

# Akustisches Rückstreuverhalten von Unterwasserobjekten unter Berücksichtigung der Scherwelle

Ingo Schäfer<sup>1</sup>, Ralf Burgschweiger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Forschungsbereich für Wasserschall und Geophysik (FWG) der WTD71, 24148 Kiel

<sup>2</sup> Beuth Hochschule für Technik Berlin, 13353 Berlin

## Einleitung

Um die akustische frequenzabhängige Rückstreustärke eines Objektes zu berechnen, müssen aufwändige numerische Verfahren (FEM / BEM) genutzt werden. Bei diesen Verfahren steigt der Rechenaufwand überproportional zur Erregerfrequenz an, da die zugehörige Oberflächenelementierung entsprechend feiner durchgeführt werden muss. Die klassische Faustformel zur Bestimmung der Elementgröße verlangt mindestens sechs Elemente pro Wellenlänge. Diese Problematik kann mit Hilfe von Hochfrequenz-Näherungsverfahren (PWA, Raytracer) verringert werden. Bei diesen Verfahren werden optische Analogien genutzt, die nur für hohe Frequenzen zulässig sind.

## Akustische Schallrückstreuung

Die akustische Schallrückstreuung kann mit Hilfe des Kirchhoff-Helmholtz-Integrals (Gl. 1) bei bekanntem Druck und Schnelle auf dem Rand  $\Gamma$  des Objekts berechnet werden

$$p_{sca} = \int \left[ g \frac{\partial p}{\partial n} - p \frac{\partial g}{\partial n} \right] d\Gamma. \quad (1)$$

Hierbei ist die Funktion  $g$  die Fundamentallösung der Helmholtz-Gleichung. Mit einer vollständigen gekoppelten Randelementberechnung zwischen Objekt und umgebenden Fluid könnten nun der unbekannte Druck und die Schnelle auf der Oberfläche des Objekts bestimmt werden und dann die akustische Rückstreuung (Gl. 1) an jedem beliebigen Punkt im Fernfeld.

## Dünnwandige Strukturen

Der oben aufgezeigte Rechenweg verlangt insbesondere bei hohen Frequenzen einen sehr hohen Rechenaufwand. Dieser kann deutlich reduziert werden, falls die noch unbekanntes Oberflächengrößen Druck und Schnelle mit Hilfe von strahlentheoretischen Ansätzen bestimmt werden.

$$p^R = Rp^i, p^T = Tp^i \quad (2)$$

Hierbei wird der auftreffende Schallstrahl  $p^i$  in einen reflektierten  $p^R$  und einen transmittierten  $p^T$  Schallstrahl aufgeteilt. Der Reflexionsfaktor  $R$  und der Transmissionsfaktor  $T$  (Gl. 2) kann mittels der von Brekhovskikh [1] angegebenen Verfahren auch unter Berücksichtigung der Scherwelle berechnet werden. Dieses Verfahren beruht auf der Annahme, dass für jeden Schallstrahl das Reflexionsgesetz für ebene Wellen und unendliche Platten angewandt wird. Aus diesem Grunde gilt es insbesondere für hohe Frequenzen und es berücksichtigt nicht Effekte wie Resonanzen und Beugung.

Neben diesem strahlentheoretischen Ansatz wird für niedrige Frequenzen die BEM bemüht. Die Kopplung der dünnwandigen Struktur mit dem umgebenden Fluid wird hierbei mit Hilfe einer Massenträgheitskopplung über eine Impedanzrandbedingung realisiert. Die hieraus resultierende Lösung gilt auch für niedrigere Frequenzen, kann aber Scherwelleneffekte nicht beschreiben.

Als Referenz wird eine vollständige durch FEM ermittelte Fluid-Struktur gekoppelte Lösung angegeben. Aufgrund des hohen Rechenaufwands wird allerdings ein rotationsymmetrisches Modell betrachtet, da in diesem Fall die Anzahl der benötigten Elemente deutlich sinkt.

## Beispiele

Als Beispiel wird zunächst ein luftgefüllter Stahlkörper (M2) mit einer Blechstärke von 20 mm betrachtet.

