Zielmaßverminderung eines skalierten Stahlkörpers mit Innenstruktur

Arne Stoltenberg, Ingo Schäfer
Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD 71), Akustische Modellierung, Berliner Strasse 115, 24340 Eckernförde, Deutschland
Email: ArneStoltenberg@Bundeswehr.org, Ingo5Schaefer@Bundeswehr.org

Einleitung

Das Zielmaß ist der richtungsabhängig zurückgestreute Anteil der Schallleistung, der die Sichtbareit eines Objektes für aktive Sonare bestimmt. Die Bestimmung und gezielte Beeinflussung des Zielmaßes ist ein dominantes Thema in der Wasserschallforschung. Aktuelle Rechenmodelle erlauben es, mit verschiedenen Ansätzen zur Lösung der Helmholtzgleichung das Zielmaß eines nahezu beliebig strukturierten Objektes recht erfolgreich zu bestimmen. Um neue Rechenmodelle referenzieren zu können, werden zunehmend komplexe Messdaten aus Referenzierungsexperimenten benötigt.

Im hier vorgestelltem Beitrag wurde ein - bereits in [1] vorgestellter - massiver konischer Stahlkörper mit einem Tripelspiegel und mit einer (für die betrachteten Wellenlängen) dünnen Aussenhaut (Stahlblech) modifiziert. Die Modifikation bestand aus der Ummantelung des Körpers mit einer (schallabsorbierenden) Gummischicht von 2 mm. Das aspektwinkelabhängige Zielmaß dieses Körpers wurde experimentell bestimmt, mit dem des unbeschichteten Körpers verglichen und herausragende Winkelbereiche des horizontalen Aspektwinkels identifiziert.

Grundlagen

Die Sonargleichung lautet in ihrer einfachsten Form:

$$RL = SL - 2 \cdot TL + TS,$$

mit RL = Empfangspegel (receive level), SL = Sendepegel (source level), TL = Ausbreitungsverlust (transmission loss) und TS = Zielmaß (target strength) [2]. Umgestellt nach dem Zielmaß TS ergibt sich:

$$TS = RL - SL + 2 \cdot TL.$$

Ist der (sphärische) Ausbreitungsverlust vernachlässigbar (im Wandlerabstand von 1 m ergibt sich ein TL von 0 dB), gilt $TS = RL - SL$. Über die Messung des Sendepegels und des Empfangspegels ist das Zielmaß so einfach bestimmbar.

Tankexperiment

Der Wassertank der WTD71 ist ein oben offener 5×5×3 m großer Quader aus Beton mit Schallabsorbern an den Wänden zur Unterdrückung von Vielfachreflexionen. Das Zielmaßobjekt bestand aus einem Stahlkegel (Länge 100 mm, ∅ 50 mm, Spitzenwinkel 2 × 14°) mit

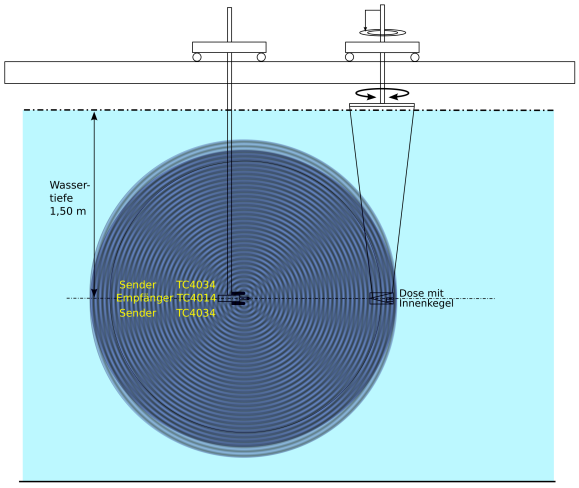

Abbildung 1: Versuchsaufbau: 2 Sender - Empfänger - Kombination in der Mitte des Tanks zur Maximierung der freien Weglänge

einem horizontalen Tripelspiegel auf einer Bodenstahlscheibe (Dicke 1 mm, ∅ 57 mm), eingeklebt in eine zylindrische Hülle aus dünnem Stahlblech (0,08 mm Dicke, unterer Teil einer Getränkedose).

