identification of sediment-bound contaminants: toxicity guided analytic

Acronym: ISIS

Funding agency: Federal Ministry of Education and Research (Bundesministerium für Forschung und Bildung), project nr. 03F0271C

Project duration: 3 years (01/00-12/02)



Objectives: The project is designed to identify and evaluate sediment-bound contaminants in the marine environment. Fractionated extraction of marine sediments will be followed by testing the toxic effects of the different extracts in battery of biological test systems covering a broad spectrum of toxic action (e.g. cytotoxicity, neurotoxicity, genotoxicity, embryotoxicity and endocrine disruption). Sediments from the Baltic and the North Sea with different contaminant

loads will be examined. The toxicity tests will be combined with powerful chemical analysing techniques (GC-MS and HPLC-MS), applied to those extracts exhibiting effects in any of the test systems. Extracts showing toxic effects will be subdued to further cycles of fractionation, biological testing and chemical analysis until the causative agent(s) can be identified.

Participating institutions:

Universität Hamburg, Institut für Biochemie und Lebensmittelchemie,
 Universität Hamburg, Institut für Organische Chemie,
 Universität Hamburg, Universitätskrankenhaus Eppendorf, Abteilung für Toxikologie,
 Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg,
 Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Institut für Fischereiökologie, Hamburg,

Mehr Informationen: www.bfa-fisch.de >> **Institut für Fischereiökologie** >> **Projekte**