

# Schockwellendämpfung mit einem Luftblasenschleier zum Schutz der Meeressäuger

Edgar Schmidtke

WTD 71, Forschungsbereich für Wasserschall und Geophysik,  
Berliner Straße 115, 24340 Eckernförde, Deutschland, Email: EdgarSchmidtke@bwb.org

## Einleitung

Bei der Räumung von Munitionsaltlasten aus dem Zweiten Weltkrieg in der Ostsee durch Unterwassersprengung vor Ort entstehen Schockwellen erheblicher Amplitude. Um die Umwelt, in der Ostsee besonders die Schweinswale, durch diese Schockwellen so wenig wie möglich zu belasten, wird die Verwendung von Luftblasenschleiern zur Dämpfung dieser Schockwellen untersucht. In den vergangenen Jahren wurden orientierende Experimente mit und ohne Luftblasenschleier und mit Sprengladungsgößen von wenigen Gramm bis hin zu einigen hundert Kilogramm, durchgeführt [2, 3]. Die bei Sprengungen großer Ladungen erzielten Dämpfungen lagen dabei bisher unter denen, die bei kleinen Ladungen erzielt werden konnten [1]. Dies wurde zurückgeführt auf einen zu geringen Abstand zwischen dem Blasen Schleier und dem Sprengort. Die expandierende Gasblase hat den Blasen schleier erreicht und eventuell durchdrungen, daher erschien ein größerer Abstand notwendig.

## Experimente

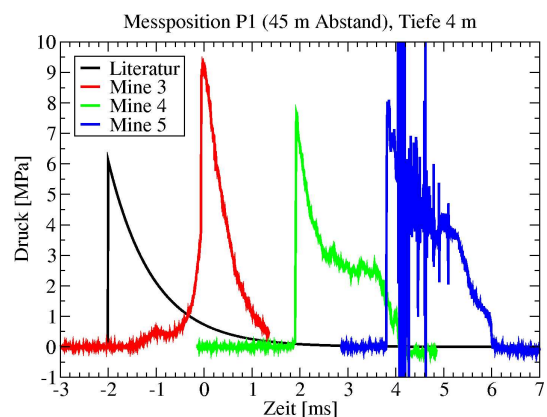
Die Messungen im Februar 2010 fanden etwa 4 km vor der Küste bei Heidkate nahe Kiel statt. Dabei wurde das Düsenrohr in einer Wassertiefe von 12 m als ein zum Land hin offener Halbkreis mit Radius 70 m verlegt. Von einer seegestützten Plattform aus wurde das Düsenrohr mittels Kompressoren mit 112 m<sup>3</sup> Luft pro Minute und Viertelkreis (ca. 1 m<sup>3</sup> Luft pro Minute und Meter) bei einem Druck von 10,2 bar versorgt. Aus den angebrachten Bohrungen entwich die Luft und baute den Luftblasenschleier auf.

Auf der Innenseite des Düsenrohrhalbkreises (45 m zur Sprengstelle, Position P1), und an Bord des Messschiffes (105 m zur Sprengstelle, Position P3) wurden in verschiedenen Tiefen (2 m bis 10 m) Drucksensoren und Hydrofone ausgebracht. Somit war es möglich, jede der Explosionen sowohl ungedämpft als auch durch den Blasen schleier gedämpft aufzuzeichnen.

Die Sprengungen selbst wurden in Verantwortung des Amtes für Katastrophenschutz des Landes Schleswig-Holstein durch den Kampfmittelräumdienst (KRD) des Landes Schleswig-Holstein durchgeführt. Die Taucher des KRD verlegten zu jeder Messung eine einzelne Ankertaumine vom Typ „Einheitsmine Typ C“ mit einer Ladung von 300 kg „Schießwolle 39“ in die Mitte des Halbkreises. Nachdem der Blasen schleier sich aufgebaut hatte, wurde die Mine durch Zündung einer Sprengladung von 10 kg zur Detonation gebracht. Von den fünf zur Detonation gebrachten Ladungen waren bei zweien

