

Automatische Detektion und Lokalisation von Schiffshörnern mit Hilfe von Mikrofonarrays

Michael Makarski¹, Anselm Goertz², Alfred Schmitz³

¹ *Institut für Akustik und Audiotechnik, michael.makarski@ifaa-akustik.de*

² *Institut für Akustik und Audiotechnik, anselm.goertz@ifaa-akustik.de*

³ *Institut für Akustik und Audiotechnik, alfred.schmitz@ifaa-akustik.de*

Einleitung

In der Seeschifffahrt werden zu Warnzwecken, bei Notrufen und zur Übermittlung einfacher Nachrichten meistens Hornlautsprecher eingesetzt. Bei Hochseeschiffen ist es üblich die Brücke geschlossen auszuführen, sodass aufgrund der schlechten Schalldurchlässigkeit die Brückenwache ein akustisches Signal eines anderen Schiffes kaum wahrnehmen kann. Für solche Schiffe ist eine Schallsignalempfangsanlage (SSE) vorgeschrieben, die mit Hilfe von Mikrofonen Schallsignale anderer Schiffe automatisch detektiert und eine grobe Richtungserkennung durchführt. Das detektierte Signal wird dann auf der Brücke wiedergegeben und die geschätzte Richtung angezeigt.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes im Auftrag des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrografie (BSH) wurden umfangreiche Messungen von Schiffshörnern auf See und im Labor durchgeführt. Ziel der Untersuchung ist es auszuloten, ob durch den Einsatz moderner Messtechnik und Algorithmik in Kombination mit geeigneten Mikrofonarrays eine vergleichbar gute Detektion zu einem menschlichen Ausguck erreicht werden kann. Darüber hinaus soll die Schalleinfallrichtung möglichst präzise durch das Array bestimmt werden. Die Ergebnisse sollen in zukünftigen Normungen als Datengrundlage zur Beschreibung der Anforderungen an Schallsignalempfangsanlagen dienen.

Basisdaten

Die überwiegend eingesetzten Hornlautsprecher werden, je nach Leistungsfähigkeit, mit elektrodynamischem, Druckluft- oder mit direktem Motorantrieb der anregenden Membran ausgeführt. Die Grundfrequenzen liegen im Bereich 70 Hz - 700 Hz, wobei der Zusammenhang gilt, je größer das sendende Schiff desto tiefer die Grundfrequenz und desto lauter das Horn [1]. Damit wird eine der Schiffsgröße angepasste Reichweite erzielt. Der Schalldruckbereich (1 m, Freifeld) reicht von 111 dB bei Schiffen kleiner 20 m bis zu 143 dB für Schiffe größer als 200 m. Die maximale Reichweite ist, je nach Wetterbedingungen, ca. 2 - 2,5 Seemeilen (1 Seemeile = 1850 m).

Abbildung 1 zeigt Beispiele für Spektren der eingesetzten Schiffshörner. Das typische Merkmal ist die sich periodisch im Spektrum wiederholende Linie der Grundfrequenz. Bei Druckluflhörnern ist die Struktur etwas buschiger, wird aber auch von der Grundfrequenz und Harmonischen dominiert.

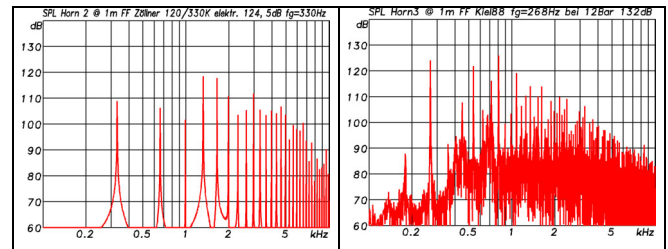


Abbildung 1: Spektrum eines elektrisch angetriebenen Schiffshornes mit 330 Hz Grundfrequenz (links) und Spektrum eines druckluftgetriebenen Hornes mit 268 Hz Grundfrequenz und 132 dB SPL in 1 m unter Freifeldbedingungen (rechts).

