

# Anwendungen der FEM/BEM in der Hydroakustik

Anton Homm

Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik, Kiel

## Einleitung

In der Unterwasserakustik kommt der Streuung und Reflexion von Schallwellen zur Detektion, Ortung und Klassifikation von Unterwasserkörpern eine ähnlich hohe Bedeutung zu, wie den Radarverfahren im Bereich der Luftfahrt. Im praktischen Einsatz kommt eine große Bandbreite von Schallsignalen zur Anwendung, deren Frequenzen und Signalformen stark von dem jeweils zu untersuchenden Objekt abhängen. Numerische Verfahren sind in gewissen Grenzen in der Lage das akustische Rückstreuverhalten von Unterwasserstrukturen zu simulieren. Im Bereich der Verfahrensentwicklung wurden akademische Strukturen wie einfache endliche Zylinder oder das „Katzenauge“ numerisch untersucht [1], [2]. Probleme für Verfahren wie Finite Elemente und Boundary Elemente Methoden entstehen hier vor allem durch die relativ hohen Frequenzen in Bezug auf die komplexen Strukturen und Geometrien. FEM und BEM werden bei der Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik auch für Fragestellungen zur Schallabstrahlung unter Wasser eingesetzt. Sie werden z.B. zur Berechnung der dynamischen Eigenschaften fluidbelasteter Strukturen (Modalanalyse) und deren Schallabstrahlung ins Wasser herangezogen [3]. Man hat es also in der Regel mit einem Außenraumproblem im akustischen Medium Wasser zu tun. Anders als im Luftschall ist bei Abstrahlungsberechnungen unter Wasser der Einfluss des umgebenden Mediums stets mit einzubeziehen [4]. Hierüber wurde bereits auf der letzten DAGA in Oldenburg berichtet, [5]. Ein weiteres Anwendungsgebiet sind unterstützende Berechnungen im Rahmen der Entwicklung breitbandiger schallabsorbierender Beschichtungen, gekoppelt mit experimentellen Untersuchungen zur Bestimmung von Materialkennwerten. Anhand der Gegenüberstellung konkreter Berechnungsbeispiele mit experimentellen Daten sollen die Grenzen der derzeitigen Möglichkeiten aufgezeigt werden.

## Aktuelle Untersuchungen

### Experiment

Das hier vorgestellte Projekt wurde im August letzten Jahres auf einer Forschungsfahrt mit dem Forschungsschiff der FWG, PLANET, im Bokna-Fjord, Norwegen, durchgeführt. Dabei wurden Schallstreuungs- und Nahfeldexperimente an einem vereinfachten Modellkörper durchgeführt. Diese Freifeld-Untersuchungen standen im Zusammenhang mit der Entwicklung breitbandig absorbierender Beschichtungsmaterialien. Aus Platzgründen wird hier nur auf die Rückstremessungen eingegangen. Für nähere Ausführungen zu den Nahfeldmessungen sei hier auf [6] verwiesen. Abbildung 1 zeigt schematisch den Versuchsaufbau zur Messung der Rückstreustärke des Modells. Das Modell ist ca. 4 m lang und hat einen Durchmes-

ser von 0,5 m. Es ist zur Hälfte mit einem absorbierenden Material beschichtet. Durch die unmittelbare Gegenüberstellung der beschichteten und unbeschichteten Seite soll die Wirkung der absorbierenden Beschichtung vermessen werden.

