

Kreisarray zur Richtungsbestimmung akustischer Signale

Edgar Schmidtke

WTD 71, Berliner Straße 115, 24340 Eckernförde, EMail: edgarschmidtke@bundeswehr.org

Einleitung

Die Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung, WTD 71, entwickelt für ihre speziellen Forschungsvorhaben Messsysteme, die nicht marktverfügbar sind. In Zusammenarbeit mit der Industrie werden diese Systeme gefertigt und dann von der WTD 71 erprobt und eingesetzt. Solche Systeme wurden in der Vergangenheit vorgestellt, so zum Beispiel ein Kundt'sches Rohr für Wasserschall[4] und eine Driftboje mit vertikalem Hydrofonarray[5].

Um eine Schallquelle im Raum mit Hilfe richtungsunabhängiger Einzelsensoren orten zu können, benötigt man mindestens drei. Man bildet die Zeitdifferenzen, mit denen ein Signal an beliebigen Paaren von Sensoren eintrifft, dies führt zu Hyperbeln mit möglichen Quellorten. Der Schnittpunkt mehrerer Hyperbeln ist dann der Schätzwert für den Quellort. Verfahren dazu, auch und besonders unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen, sind zum Beispiel in [3] beschrieben und in diversen technischen Verfahren umgesetzt oder patentiert (z.B. [1, 2]).

Ähnliche Verfahren zur Quellenortung in See werden mit sogenannten Sonobojen durchgeführt, kleinen autarken Systemen, die in der einfachsten Bauform ein einzelnes Hydrofon in die Wassersäule hinablassen und das akustische Signal per Funk an eine Zentralstelle zur Peilung weiterleiten. Diese Bojen sind in der Regel als Einwegsysteme konzipiert und können leicht verbracht werden. Sie haben unter anderem durch ihre geringe Baugröße und damit geringe Batteriegröße und -kapazität eine sehr beschränkte Einsatzzeit von nur wenigen Stunden. Um Ortungsverfahren zu verbessern sind diese Sonobojen als experimentelles Mittel wegen ihrer kurzen Einsatzzeit und der nicht vorhandenen Wiederverwendbarkeit nur von beschränktem Nutzen.

Daher wurde für zukünftige Messungen eine Driftboje entworfen und gefertigt, die im Gegensatz zu dem vertikalen Hydrofonarray in [5] ein kreisförmig angeordnetes Hydrofonarray trägt und somit eine Richtungsbildung in der Ebene erlaubt.

Die Driftboje

Die Driftboje besteht aus zwei Bojenkörpern, die übereinander angeordnet und durch ein Daten- und Haltekabel miteinander verbunden sind. Der obere der beiden Bojenkörpern schwimmt an der Wasseroberfläche und beinhaltet Batterien, Kommunikationsmittel (z.B. UKW-Funk und WLAN) und nautische Systeme, die für die Teilnahme am Seeverkehr notwendig und sinnvoll sind (AIS, Blitzlicht, Radarreflektor). Der untere

trägt das Kreisarray, bestehend aus 18 Hydrofonen (Abtastrate 32000 Samples/Sekunde, 24 Bits Auflösung) im konstanten Winkelabstand von 20° , Batterien, Kompass, Signalverarbeitung und Datenaufzeichnung. Das Kabel zwischen den beiden Teilen erlaubt Datentransfer, so dass auch über UKW oder WLAN eine Steuerung des Gesamtsystems möglich ist. Die Kabellänge gibt die Tiefe vor, in der das Kreisarray unter der Wasseroberfläche hängt. Das gesamte System ist während des Ausbringens in Abbildung 1 gezeigt.

Die Boje ist als rein passives System konzipiert und sendet keine eigenen Schallsignale zur Ortung aus.



Abbildung 1: Die Driftboje, oben die Oberflächenboje mit Kommunikationsmast, unten das Kreisarray, dazwischen ein zusätzlicher Auftriebskörper.

Messungen

Vom 21. bis zum 25. Oktober 2015 konnte das System von Bord des Forschungsschiffes ELISABETH MANN BORGESE des Instituts für Ostseeforschung in Warnemünde erprobt werden. Die Messungen fanden in der Tromper Wiek, südlich des Kaps Arkona, östlich der Insel Rügen statt. Dieses Seegebiet bietet im Herbst von drei Seiten Wetterschutz, lediglich nach Osten hin ist diese Bucht offen.

Die Boje driftete, sobald ausgebracht, während der Messzeit mit weniger als einem Knoten, der Strömung folgend. Der Wind spielt für diese Boje kaum eine Rolle, da die Windangriffsfläche klein ist im Vergleich zu der Angriffsfläche für Strömungen unter Wasser.

