

# Tanexperiment des Projektes „Virtueller Ozean“ - Aufbau und erste Versuche

Arne Stoltenberg

Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD71),  
Forschungsbereich für Wasserschall und Geophysik (FWG), Kiel, Email: ArneStoltenberg@Bundeswehr.org

## Einleitung

Ziel des Projektes „Virtueller Ozean“ ist die Erstellung und Validierung eines phasengenauen Modells für die Schallausbreitung im Meer. Die Daten von Seeversuchen sind zur Überprüfung von neuartigen Simulationen wegen der Vielzahl an variablen und räumlich und zeitlich nicht ausreichend abtastbaren Umweltparametern oft nicht geeignet. Um das Rechenmodell „PESSim“ (Parabolic Equation Sound Simulation) [2] [3] mit Daten aus Wasserschallmessungen unter definierten Bedingungen validieren zu können, wurde ein skaliertes Experimentaufbau im Wassertank des FWG im Maßstab 1:100 realisiert.

Tabelle 1: Maßstab 1:100

Ozean	↔	Tank
$d = 1 \text{ m}$	↔	1 cm
$f = 1 \text{ kHz}$	↔	100 kHz
$\lambda = 1,5 \text{ m}$	↔	15 mm
$\ell = 150 \text{ m}$	↔	1,5 m *

\* Das Modell entspricht lediglich in horizontaler Ausdehnung  $\ell$  dem Maßstab 1:100 nicht. In Seeversuchen beträgt  $\ell$  oft bis zu 10 sm = 18500 m und nicht nur 150 m.

Mit diesem Experimentaufbau können einzelne, für die Schallausbreitung relevante Parameter gezielt variiert und die unter den jeweiligen Bedingungen gewonnenen Messdaten mit den Ergebnissen der numerischen Simulation verglichen werden. Der Aufbau erlaubt eine reproduzierbare Positionierung des Schallempfängers mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,2 \text{ mm}$  und kann auch für andere Fragestellungen wie zum Beispiel der richtungsaufgelösten Schallstreuung oder für Kommunikationsversuche eingesetzt werden.

## Versuchsaufbau

Der Experimentaufbau wurde am Wassertank des FWG ( $5 \times 5 \times 3 \text{ m}$ ) aus einem Aluminiumrahmen mit kombinierten Linearantrieben der Fa. Bosch-Rexroth realisiert. An dem Rahmen hängt eine 120 mm starke,  $1 \times 2 \text{ m}$  große PVC-Platte im Wasser. Diese Platte stellt im skalierten Experimentaufbau den Untergrund des Meeres dar. Der Rahmen und die Grundplatte sind über Gewindestangen und -bolzen waagrecht ausrichtbar. An der Platte können Steigungen bis zu 5% eingestellt werden. An dem Messrahmen sind die Linearantriebe in  $x$ -Richtung als Doppelantrieb (Gantry-Verbund) befestigt (siehe Abbildung 1). Auf den  $x$ -Antrieben sind die  $y$ - und  $z$ -Antriebe in den beiden anderen Raumrichtungen montiert. So ist es mit einem von den Linearantrieben positionierten Hydrofon möglich, das Schalldruckfeld im Raum zwischen der Grundplatte und der Wasseroberfläche in allen drei

Dimensionen räumlich hochaufgelöst ( $\pm 0,2 \text{ mm}$ ) zu erfassen. Die Linearantriebe werden über passende Antriebsregelgeräte durch einen Bedien-PC gesteuert.

