

Bestimmung der Wasserschallabstrahlcharakteristik eines Schiffes

Ingo Schäfer¹

¹ WTD 71-FWG Forschungsbereich für Wasserschall und Geophysik

Berliner Strasse 115, 24340 Eckernförde, Email: ingo5schaefer@bwb.org

1 Einleitung

Schiffe strahlen Schall im Wasser abhängig von Umgebungsdaten wie Tiefe oder Bodeneigenschaften ab. Zusätzlich wird der Schall richtungsabhängig abgestrahlt. Aus diesem Grunde liefert eine Messung zwar Schallabstrahleigenschaften am Ort der Messung, diese Ergebnisse lassen sich aber nicht ohne weiteres auf andere Orte übertragen.

Diese Arbeit stellt ein theoretisches Verfahren vor, welches aus Messergebnissen an einem Ort die Abstrahlcharakteristik im Vollraum errechnet. Mit diesen Daten und Kenntnis anderer Seegebiete kann dann das abgestrahlte Schallfeld ermittelt werden.

2 Richtcharakteristik

Reale Schiffe strahlen den Schall richtungsabhängig ab. So ist es möglich, dass der Propeller nach hinten deutlich stärker abstrahlt als nach vorne. Häufig ist auch bei bestimmten Frequenzen eine erhöhte Abstrahlung Richtung Steuer- oder Backbord festzustellen [1]



Abbildung 1: Quellmodellierung

Eine klassische Möglichkeit die Richtcharakteristik eines Schiffes zu modellieren ist die inkohärente oder kohärente Superposition von mehreren Monopolen (Abb.1 links grün dargestellt), die über den Rumpf verteilt werden. Ein Monopol (hier im Koordinatenursprung durch einen Delta-Impuls realisiert) erfüllt die im Wasser gültige Helmholtz-Gleichung

$$\Delta p + k^2 p = q = c_1 \delta(r) \tag{1}$$

und erzeugt im Vollraum folgende Charakteristik [2]:

$$p = c_1 \frac{e^{ikr}}{4\pi r} \tag{2}$$

Hierbei ist p die komplexe Druckamplitude, r der Abstand vom Ursprung, c die komplexe Quellstärke und k die Wellenzahl. Eine Alternative stellt die Modellierung mittels Superposition von Monopolen und Dipolen (Abb.1 rechts) dar. Ein Dipol erfüllt die inhomogene Helmholtz-Gleichung

$$\Delta p + k^2 p = c_2 \partial_x \delta(r) \tag{3}$$

und wird durch die Ableitung des Delta-Impulses realisiert. Diese erzeugt im Vollraum in Kugelkoordinaten folgende Charakteristik:

$$p = c_2 \frac{e^{ikr} (ikr - 1)}{4\pi r^2} \cos(\varphi) \sin(\vartheta) \tag{4}$$

Hierbei sind φ, ϑ die üblichen Azimutwinkel und Elevationswinkel der Kugelkoordinaten. Natürlich können mit anderen Richtungsableitungen der Inhomogenität (4) andere Richtcharakteristiken gebildet werden.

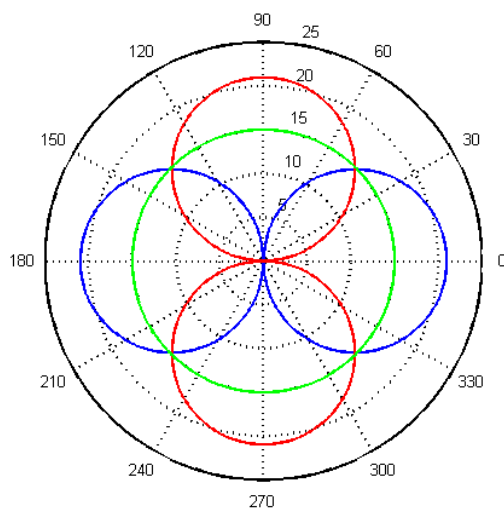


Abbildung 2: Richtcharakteristik

Der klassische Monopol (2) liefert eine kreisförmige Richtcharakteristik (Abb.2 grün), während der Dipol (Abb.2 blau, rot) deutliche Richtungsabhängigkeiten realisiert. Durch Superpositionen von Monopol und Dipolen (2,4) sowie durch komplexe Quellstärken können verschiedenste Charakteristiken gebildet werden (Abb.3).

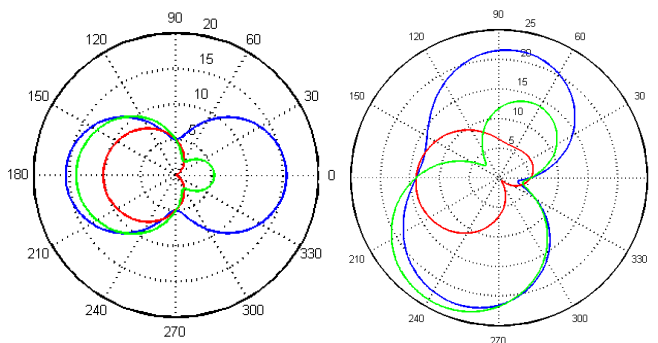


Abbildung 3: Superponierte Richtcharakteristik

Die inkohärente Superposition von reinen Monopolen an verschiedenen Orten (Abb.1 links) liefert eine

entfernungsabhängige Richtcharakteristik (Abb.4 links), während die Richtcharakteristik von Dipolen entfernungsunabhängig erhalten bleibt (Abb.4 rechts).

