

## Tiefwassermessungen zum Zielmaß von Testkörpern

Edgar Schmidtke

Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung, WTD 71,  
Berliner Straße 115, 24340 Eckernförde, Deutschland, Email: EdgarSchmidtke@bundeswehr.org

### Einleitung

Das Zielmaß (TES, Target Echo Strength) ist jene Zahl, die frequenz- und richtungsabhängig die Stärke des akustischen Echos eines unter Wasser getauchten Körpers angibt (z.B. Urick [3]).

Grundsätzliches Ziel ist es, das Zielmaß so klein wie möglich zu halten und bei bestehenden Objekten gegebenenfalls weiter zu reduzieren. Diese Reduktion kann durch Aufbringen von Beschichtungen erzielt werden.

Für den Fall, dass Sender und Empfänger am gleichen Ort sind (sogenannter mono-statischer Fall), kann das Zielmaß – und damit das Echo – reduziert werden, indem die am Ziel ankommende Energie in andere Richtungen gestreut wird. Solche Beschichtungen, die die dahinter liegenden Objekte und Strukturen akustisch verspiegeln, sind als Gummi-Materialien kommerziell verfügbar und erfordern für Frequenzen größer als 3 kHz nur Schichtdicken von etwa 2 cm. Nachteil dieses Verfahrens ist, dass Energie in Richtungen gestreut wird, in die ohne Beschichtung nichts oder nur wenig gestreut wurde, eine Detektion in diesen Richtungen (so genannter bi- oder multi-statischer Fall) daher wahrscheinlicher wird.

Um auch dies zu unterdrücken, verfolgt die WTD 71 den Ansatz, die auf den Streukörper treffende Energie mit einer geeigneten Beschichtung zu absorbieren (dissipieren).

Im letzten Jahr konnten dazu erfolgreiche Experimente für Frequenzen zwischen 5 kHz und 11 kHz im Hafen des Marinearsenalbetriebes Kiel vorgestellt werden (vgl. Schmidtke [2]). Die Wirksamkeit der schallabsorbierenden Beschichtungen an den verwendeten Testkörpern konnte nachgewiesen werden. Um diese Experimente jedoch bei Frequenzen von weniger als 5 kHz erfolgreich durchführen zu können, sind wesentlich größere Abstände und Wassertiefen erforderlich. Daher wurden Versuche mit dem Forschungsschiff FS PLANET im norwegischen Bokna-Fjord bei Wassertiefen von etwa 280 m geplant und im November 2014 durchgeführt.

### Aufbau des Experimentes

Um möglichst wettergeschützt und mit möglichst wenig akustisch störendem Schiffsverkehr bei ruhendem eigenem Schiff messen zu können, erwies sich zum wiederholten Male der norwegische Bokna-Fjord als geeignet. Der ansonsten bis über 1000 m tiefe Fjord bietet an der Messposition in der Nähe von Stavanger eine Ankerposition bei einer Tiefe von 280 m. Dort konnte FS PLANET stabil bis zu einer Windstärke von 6 BF (in Böen 8 BF) ankern und experimentieren.

Am Heckgalgen des Schiffes wurden die Wasserschallsender auf eine Tiefe von ca. 110 m senkrecht abgehängt, das Hydrofonarray mit 161 Hydrofonen und einer akustischen Länge von etwa 40 m mit seiner Mitte auf ca. 90 m und die zu untersuchenden Streukörper auf ca. 70 m (vgl. Abb. 1). Damit sind die wesentlichen Schallquellen, Sender und Streukörper, mittels Richtungsbildung der akustischen Antenne deutlich voneinander trennbar (vgl. Abb. 2). Als Streukörper wurden die gleichen Kugeln verwendet wie im Vorjahr, luftgefüllte Stahlkugeln mit einer Schalendicke von 10 mm, einem Durchmesser von 1 m, Stahlballast für leichten Abtrieb innen und der außen aufgeklebten Beschichtung.

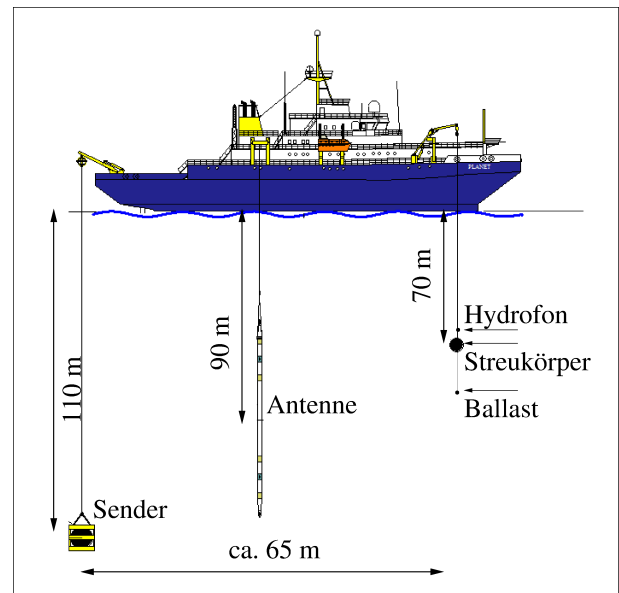


Abbildung 1: Prinzipieller Ausbau der Experimente im Bokna-Fjord mit FS PLANET.