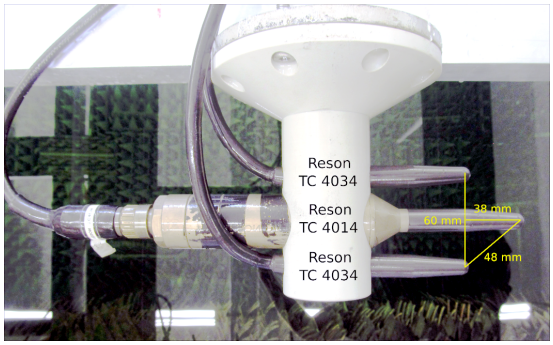

Abbildung 2: Senderanordnung

Wie in Abbildung 2 dargestellt, waren die beiden Sender und der Empfänger vertikal übereinander (im Abstand von je 30 mm) angeordnet. Dadurch entsprach das sich ergebende Summenschallfeld dem eines monostatischen Aufbaus, allerdings mit einer sich ergebenden größeren Sendeapertur von 60 mm. Die sich in größerem Abstand von der Empfängerebene einstellenden Interferenzen störten im Experiment nicht, wenn das untersuchte Objekt ausreichend durch ein Maximum des Interferenzfeldes beleuchtet wurde.

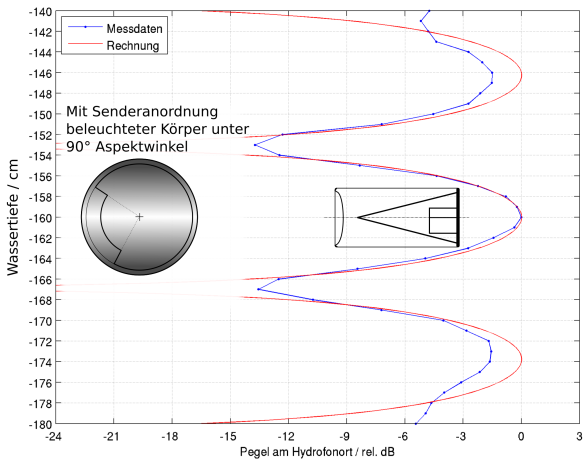

Abbildung 3: Objekt im Sendefeld der Senderanordnung

Das Objekt wurde über einem Drehkranz in 1°-Schritten definiert gedreht und seine Reflexionen für jeden Aspektwinkel als Zeitreihen aufgezeichnet. Separiert man aus den Zeitreihen den reflektierten Anteil des Objektes und kreuzkorreliert diesen Abschnitt jeweils mit dem (hier breitbandigen) Sendesignal, so erhält man die Impulsantwort des Objektes unter dem Aspektwinkel. Unter Beachtung der Kalibrierkurven von Sender und Empfänger kann das wahre Zielmaß winkelabhängig berechnet werden.

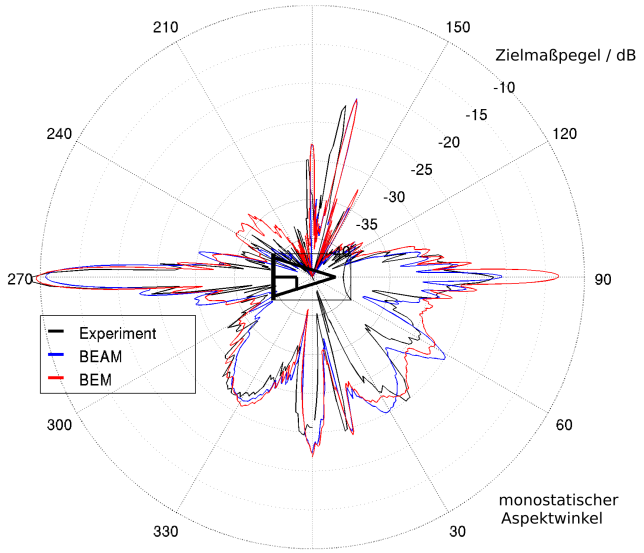

Abbildung 4: Polares Zielmaß des Messobjektes im Vergleich mit den Ergebnissen der Rechenmodelle BEM (Boundary Element Methode) und BEAM (Strahlverlaufsmethode)