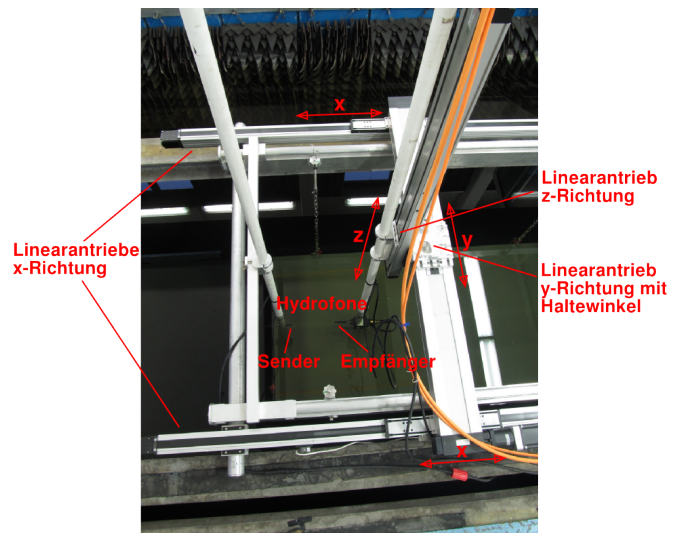


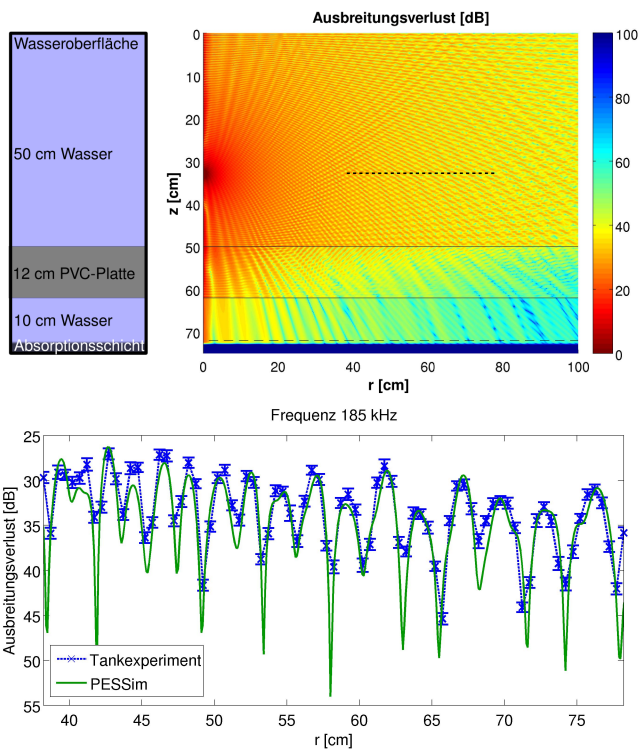
Abbildung 1: Experimentaufbau mit hydroakustischen Wandlern und Linearantrieben in drei Raumrichtungen

Als Sendesignale werden breitbandige Signale (linear frequenzmoduliert oder sinc-ähnlich) im Frequenzbereich von 150 kHz bis 250 kHz verwendet. Sie werden von einem mit 4 Hz getriggerten Arbiträrsignalgenerator mit einer Austastfrequenz von 16 MHz generiert und durch einen Leistungsverstärker verstärkt. Die getriggert gesendeten akustischen Signale des (veränderbar) fest montierten Sendewandlers (Reson TC-4034) erfahren am Boden und an der Wasseroberfläche Reflexionen. Die Zeitreihen dieser Mehrwegeausbreitung werden durch das Hydrofon (Reson TC-4014) erfasst und zusammen mit dem Sendetrigger-Signal, dem Sendesignal und dem Monitor-Signal des Leistungsverstärkers von einem Transientenrekorder (Tasler LTT-184) mit einer Abtastrate von bis zu 20 MHz aufgezeichnet. Bei der nachfolgenden Datenauswertung können die Positionen des Hydrofons relativ zum Sender und den Berandungen aus den Laufzeiten bestimmt werden. Die Laufzeiten entsprechen bei bekannter Schallgeschwindigkeit im homogenen Medium Wasser ( $c_W = 1469 \text{ m/s}$ ) den Entfernungen im Experimentaufbau [1].

## Experimente

Die ausgeführten Experimente dienen dazu, Rechenmodellen zur (phasengenauen) Wasserschallausbreitung reproduzierbare Messdaten zur Validierung zur Verfügung zu stellen.

Es wurden zunächst einfache Experimente mit der Grundplatte in verschiedenen Neigungswinkeln senkrecht zur  $x$ - $z$ -Ebene und mit verschiedenen auf der PVC-Platte aufliegenden Kunststoff- und Gummiplatten ausgeführt. Die detaillierte Auswertung der Einflüsse der einzelnen sonarrelevanten Parameter fließt in die Weiterentwicklung des PESSim-Modells ein. Schon jetzt ist eine gute Übereinstimmung der Modellierung mit den gemessenen Daten in Abbildung 2 erkennbar.