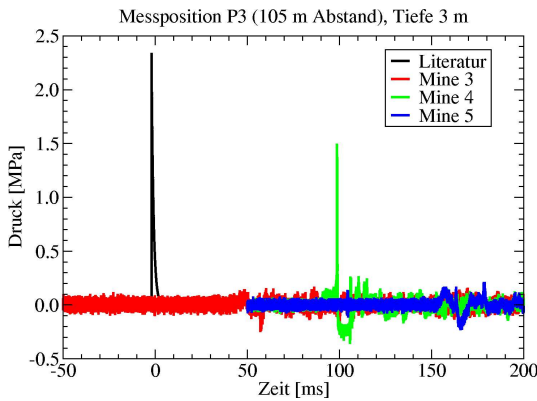
durch starken Wind und Strömung die Sensoren bei P1 so weit von ihrer ausgebrachten Position verzogen, dass sie schon im Blasen schleier lagen. Von den anderen drei Ladungen konnten gute Messwerte aufgezeichnet werden, im weiteren Verlauf als „Mine 3“, „Mine 4“ und „Mine 5“ bezeichnet. Bei der Sprengung der „Mine 4“ war der Blasen schleier wegen eines Wasserrestes im Düsenrohr nur unvollständig ausgebildet, so dass von einer geringeren Dämpfung als bei „Mine 3“ und „Mine 5“ auszugehen war.

Die gemessenen Drücke zeigt Abbildung 1. Die Zeitnullpunkte sind für die Einzelmessungen der Übersicht wegen willkürlich gegeneinander verschoben. Die Literaturangabe für die Schockwelle ist [4] entnommen. Der Verlauf für „Mine 5“ zeigt kurz nach dem Spitzenwert auch den sich ankündigenden Ausfall des Sensors durch die Sprengung. Die drei dargestellten Messungen wurden an der Position P1 in einer Entfernung von 45 m zur Sprengstelle in einer Tiefe von 4 m durchgeführt. Bei diesen drei Sprengungen lagen in allen Tiefen die Spitzendrücken zwischen 7,4 MPa und 9,4 MPa, die Schwankungsbreite liegt somit im Quellpegel bei 2 dB, im Mittel etwa auch 2 dB über den Literaturwerten.



**Abbildung 1:** Zeitverläufe der Schockwellen dreier Sprengungen im Vergleich mit Literaturwerten. Die Zeitnullpunkte der Einzelmessungen sind zur besseren Übersicht willkürlich gegeneinander verschoben.

Die Signale an der Position P3 sind in Abbildung 2 dargestellt. Nur im Falle der „Mine 4“ findet sich die Schockwelle einer Detonation, in den beiden anderen Fällen mit vollständig ausgebildetem Blasen schleier ist diese Spitze fast verschwunden. Als Literaturwert wurde hier der Verlauf aus [4] für den Abstand 105 m den Messdaten gegenübergestellt. Auch hier wurde jeweils der Zeitnullpunkt willkürlich zur besseren Darstellung gewählt.



**Abbildung 2:** Zeitverläufe der Druckwellen dreier Sprengungen im Vergleich mit Literaturwerten. Die Zeitnullpunkte der Einzelmessungen sind zur besseren Übersicht willkürlich gegeneinander verschoben.

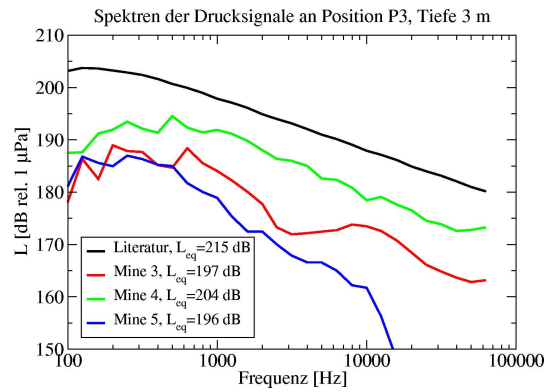
Für eine konservative Abschätzung des Spitzendrucks wurden an dieser Stelle die Differenzen aus dem maximal und dem minimal gemessenen Druck gebildet. In Tabelle 1 sind diese Werte denen aus Abbildung 1 gegenübergestellt und die daraus berechneten Dämpfungen für die Druckspitzen dargestellt. Dabei wurde vorausgesetzt, dass der maximale Druck mit  $r^{-1,13}$  abnimmt [4], wobei  $r$  der Abstand zur Sprengposition ist. Die in Tabelle 1 aufgelistete Abnahme des Signals ist der Teil, der über die reine Ausbreitungsdämpfung hinaus geht.