Downsweeps

Für die ersten Versuche legte sich das Schiff in geringe Entfernung (wenige 100 m) und sendete mit einem Wasserschallsender sogenannte Downsweeps (LFM, linear frequency modulated, 10 kHz bis 3 kHz). Der für die anschließende Datenauswertung verwendete Timedelay-Beamformer stützt sich auf die bekannte Geometrie des Systems und die vorher ermittelte Schallgeschwindigkeit. Er berechnet daraus frequenz- und zeitabhängig den Mittelwert aus den Korrelationen aller 153 Paarungen von Hydrofonen. Er wertet die gleichzeitig aufgezeichneten Kompassdaten mit aus und nordet die Darstellung ein. Frequenzen werden radial aufgetragen, Frequenz Null ist im Mittelpunkt der Darstellung, 10 kHz und 5 kHz sind als Kreise markiert.

Das empfangene Signal ist für zwei verschiedene Zeitpunkte in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

In Abbildung 2 markiert der rote Kreis in nordwestlicher Richtung das schmalbandige Signal des Downsweeps bei etwa 7,5 kHz. Der magenta-farbene Kreis in nördlicher Richtung stellt ein zeitverzögert eintreffendes Echo dar, erkennbar an der etwas höheren (früheren) Frequenz. Aus dem Frequenzversatz ließe sich die Entfernung bestimmen. In Abbildung 3 markiert der rote Kreis in nordwestlicher Richtung wiederum das schmalbandige Signal des Downsweeps, nun kurz vor seinem Ende bei etwa 3,5 kHz. Der magenta-farbene Kreis in südwestlicher Richtung stellt wiederum ein Echo dar, hier so gut wie gleichzeitig mit dem Signal des Wasserschallsenders, somit wesentlich näher als das Echo in Abbildung 2. Worum es sich bei diesen Echos handelt, konnte nicht ermittelt werden.

Das breitbandige, tieffrequente Signal in Richtung des Wasserschallsenders zeigt die tieffrequenten Geräusche, die auch das treibende Schiff noch abstrahlt. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Geräusche von schiffseigenen Aggregaten, die zur Aufrechterhaltung des Betriebes zwingend erforderlich sind.

Bei dem tieffrequenten Signal in Richtung Ost-Nordost handelt es sich um die tieffrequenten Geräuschanteile eines anderen Schiffes.

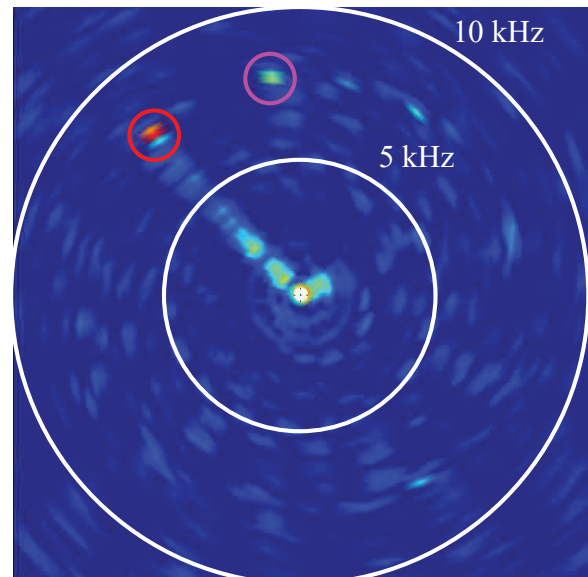


Abbildung 2: Der Downsweep bei etwa 7,5 kHz. Das schmalbandige Signal ist mit einem roten Kreis markiert, ein frequenzversetztes Echo mit einem magenta-farbenen.

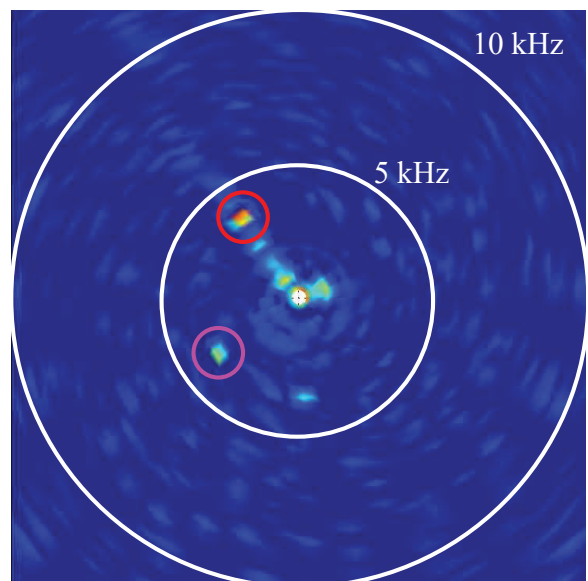


Abbildung 3: Der Downsweep bei etwa 3,5 kHz. Das schmalbandige Signal ist mit einem roten Kreis markiert, ein fast frequenzgleiches Echo mit einem magenta-farbenen.