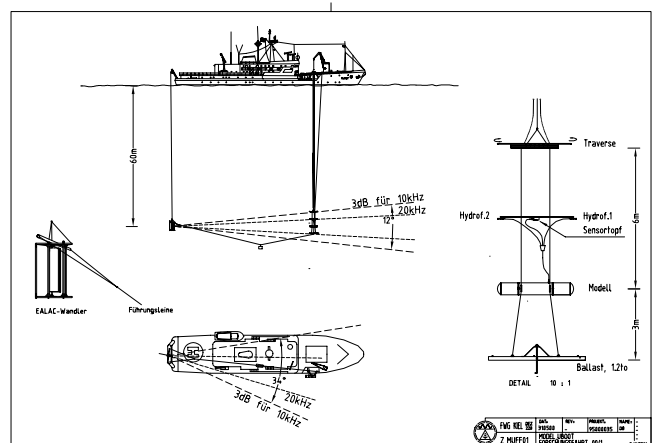


Abb. 1: Schematische Skizze des Versuchsaufbaus zur Rückstremessung

Als Schallquelle und Empfänger dient im Abstand von ca. 60 m ein gerichteter Wandler der Firma ELAC, der als Array aufgebaut ist und zwischen 10 und 20 kHz ausgeprägte Richtwirkung zeigt. Modell und Wandler hängen in einer Tiefe von ca. 50 m. Um den Wandler auf das Streuobjekt auszurichten, wurde er mit dem Ballast des Modells durch ein unter Zug stehendes Seil verbunden. Durch geeignete Wahl des Sendesignals (Mittelfrequenz, Bandbreite, Signaldauer) können Oberflächen- und Bodenreflexionen ausgeblendet werden. Im Abstand von 3 m über dem Modell befinden sich zwei Hydrofone an den Enden einer 4 m langen GFK-Stange, parallel zur Symmetrieachse des Modells. Durch Korrelation der Hydrofonsignale kann der jeweilige Einfallswinkel des Schallsignals bestimmt werden.

### Berechnungen

Der untersuchte Frequenzbereich zwischen 10 und 20 kHz entspricht Helmholtzzahlen  $ka$  von etwa 10 bis 20. Berechnungen mit Standard Boundary Elemente Methoden, wie sie mit einem direkten Kollokationsverfahren etwa in SYSNOISE zur Verfügung stehen, werden durch die hohe Anzahl erforderlicher Elemente sehr aufwändig und zeitraubend. BEM Modelle für die untersuchte Struktur bis 20 kHz umfassen knapp 50 000 Elemente. Für diese Berechnungen wurde daher ein BE-Verfahren mit iterativem Gleichungslöser eingesetzt [7]. Selbst mit diesem Verfahren gestattet der Zeitaufwand nicht die Berechnung fein aufgelöster monostatischer Richtcharakteristiken für alle Frequenzen. Deshalb wird zum Vergleich eine Berechnung mit der Plane Wave Approximation (PWA) herangezogen. Die

Berücksichtigung der Materialparameter der Beschichtung erfolgt über die Angabe einer Normal-Impedanz, die über die gesamte Struktur als konstant angenommen wird. Diese Impedanz wird aus den frequenzabhängigen Materialkennwerten der einzelnen Schichten unter der Annahme unendlich ausgedehnter ebener Platten bei senkrechtem Schalleinfall berechnet. Für das unbeschichtete Modell kann die Struktur in diesem Frequenzbereich in guter Näherung als schallhart angenommen werden. Abbildung 2 zeigt die Gegenüberstellung der mit beiden Verfahren berechneten Rückstreustärken in dB re  $1 \mu\text{Pa}$ , bezogen auf 1 m Abstand zum akustischen Zentrum bei einer Frequenz von 12 kHz. Weil nur eine der Endkappen eine absorbierende Beschichtung trägt, sind jeweils nur Winkel zwischen  $-10$  und  $90$  Grad für den Vergleich dargestellt. Der Winkel von  $0^\circ$  entspricht dem Beam Aspekt (Breitseite).

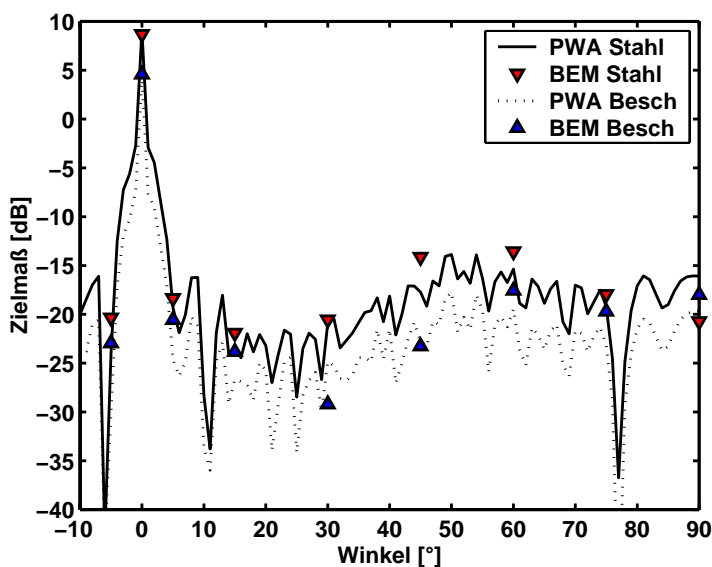


Abb. 2: Monostatische Richtcharakteristik der Standardrückstreustärke bei 12 kHz (PWA, BEM)