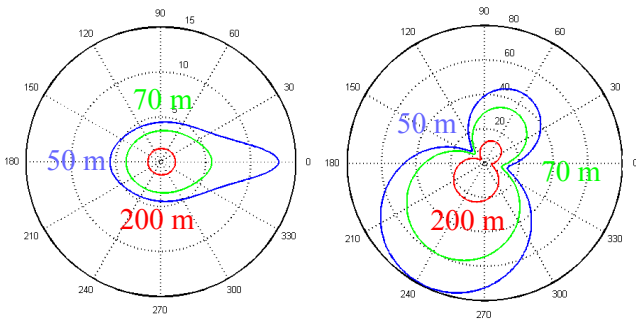


Abbildung 4: Entfernungsabhängige Richtcharakteristik

Schon in einer Entfernung von 200 m wird die durch Monopole erzeugte Richtcharakteristik zu einem Kreis (Abb.4 links). Diese Modellierung eignet sich folglich nicht um eine Schiffssignatur nachzubilden. Es verbleiben die kohärente Superposition von Monopolen oder aber die Kombination aus Monopol und Dipol (Abb.1 rechts).

3 Ermittlung der Quellstärken

Am Beispiel der kohärenten Superposition von n Monopolen wird ein Verfahren zur Bestimmung der Quellstärken erklärt. Dieses kann leicht auf Kombinationen von Dipolen und Monopole erweitert werden. Um die Quellstärken c (2,4) der Quelle q zu ermitteln, werden m Empfangshydrophone über dem Meeresgrund positioniert (Abb.5 rote Kreise).

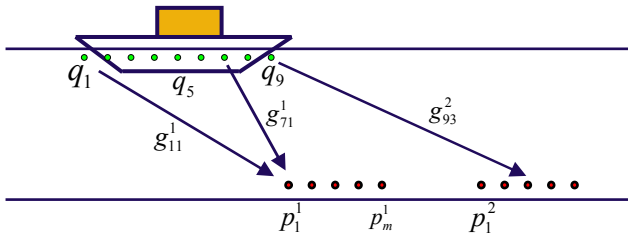


Abbildung 5: Schiff und Empfangshydrophone

Unter Kenntnis der Position des Schiffes und der Hydrophone sowie der Bodenbeschaffenheit und der Tiefe kann eine Übertragungsfunktion g berechnet werden. Die Hydrophone messen zu verschiedenen Zeiten und somit bei verschiedenen Schiffspositionen die Drücke p . Dieser Druck kann durch Superposition der Quellen berechnet werden. Zum Zeitpunkt der ersten Messung gilt am ersten Hydrophon:

$$p_1^1 = g_{11}^1 \cdot q_1 + g_{21}^1 \cdot q_2 + g_{31}^1 \cdot q_3 + \dots \quad (5)$$

Zum Zeitpunkt der zweiten Messung gilt am dritten Hydrophon:

$$p_3^2 = g_{13}^2 \cdot q_1 + g_{23}^2 \cdot q_2 + g_{33}^2 \cdot q_3 + \dots \quad (6)$$

Dieser Zusammenhang liefert für alle Hydrophone folgende Gleichungssysteme

$$\vec{p}^1 = G^1 \cdot \vec{q}, \vec{p}^2 = G^2 \cdot \vec{q} \dots \vec{p}^t = G^t \cdot \vec{q} \quad (7)$$

welches als Gesamtgleichungssystem

$$\begin{bmatrix} \vec{p}^1 \\ \dots \\ \vec{p}^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G^1 \\ \dots \\ G^t \end{bmatrix} \cdot \vec{q} \Rightarrow \vec{p} = G \cdot \vec{q} \quad (8)$$

geschrieben werden kann. Hierbei beschreibt t die Anzahl der Messungen. Damit hat \vec{p} genau $t \cdot m$ gemessene bekannte Komponenten, während \vec{q} genau n unbekannte Komponenten besitzt. Durch eine genügend große Anzahl von Messungen kann daher ein überbestimmtes Gleichungssystem (8) erzeugt werden.

Das entstandene Problem ist ein sogenanntes schlecht gestelltes Problem und verlangt daher nach geeigneten Regularisierungsmethoden wie z.B. das der abgeschnittenen Singulärwertzerlegung.

4 Übertragungsfunktion

Die einzelnen Übertragungsfunktionen g (5) verlangen bei kohärenter Superposition bei höheren Frequenzen exakte Positionsdaten des Schiffes und der Hydrophone. Damit ist das Verfahren der kohärenten Monopolsuperposition für höhere Frequenzen kaum geeignet. Deutlich besser gestaltet sich die Problematik bei Verwendung von Dipolen, welche auch bei inkohärenter Superposition die Richtcharakteristik beibehalten.

Die Übertragungsfunktion für Dipolerregung (3) kann leicht durch Differentiation der Monopollösung ermittelt werden. Es existieren verschiedene numerische Programme, welche die Monopolerregung der mit einem Festkörper gekoppelten Helmholtz-Gleichung unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen in Zylinderkoordinaten ermitteln können. Hierbei wird die Rotationssymmetrie der Monopolerregung ausgenutzt, sodass keine Abhängigkeit vom Azimutwinkel φ existiert. Um die Dipollösung zu erhalten, muss dann nur

$$\partial_x g(r, z) = \partial_r g(r, z) \cdot \cos(\varphi) \quad (9)$$

gebildet werden. Diese Ableitung (9) ist dann aber vom Winkel φ abhängig. Dadurch wird die Richtcharakteristik verwirklicht.

Das vorgestellte theoretische Verfahren muss messtechnisch noch validiert werden. Dies soll in näherer Zukunft durchgeführt werden.

Literatur

[1] Arveson P.T, Vendittis D.I.: Radiated noise characteristics of a modern cargo ship, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 107, No. 1, January 2000
 [2] Urick, R.J.: Principles of underwater sound, McGraw-Hill Inc. 1967