### Messungen

Als Sendesignale wurden lineare Frequenzsweeps (LFM) mit einer Bandbreite von 1 kHz und einer Dauer von 9 ms verwendet. Der Sendepiegel musste für ein ausreichendes Signal-zu-Rausch-Verhältnis des Echos relativ hoch gewählt werden, auch wenn dies bedeutet hat, dass das Signal des Sendepulses die Empfangsantenne übersteuerte. Das Sendesignal wurde daher mit dem Referenzhydrofon über dem Streukörper aufgezeichnet, das Echo mit der Antenne. Als erstes Objekt wurde eine unbeschichtete Stahlkugel vermessen. Für den Frequenzbereich über 5 kHz ist die Frequenz-Wellenzahlanalyse über die 65 äquidistanten Hydrofone (7,5 cm Abstand, 4,80 m Länge, 31250 Samples/s/Kanal) in der Mitte der Anten-

ne eine geeignete Möglichkeit der Datenauswertung. Das Analyseverfahren fußt auf einer zweidimensionalen Fouriertransformation über den Ort (der einzelnen Hydrofone) und die Zeit. Da das von der Stahlkugel reflektierte Signal beim Eintreffen an der Antenne keine perfekte ebene Welle darstellt sondern leicht gekrümmt ist, und ein LFM statt eines cw-Signals verwendet wurde, erscheint das Echo nicht als scharfer Punkt bei einer bestimmten Frequenz aus einer bestimmten Richtung sondern verschmiert ein wenig sowohl in Frequenz als auch in Wellenzahl. Um die Gesamtenergie zu ermitteln, die in dem Signal steckt, muss über einen geeigneten Frequenz- und Wellenzahlbereich integriert werden. Abbildung 2 zeigt diese Form der Auswertung für einen Puls mit einer Mittelfrequenz von 6,5 kHz bei einer Integrationsdauer von 10 ms. Signale von oben haben positive Wellenzahlen, die von unten kommenden negative.

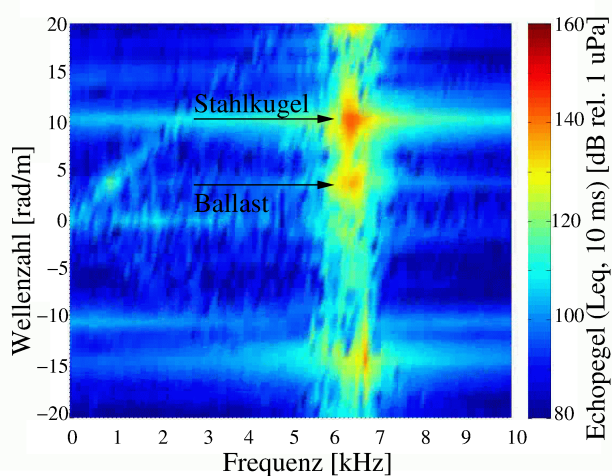


Abbildung 2: Wellenzahl-Frequenz-Analyse eines einzelnen LFM mit der unbeschichteten Stahlkugel.

Der Ballast hängt deutlich unter der Stahlkugel, dessen Echo erscheint aus einer anderen Richtung (weiter unten) als das Echo der Stahlkugel. Die so ermittelten Echopegel wurden mit dem Signal des Referenzhydrofons über der Stahlkugel verglichen, um den Wert des Zielmaßes zu erhalten.

Die ermittelten, frequenzabhängigen Zielmaßwerte sind in Abbildung 3 analytischen und numerischen Ergebnissen gegenüber gestellt. Die analytischen Werte wurden für eine perfekt schallweiche Kugel mit Durchmesser 1 m berechnet (nach Mechel [1]), die numerischen Werte wurden für eine 10 mm starke Stahlkugel in Wasser, luftgefüllt, ebenfalls mit 1 m Durchmesser berechnet.

Bei der numerischen Lösung zeigen sich als scharfe Minima des Zielmaßes die Eigenschwingungen der Stahlkugel. Diese treten bei der schallweichen Berechnung nicht auf, da die theoretische schallweiche Kugel nicht schwingen kann. Die Frequenzlage der Minima in den experimentellen Daten stimmt gut mit denen der numerischen Lösung überein, die Schärfe und die Tiefe sind nicht so stark ausgeprägt, da ein LFM immer eine Mittelung über ein Frequenzintervall darstellt. Die Fehlerbalken entsprechen

der Standardabweichung, ermittelt aus den 40 Wiederholungen der LFM-Signale je Frequenz.