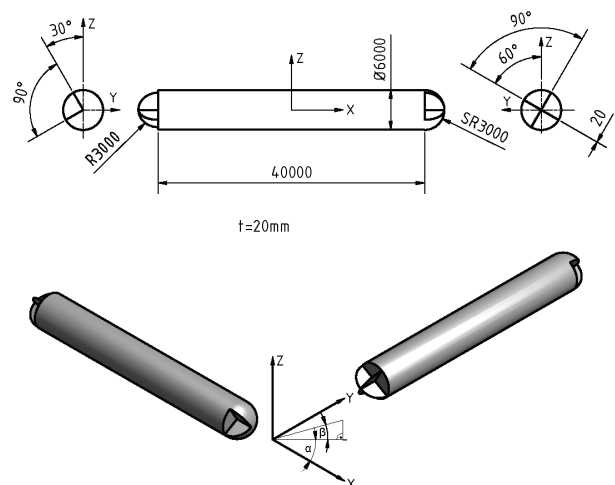


Abb. 1: Stahlblechkörper M2, 20 mm

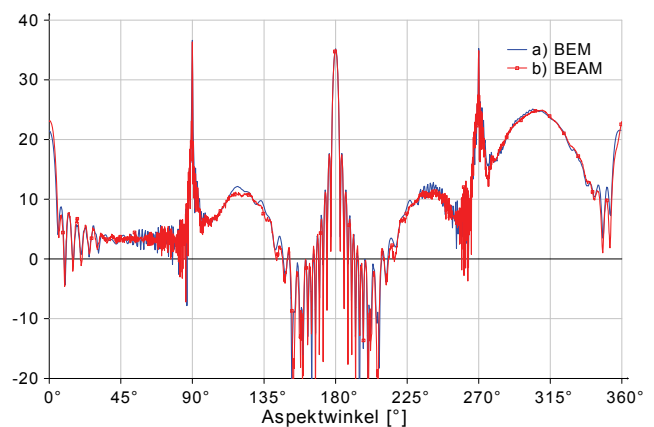


Abb. 2: M2, normierter Schalldruck [dB], 3 kHz

Dieser Körper (Abb. 1) besteht aus einem Zylinder, der an einem Ende eine Halbkugel mit einem eingesetzten Tripelspiegel und an dem anderen Ende vier Tripelspiegel durch zwei gekreuzte Bleche besitzt. Die Ergebnisse (Abb. 2) wurden zum einen mit einem Raytracer (BEAM, rot) und zum anderen mit der BEM (BEM, blau) ermittelt. Sowohl der Sender als auch der Empfänger befinden sich aspektwinkelabhängig im Fernfeld an der gleichen Position. Der Schalldruck im Fernfeld des Körpers M2 wird hierbei bei 3 kHz ermittelt und normiert auf den einfallenden Schalldruck in dB in einem Meter Entfernung über den Aspektwinkel dargestellt.

Beide Ergebnisse stimmen weitgehend überein. Bei Beschallung aus einem Bereich zwischen 270° und 360° wird der lufthinterlegte Tripelspiegel getroffen. Dieser liefert erwartungsgemäß hohe Werte. Zwischen 90° und 270° werden die zwei wasserhinterlegten Tripelspiegel beschallt. Diese liefern geringere Werte, da ein Teil der Schallenergie durch die Stahlbleche transmittiert.

Als zweites Beispiel dient ein Stahlkegel in einer wassergefüllten Stahlkugel (Abb. 3). Der Kegel besitzt eine Materialstärke von 30 mm Stahl, einen Öffnungswinkel von 90° und einen maximalen Radius von einem Meter. Die Kugel besteht aus einer Stahlschale (5 mm Stärke, 1100 mm Radius).