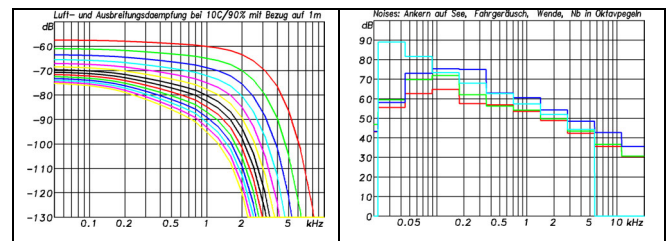


Abbildung 2: Luft- und Ausbreitungsdämpfung von 0,4 bis 3 Seemeilen (links). Oktavpegelspektren (rechts) an einer typischen Empfängerposition für ein mittleres Schiff (55 m) beim Ankern (rot), normale Fahrt (grün) und beim Wenden (blau) sowie ein mittleres Spektrum für ein Schiff der 200 m Klasse (türkis) nach [2].

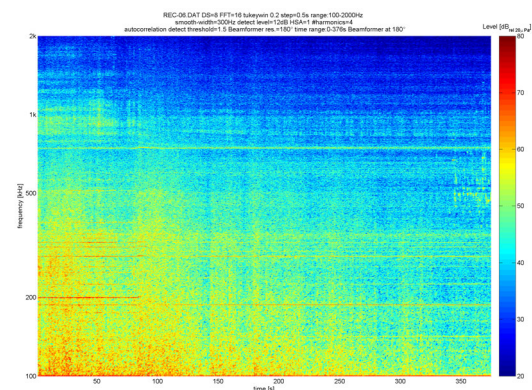


Abbildung 3: Spektrogramm über 360 s für den Frequenzbereich 100 Hz bis 2 kHz. Zwischen 0 und 200 s sorgt eine Windböe für eine Anhebung des Noisespektrums um ca. 20 dB gegenüber der Situation mit wenig Wind (um 350 s).

Die Reichweite der Signalgeber wird von mehreren Randbedingungen bestimmt. Bei großen Entfernungen wird neben der Ausbreitungsdämpfung die Dämpfung durch das Medium im höherfrequenten Bereich ein dominanter Faktor.

Empfängerseitig begrenzen das schiffseigene Fahrgeräusch (Motor- und Abgasgeräusche, Wellen) sowie die zusätzlichen Störgeräusche (Möwen, Flugzeuge, Windgeräusche an Schiffsaufbauten, etc.) den Dynamikbereich für die Detektion. Weiterhin sind die Windrichtung und Windgeschwindigkeit beeinflussende Faktoren. Wird das Signal mit dem Wind gesendet, lassen sich erheblich größere Detektionsentfernungen erzielen als gegen den Wind. Außerdem kommt es durch Windgeräusche an den eingesetzten Mikrofonen trotz Windschutz zu erheblichen Störgeräuschen (Abbildung 3).

Untersuchung der Detektionsentfernung und Genauigkeit der Lokalisation

Zur Untersuchung der Fragestellungen, ob mit einer automatischen Detektion eine zu einem menschlichen Ausguck vergleichbare Detektion erreicht werden kann und wie genau der Einfallswinkel eines detektierten Schallsignals geschätzt werden kann, wurde ein Mikrofonarray gebaut und auf der Ostsee damit umfangreiche Messreihen durchgeführt.

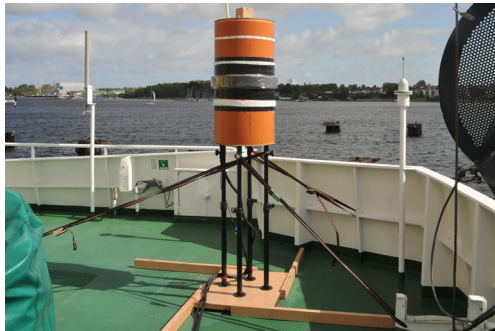


Abbildung 4: Zylindrisches 24-Kanal-Mikrofonarray mit 0,5 m Durchmesser und 0,9 m Zylinderhöhe im Aufbau auf dem Brückendach des Forschungsschiffs Deneb.

Als Beamforming-Verfahren können bei dieser Anordnung neben Delay-and-Sum bzw. Filter-and-Sum auch zylindrisches Beamforming eingesetzt werden [3]. Weitere mögliche Verfahren sind Subspace-Algorithmen, wie MUSIC, ESPRIT oder EB-ESPRIT [4].