Im Vergleich mit den Ergebnissen der monostatischen Modellierungen in Abbildung 4 erkennt man winkelabhängig die prägnantesten akustische Reflexionseigenschaften des Objektes:

Alle relevanten Effekte des Zielmaßes - bis auf den Aspektwinkel von 90° - wurden auch augenscheinlich zutreffend mit der monostatischen Sende-/Empfangseinheit erfasst und sind in Tabelle 1 aufgeschlüsselt. Die Zielmaßmessung bestätigte bei 90° die Vorhersage der numerischen Raytracing-Modellierung. Beide wichen allerdings um bis zu 8 dB von der BEM-Modellierung ab. Diese Abweichungen gilt es, im Weiteren zu untersuchen. Durch die zeitliche Auflösung konnten die beiden verschiedenen Reflexionen unter 90° getrennt erfasst werden, mit leichten Winkelabweichungen dargestellt in Abbildung 5.

Winkel	Reflexursache
0°	Tripelspiegel (als Doppelspiegel), Hülle
14°	Kegelmantelfläche
30° – 45°	Tripelspiegel (linker Teil)
45° – 65°	Tripelspiegel (recht. Teil + Bodenrefl.)
90°	Horneffekt + Bodenreflexion
152°	Mehrfachreflexion Kegel/Hülle
166°	Kegelmantelfläche (180° – 14°)
180°	Hülle
270°	planer Boden des Kegels
310° – 345°	Tripelspiegel (rechter Teil)

Tabelle 1: Aufstellung der aspektwinkelabhängigen Reflexursachen

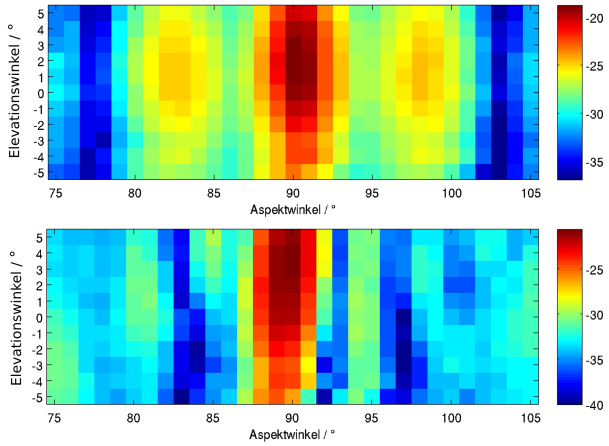

Abbildung 5: Objektreflexionen bei 90° über Aspekt- und Elevationswinkel am Dosenboden (oben), Kegelplatte (unten)

Bei einem Versuch mit dem Stahlkegel ohne Blechhülle konnten die Vorhersagen der BEM/FEM-Modelle unter 90° jedoch bestätigt werden [1].

Ummantelung des Objektes mit Gummi

Um eine zielmaßverringernde Maßnahme zu simulieren, wurde das Objekt mit einer handelsüblichen Gummimatte von 2 mm Dicke umwickelt (siehe Abbildung 6) und das resultierende Zielmaß entsprechend dem vorherigen Verfahren bestimmt. Dieses einfache Gummi aus der Werkstatt hat eine Dichte von 1470 kg/m^3, eine Shore-Härte von etwa 40 und die folgenden gemessenen akustischen Eigenschaften bei 200 kHz: eine Reflexion von 14% der Schallenergie und eine Transmission von 69% lassen auf eine Absorption von 17% (ca. -8 dB) schließen.