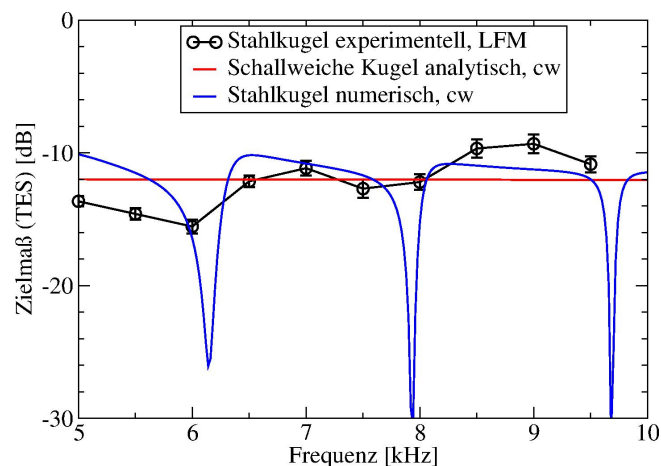


Abbildung 3: Vergleich der frequenzabhängigen Zielmaß-Werte. Analytische, numerische und experimentelle Daten.

Offensichtlich wird die Richtungsauflösung dieser Methode zu tiefen Frequenzen zu ungenau, um die beiden Signale des Ballastes und der Stahlkugel dann noch trennen zu können. Hier wäre entsprechende Analyse mit den Daten der gesamten Länge der Antenne (ca. 40 m) hilfreich, doch kann das reflektierte Schallsignal bei dem geringen Abstand zwischen Streukörper und Antenne gar nicht mehr als ebene Welle angesehen werden. Bei Frequenzen hinunter zu 1 kHz sind andere Methoden der Datenauswertung notwendig (Beamforming). Der hier dargestellten Auswertung liegt nur die Wellenzahl-Frequenz-Analyse für Frequenzen über 5 kHz zugrunde.

Den Vergleich zwischen der unbeschichteten Stahlkugel und zweier baugleicher Stahlkugeln mit verschiedenen absorbierenden Beschichtungen zeigt Abbildung 4.

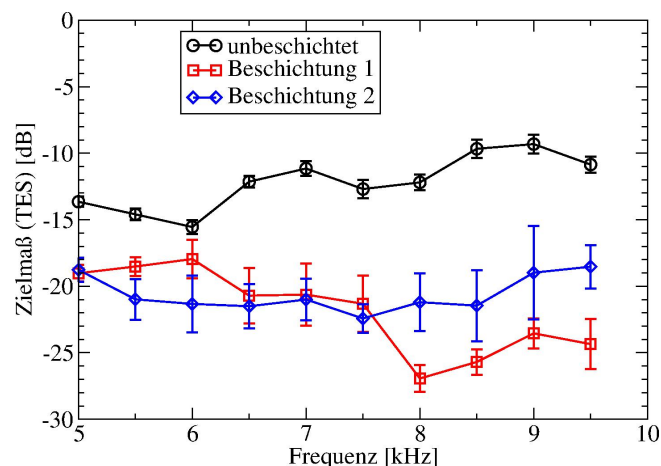


Abbildung 4: Vergleich der frequenzabhängigen Zielmaß-Werte der unbeschichteten und zweier mit verschiedenen Absorbieren beschichteten, ansonsten baugleichen, Stahlkugeln.

Obwohl die beschichteten Kugel einen größeren Querschnitt aufweisen, konnte das Zielmaß frequenzabhängig um bis zu 15 dB gesenkt werden.

Eine Stahlschicht von nur einem Zentimeter Dicke ist

akustisch transparent bei Frequenzen von mehr als einem Kilo-Hertz. Die dahinter liegende Luft ist ein nahezu perfekter akustischer Reflektor, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die luftgefüllte Stahlkugel alle akustische Energie reflektiert. Eine Senkung des Zielmaßes kann daher nur durch Absorption bedingt sein.

## Zusammenfassung

Es konnte in Fortführung der Experimente des Jahres 2013 erfolgreich gezeigt werden, dass das Zielmaß von Kugeln mit einem Durchmesser von einem Meter im Frequenzbereich von 5 kHz bis 10 kHz bestimmt werden kann. Die experimentelle Methode erlaubt auch tiefere Frequenzen, hier bedarf es jedoch weiter gehender Datenanalyse.

Der Vergleich des gemessenen Zielmaßes einer luftgefüllten Kugel mit der theoretischen Vorhersage validiert den Messaufbau und das Auswerteverfahren.

Ein Zielmaßdämpfung von bis zu 15 dB im genannten Frequenzbereich konnte durch absorbierende Beschichtungen erzielt werden.

## Literatur

- [1] Mechel, F.:  
Die Streuung ebener Wellen an Zylindern und Kugeln komplexer Impedanz, Habilitationsschrift, Göttingen (1966)
- [2] Schmidtke, E.:  
Messungen zum Zielmaß von Testkörpern. Fortschritte der Akustik (2014), pp. 686–687, DAGA 2014
- [3] Urick, R. J.:  
Principles of Underwater Sound, 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill Book Company, New York , 1983