Die Messungen fanden bei einer ersten Fahrt im Mai 2010 bei relativ gutem Wetter (Windgeschwindigkeiten 3-5 m/s) und bei einer zweiten Fahrt im September 2010 bei deutlich schlechterem Wetter (Windgeschwindigkeiten 8-15 m/s) statt. Dabei wurde jeweils eine vereinbarte Signalsequenz von einem Beiboot nacheinander mit verschiedenen Hörnern abgespielt und als Mikrofonrohdaten, also unbearbeitet, aufgezeichnet. Auf den Brückengängen des empfangenden Schiffes war bei den Messungen im Mai ein Ausguck postiert, bei den Messungen im September waren zwei Ausgucke im Einsatz, die bei jeder Messung eine Aussage zur Hörbarkeit des Signals gemacht haben. Zur Untersuchung der Detektionsentfernung wurden 3 Messreihen im Abstand von 0,2-2 Seemeilen aus den Richtungen 0° (Bug), 180° (Heck) und 270° (Steuerbord) durchgeführt, um auch den Einfluss unterschiedlicher Windrichtungen zu erfassen. Die Winkelschätzung wurde anhand von „Polarmessungen“ erforscht. Hier wurde vom

Beiboot aus konstanter Distanz (jew. 1 Messreihe mit 0,4, 0,8 und 1,2 Seemeilen) aber unterschiedlichen Winkeln (Raster 22,5°) gesendet. Die Auswertung wurde anhand eines kombinierten zylindrischen Beamformers (bis 500 Hz) und Delay-and-Sum (ab 500 Hz) mit nachgelagerter harmonischer Produktanalyse zur Verstärkung der typischen spektralen Merkmale und Peaksuche zur Detektion des Signals durchgeführt.

Ergebnisse

Die Auswertung der Messreihen zur Detektionsentfernung ergibt, dass mit einem Mikrofonarray und nachgelagerter Bearbeitung eine ähnliche Leistung wie von einem Ausguck erzielt werden kann. Zusätzlich wurden die Rohsignale auch direkt abgehört und auch hier wurde eine ähnliche Detektionsentfernung festgestellt. Je nach Windrichtung und Signal reichen die erzielten Detektionsentfernungen von 0,5 Seemeilen (Schallausbreitung gegen den Wind) bis 2 Seemeilen (Schallausbreitung mit dem Wind).

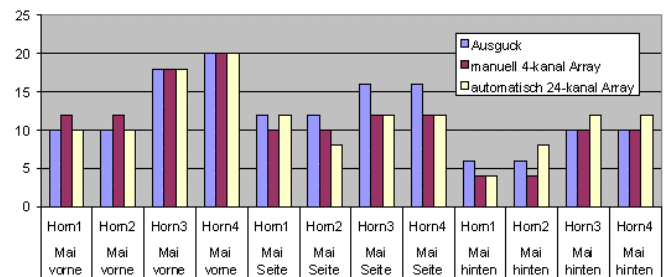


Abbildung 5: Auswertung der Messreihen „Signal von vorne“, „Seite“ und „hinten“ im Mai 2010. Detektierte Entfernung in 0,1 Seemeilen (Windgeschw. ca. 3-5 m/s).

Die Winkelschätzung gelingt bei den hier erfassten Hörnern mit einer Genauigkeit von ca. +/-10°. Grundsätzlich verschlechtert sich die Genauigkeit der Winkelschätzung je schlechter die Signalqualität ist und je tiefer die Grundfrequenz des Signals ist. Die Auswertung der Messungen mit starkem Windeinfluss ergibt, dass die Detektionsentfernung eines Ausgucks stark von seiner Position auf dem Schiff und der Wind- und Schalleinfallrichtung abhängt. Die automatische Detektion liegt bei schlechtem Wetter in der Leistung zwischen einem „günstig“ positionierten Ausguck und einem „ungünstig“ positionierten Ausguck.

Literatur

- [1] IMO Resolution MSC.86.(70) Annex 1
- [2] IALA Recommendation E-109: On The Calculation Of The Range Of A Sound Signal, Edition 1 May 1998
- [3] Parthy, A., et al: Measured and Theoretical Performance Comparison of a Broadband Circular Microphone Array, 31st AES conference (2006), London
- [4] Roy, R., et al: Estimation of Signal Parameters Via Rotational Invariance Techniques, IEEE Transactions on Acoustics and Speech, Vol. 37 No. 7, July 1989.