Das Gummi ist in seiner Schallimpedanz nicht an das Wasser angepasst. Dadurch ergab sich ein verspiegelnder Effekt: Es wurde, wie im Vergleich in Abbildung 7 dar-

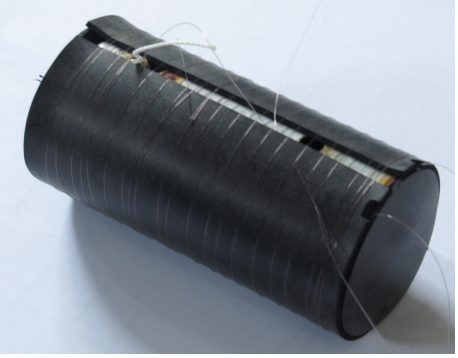

Abbildung 6: Zielmaßobjekt ummantelt mit 2 mm Gummi

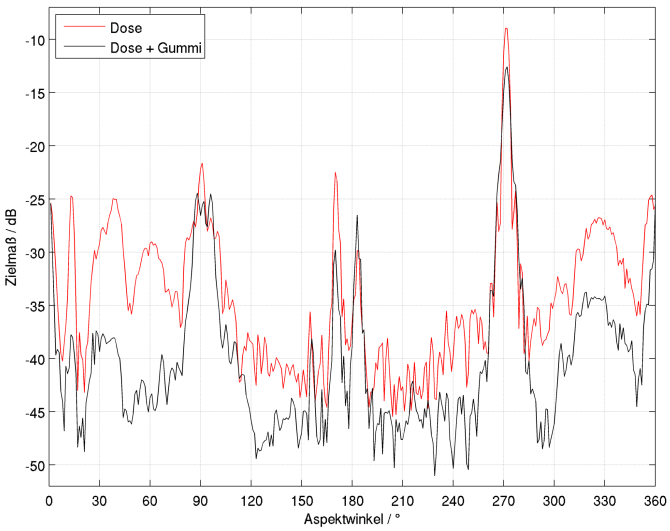

Abbildung 7: Vergleich der Zielmaße des Messobjektes ohne und mit Gummiabsorber

gestellt, ein größerer Anteil der Schallenergie reflektiert als an der dünnen Blechhülle, das Zielmaß vergrößerte sich (zum Beispiel bei den Winkeln 0° und 180°). Die transmittierte Schallwelle trat durch das Gummi hindurch (Gummidicke 2 mm ist etwa $\lambda/4$) und wurde innen am massiven Kegel reflektiert. Das Gummi spiegelte die Welle auch beim Verlassen des Körpers, so dass sich ein niedrigeres Zielmaß ergab. Dies war besonders bei Mehrfachreflexionen (weite Winkelbereiche mit Reflexionen des Tripelspiegels 10° bis 70° und 290° bis 350°) zu erkennen. Die Reflexionen an den äußeren massiven Teilen des Objektes (Kegelboden 270°, Dosenboden 90°) erschienen durch das Gummi um ca. 3 dB gedämpft.

Zusammenfassung

Das Zielmaß eines skalierten Körpers bestehend aus einer schallharten Innenstruktur unter einer dünnen Hülle wurde zur Referenzierung der bestehenden numerischen Zielmaßmodellierungen experimentell winkelaufgelöst bestimmt. Nur in einem Winkelbereich, in dem besondere Streuungen/Reflexionen am Körper auftreten, ergaben sich Unterschiede größer als 2-3 dB. Schon durch eine Ummantelung mit einem in der Impedanz unangepassten Gummi konnte das Zielmaß des Messkörpers über weite Winkelbereiche gesenkt werden. Unter einzelnen Aspektwinkeln konnten sich jedoch durch das unangepasste Material auch erhöhte Zielmaße ergeben.

Literatur

[1] Stoltenberg, Schäfer: „Zielmaßbestimmung eines skalierten Stahlkörpers mit Innenstruktur", DAGA Proceedings, 2018

[2] Robert J. Urik: „Principles of underwater sound", 3rd edition, Pensinsula Publishing, Los Altos, Kalifornien, 1983

[3] Heinz G. Urban: „Handbook of Underwater Acoustic Engineering", STN AtlasElektronik GmbH, Bremen, Germany, 2002