	Mine 3	Mine 4	Mine 5
$P_{max}$ [MPa] bei P1	9,3	7,6	7,5
$P_{max}$ [MPa] bei P3	0,42	1,50	0,45
Abnahme [dB]	19	6	16

**Tabelle 1:** Druckspitzen und deren Dämpfungen. Die Ausbreitungsdämpfung ist für die Abnahme bereits herausgerechnet worden.

Hier wird deutlich, welchen großen Einfluss der unvollständig ausgebildete Blasenschleier auf die Dämpfung der Druckspitzen hat. Da die Signalförmigkeiten vor und hinter dem Blasenschleier so deutlich unterschiedlich und auch zeitlich unterschiedlich lang sind, eignen sie sich nicht für einen spektralen Vergleich. An dieser Stelle wurde ein Vergleich der Signale der drei Minensprengungen an der Messposition P3 durchgeführt. Die verursachenden Druckverläufe (vgl. Abb. 1) sind sich sehr ähnlich, so dass drei verschiedene Wirkungen der gleichen Ursache dargestellt werden können. Die Terz- und Summenpegel wurden gemäß DIN1320 und DIN13320 auf  $1 \mu\text{Pa}$  bezogen und als Integrationszeit wurde eine Sekunde verwendet. Die Terzpegel sind in Abbildung 3 dargestellt, in der Legende sind die „äquivalenten Dauerschallpegel  $L_{eq}$ “ vermerkt. Für die Terzpegelspektren wurden die Messsignale von Hydrofonen verwendet, die an gleicher Position ausgebracht waren aber ein deutlich geringeres Grundrauschen und einen zu höheren Frequenzen reichenden Frequenzgang aufweisen. Unterhalb von 250 Hz zeigen die Hydrofone verstärkte Signaldämpfung (Hochpass).

Ab etwa 500 Hz ist eine signifikante Dämpfung von mindestens 5 dB durch den vollständig ausgebildeten Bla-



**Abbildung 3:** Terzpegelspektren der Druckwellen dreier Sprengungen.

senschleier gegenüber dem unvollständigen zu erkennen. Und selbst bei dem nur unvollständigen Blasenschleier wird eine Dämpfung von mindestens 5 dB gegenüber dem Erwartungswert aus der Literatur erreicht.

### Zusammenfassung

Es wurde die Dämpfung der Drucksignale dreier Sprengungen alter Ankertauminen mit je 300 kg Schießwolle beim Durchgang der Signale durch einen Luftblasenschleier untersucht. Bei voll ausgebildetem Blasenschleier konnten Dämpfungen der Druckspitzen von 16 dB bis 19 dB erreicht werden, selbst bei unvollständigem Blasenschleier wurden Dämpfungen der Druckspitze von 6 dB erreicht. Spektral konnten bei Frequenzen größer als 500 Hz Dämpfungen von mindestens 5 dB des voll ausgebildeten Blasenschleiers gegenüber dem nicht vollständigen nachgewiesen werden, die Verringerung des äquivalenten Dauerschallpegels liegt in diesen Fällen bei 7 dB bis 8 dB.

Die schalldämpfende Wirkung eines Luftblasenschleiers konnte in diesem Experiment auch für die Schockwellen bei Unterwassersprengungen großer Ladungen erfolgreich nachgewiesen werden.

### Literatur

- [1] Nützel, B.: „Untersuchungen zum Schutz von Schweinswalen vor Schockwellen“, Technischer Bericht TB 2008–7, FWG, Kiel (2008)
- [2] Schmidtke, E. und Ludwig, S.: „Sprengungen — Abschätzung einer Gefährdung für Meeressäuger“, Fortschritte der Akustik, pp. 887–888, Dresden (2008)
- [3] Schmidtke, E., Nützel, B. und Ludwig, S.: „Risk mitigation for sea mammals — the use of air bubbles against shock waves“ Proceedings of the International Conference on Acoustics, pp. 269–270, Rotterdam (2009)
- [4] Urick, R.: Principles of Underwater Sound, New York (1983)