Vorbeifahrten

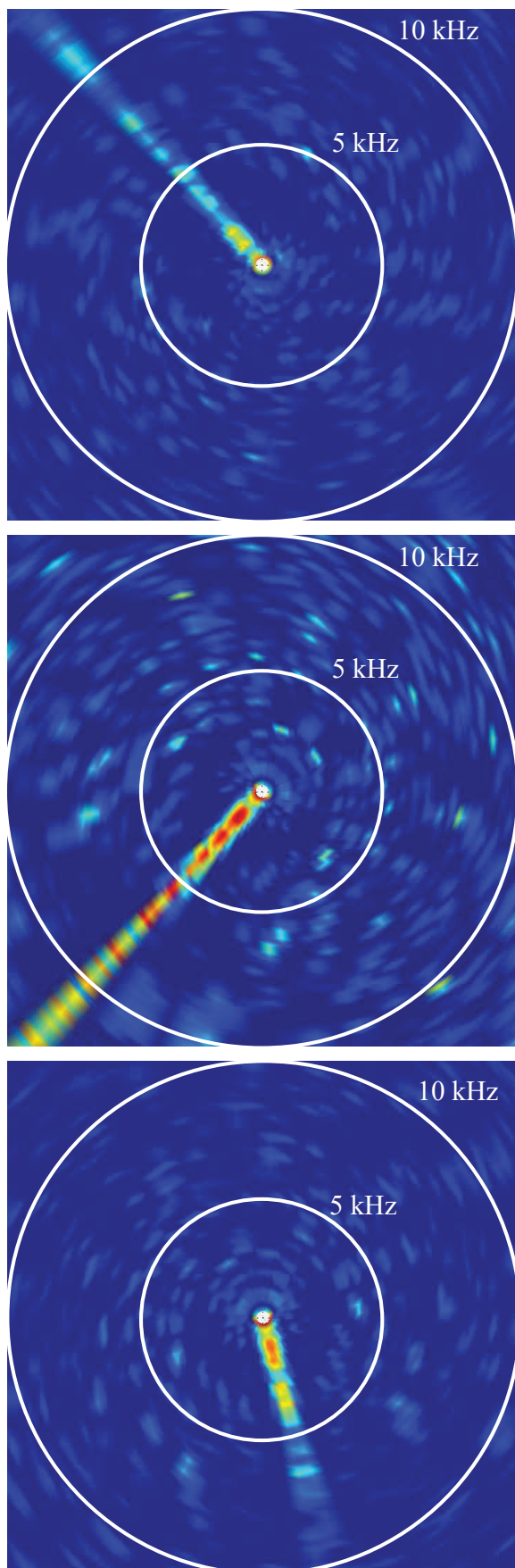


Abbildung 4: Vorbeifahrt der ELISABETH MANN BORGESSE an der Boje. Oben vor, mittig während und unten nach dem CPA (closest point of approach).

Für die zweite Versuchsreihe diente das Schiff selbst als – nunmehr breitbandige und ortsveränderliche – Schallquelle. Eine Vorbeifahrt auf südwestlichem Kurs, westlich der Boje, zeigt Abbildung 4 in der gleichen Darstellung wie die Downsweeps.

Eindeutig ist die breitbandige Quelle zu erkennen, Signale zu allen Frequenzen kommen aus der gleichen Richtung, der Pegel steigt bei Annäherung zum CPA (closest point of approach) an und nimmt danach mit zunehmender Entfernung wieder ab.

Zusammenfassung

Im Oktober 2015 unterzog die WTD 71 die neue Driftboje mit einem Kreisarray mit 18 Hydrofonen erfolgreich einem ersten Einsatztest. Durch Verwendung eines kreisförmigen Arrays ist im Gegensatz zu den Bojen mit Vertikalarray eine Richtungsbildung in der Ebene möglich. Dank handelsüblicher PC-Technik ist es leicht möglich, die Datenauswertung schnell an neue Anforderungen anzupassen. Für die Untersuchungen zu neuen Ortungsverfahren steht der WTD 71 nun ein seetaugliches neues Instrument zur Verfügung.

Literatur

- [1] Meuser, W.:
Verfahren zum Ermitteln von Geschützstandorten,
Patentschrift DE 32 16 183 C 2 (1991)
- [2] Lohmar, F. J.:
Verfahren zur akustischen Ordnung von Knallereignissen,
Patentschrift DE 102012003852 A1 (2013)
- [3] Nixdorff, K.:
Mathematische Methoden der Schallortung in der Atmosphäre,
Vieweg Verlag, Braunschweig (1977)
- [4] Schmidtke, E.:
Ein neues Stehwellenrohr zur Messung akustischer Materialeigenschaften in Wasser,
Fortschritte der Akustik, pp. 504–505,
Aachen (2003)
- [5] Schmidtke, E.:
Zielpegelmessungen im Fjord mit einem vertikalen Hydrofonarray,
Fortschritte der Akustik, pp. 419–420,
Düsseldorf (2011)