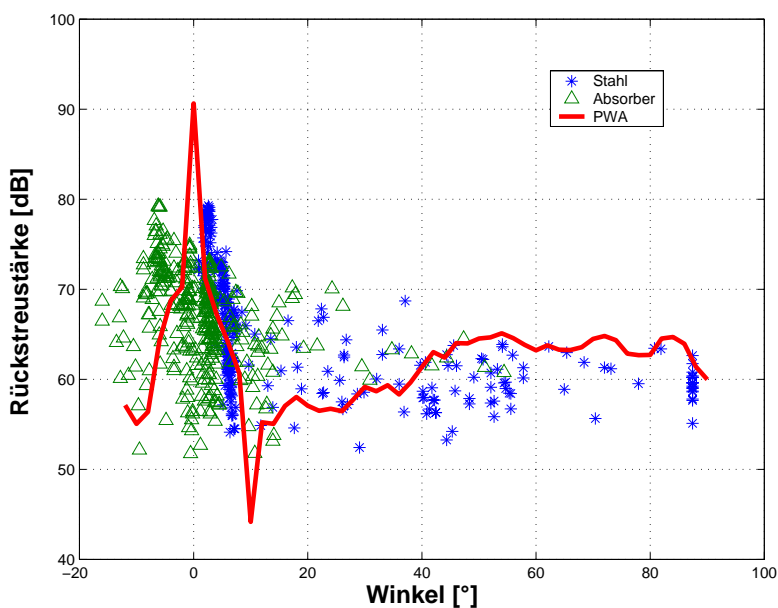


Abb. 3: Standardrückstreustärke bei 16 kHz (PWA, Experiment)

Der Unterschied zwischen beschichteter und unbeschichteter Seite ist in den experimentellen Daten schwer nachzuweisen, denn durch einen Fehler bei der Auslegung liegt die erwartete Reflexionsdämpfung der Beschichtung in der gleichen Größenordnung wie die Schwankungsbreite der gemessenen Rückstreustärken. Weil der Winkel nicht am Ort des Messobjektes, sondern in 3 m Abstand über dem Modell gemessen wird, liegen die experimentellen Maxima nicht exakt bei Null Grad, sondern jeweils etwas verschoben.

## 1 Zusammenfassung

Die Anwendung diskretisierender Berechnungsverfahren in der Hydroakustik wurde anhand eines Vergleichs der gemessenen und berechneten Standardrückstreustärke eines absorbierend beschichteten Druckkörpermodells gezeigt. Kommerzielle Standardsoftware im FEM und BEM-Bereich ist dafür wegen der relativ hohen Frequenzen nur unter großem Aufwand an Hardware und Zeit einsetzbar. Als Alternativen wurden zum einen Ergebnisse mit der Plane Wave Approximation gezeigt, die bei dieser konvexen Struktur gutmütiges Verhalten zeigt. Zum anderen kam ein neu entwickeltes iteratives Lösungsverfahren für BEM zum Einsatz, das auch bei komplexeren Strukturen in endlicher Zeit gute Ergebnisse liefert.

## Literatur

- [1] A. Homm, M. Ochmann, „Sound Scattering of a Rigid Test Cylinder Using the Source Simulation Technique for Numerical Calculations“, Proceedings of the „4th International Congress on Sound and Vibration“, St. Petersburg 1996;
- [2] M. Ochmann, A. Homm, „Berechnung der Schallstreuung an Körpern mit variabler Oberflächenimpedanz und Mehrfachreflexionen“, Fortschritte der Akustik, S. 167-168, DAGA '97, Kiel;
- [3] O. von Estorff, (Editor), Boundary Elements in Acoustics, Kapitel 13, Application of BE- and Coupled FE/BE-Methods in Underwater Acoustics, WIT Press, Southampton 2000;
- [4] J.P. Coyette, K.R. Fyfe, „Solution of Elasto-Acoustic Problems Using a Variational Finite Element/Boundary Element Technique“, Proceedings, ASME winter annual meeting, 1989;
- [5] A. Homm, H. Peine „Schallabstrahlung getauchter Strukturen: Numerische Simulation und Freifeldexperiment“, Fortschritte der Akustik, S. 720-721, DAGA 2000, Oldenburg;
- [6] J. Ehrlich, H. Peine „Akustische Rückstreuung getauchter Strukturen mit schallabsorbierender Beschichtung - Numerische Modellierung und Experiment“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2001, Hamburg-Harburg;
- [7] M. Ochmann, A. Homm „Ein iteratives GMRES-Verfahren zur Berechnung der Schallstreuung an zylinderähnlichen Strukturen“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2001, Hamburg-Harburg;