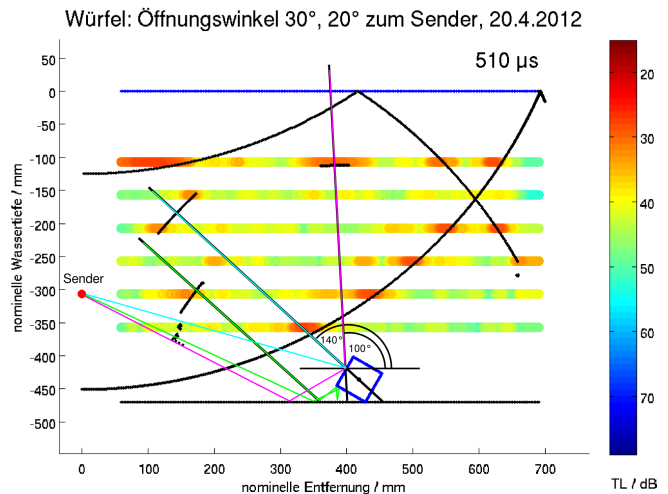
**Abbildung 2:** Messung und Modellierung des Schalldruckfeldes einer einfachen Experimentkonfiguration

Ferner wurden mit dem Experimentaufbau auch Messungen zur Untersuchung des Zielmaßes eines einfachen Körpers ausgeführt (ein Stahlwürfel mit der Kantenlänge von 5 cm mit der Neigung von  $30^\circ$  auf einer 4 mm dicken Stahlplatte). Hierbei wurden in verschiedenen Wassertiefen Schalldruckmessungen im Abstand von 2,5 mm über eine Entfernung von etwa 70 cm aufgezeichnet. An den Flächen des Würfels ergeben sich Reflexionen in unterschiedliche Richtungen, die mit verschiedenen Rechenmodellen (ray-tracing, FE-Methoden) nachvollzogen werden können. Die wesentlichen Reflexionsrichtungen sind:

- $140^\circ$ : a) Einfachreflexion an oberer Würfelfläche
- $100^\circ$ : Zweifachreflexion am Boden und oberer Würfelfläche
- $140^\circ$ : b) Fünffachreflexion an Boden, unterer Würfelfläche, Boden, unterer Würfelfläche, Boden.

Der Verlauf der reflektierten Teilwellen ist in der Darstellung der gemessenen Schalldrücke in der  $x$ - $z$ -Ebene in der zeitlichen Entwicklung zu erkennen. In Abbildung 3 wurden die Winkel der reflektierten Teilwellen zur Orientierung ebenfalls dargestellt. Im Falle der Mo-

dellierung der Reflexionen mit Dauerstrichsignalen ergeben sich zwischen den beiden Reflexionen unter  $140^\circ$  frequenzabhängige Interferenzeffekte.



**Abbildung 3:** Schallstrahlenreflexionen am Stahlwürfel in den Detektionsebenen farblich dargestellt, mit winkeladaptivem Schallstrahlenmodell gerechnete Schallwellenfronten (schwarz) und den Ausbreitungsrichtungen für Einfachreflexion (cyan), Zweifachreflexion (magenta) und Fünffachreflexion (grün)

## Zusammenfassung

Mit dem Tankexperiment steht im FWG ein Experimentaufbau zur Untersuchung von skalierten Schallausbreitungszenarien zur Verfügung, der leicht und gezielt in den wesentlichen sonarrelevanten Parametern modifiziert werden kann. Es werden Messungen zur Validierung von Schallausbreitungsmodellen mit verschiedenen Ansätzen (Schallstrahlen, Finite Elemente Methoden, Parabolic Equation) ausgeführt. Durch die genaue Positionierung ist der Aufbau geeignet, um Interferenzschalldruckfelder von Signalen im 100 kHz-Bereich zu erfassen. Es können richtungsaufgelöste Zielmaßmessungen an skalierten Modellen durchgeführt werden.

## Danksagung

Zum Gelingen des Experimentaufbaus, der Messungen und Auswertung haben meine Kollegen Alexandra Schäfke und Rüdiger Jacobsen sowie Jan Ehrlich und Ingo Schäfer (alle WTD71/FWG) beigetragen. Ihnen danke ich dafür und für die stets gute Zusammenarbeit.

## Literatur

- [1] Robert J. Jurik: "Principles of underwater sound", 3rd edition, Pensinsula Publishing, Los Altos, Californien, 1983
- [2] Alexandra Schäfke: "Grundlagen für ein Parabolic Equation Modell zur Simulation der Schallausbreitung in flüssigen und festen Medien", FB 0158/2011, WTD71/FWG, Eckernförde/Kiel, 2011
- [3] Alexandra Schäfke: "Validierung des Parabolic Equation Modells PESSim", FB 0115/2012, WTD71/FWG, Eckernförde/Kiel, 2012