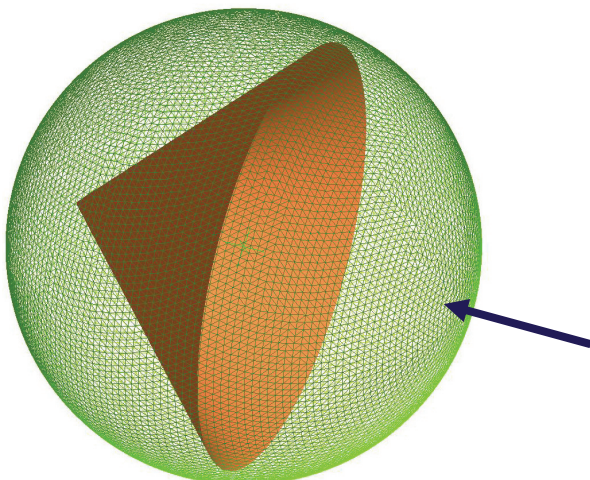


Abb. 3: Stahlkegel in Stahlkugel

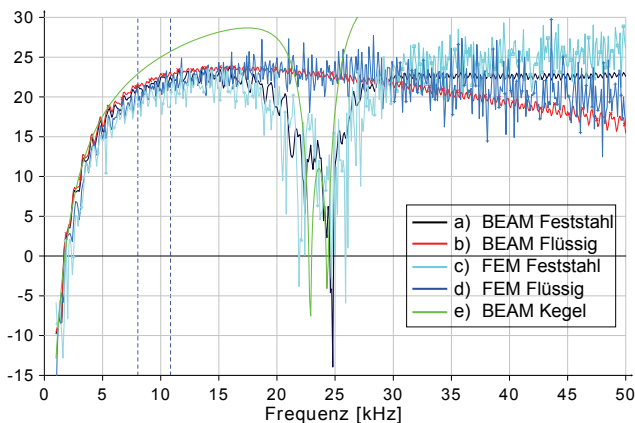


Abb. 4: Kegel, normierter Schalldruck [dB]

Das Objekt wird in den Kegel hinein (Abb. 3, Sende- und Empfangsposition fest) beschallt. Der normierte Schalldruck im Fernfeld wird nun über die Frequenz aufgetragen.

Es besteht eine hohe Übereinstimmung (Abb. 4) zwischen den BEAM und den FEM Verfahren. Die relativ hohen Schalldruckwerte entstehen durch den Kegel, daher ist zum Vergleich der Kegel auf Stahl ohne Kugel (Abb. 4, grün) angegeben. Der Einbruch um 25 kHz (bei festem Stahl) ist durch die Scherwelle im Kegel zu erklären. Die Wellenlänge dieser Welle stimmt mit derjenigen des Wassers überein, so dass der Kegel die Schallenergie transmittiert. In den anderen Frequenzbereichen stimmen die Ergebnisse überein. Für sehr hohe Frequenzen (> 100 kHz) reflektiert die äußere Kugel den Schall, daher werden diese Ergebnisse gegen die schallharte Kugel (-5 dB) konvergieren.

Dieser Effekt entsteht auch bei einem komplexen großen Objekt. Als Beispiel dient das Objekt M2 (Abb. 1), welches in ein anderes wassergefülltes Objekt M3 (Abb. 5) mit Blechstärke 8 mm gesetzt wird.

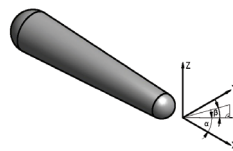


Abb. 5: M3, 8 mm

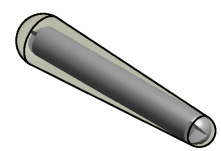


Abb. 6: M32

Das entstehende Objekt M32 (Abb. 6) besitzt ähnliche akustische Eigenschaften wie das Objekt M2, da die Tripelspiegel dominieren. Erst bei sehr hohen Frequenzen (> 200 kHz) sorgt die 8 mm starke Hülle des Objekts für eine vollständige Abschirmung der Tripelspiegel.

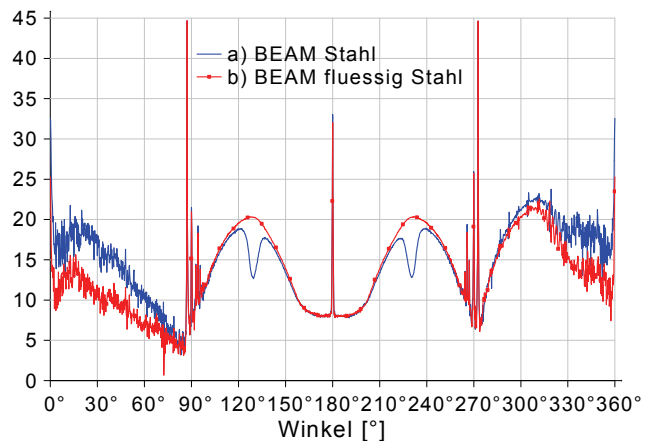


Abb. 7: M32, normierter Schalldruck [dB], 30 kHz

Die Größe des Objekts verhindert die Anfertigung einer BEM Referenzrechnung. Die Auswirkungen der Tripelspiegel sind deutlich zu erkennen (Abb. 7). Die wasserhinterlegten Bleche erzeugen die durch die Scherwelle entstehenden Einbrüche bei 130° und 230°. Der lufthinterlegte Tripelspiegel bei 300° weist diesen Effekt nicht auf.

### Literatur

- [1] Brekhovskikh, L.M.: Waves in Layered Media, Academic Press, N.Y. 1960