

Sprengungen – Abschätzung einer Gefährdung für Meeressäuger

Edgar Schmidtke, Stefan Ludwig

Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik, 24148 Kiel, Email: EdgarSchmidtke@bwb.org

Einleitung

Schiffe der Deutschen Marine wie der Einsatzgruppenversorger BERLIN (siehe Abbildung 1) werden zum Selbstschutz mit dem Marineleichtgeschütz MLG27 ausgerüstet, das auch Sprengmunition verschießen kann.



Abbildung 1: Der Einsatzgruppenversorger BERLIN auf der Passage durch den Nord-Ostsee-Kanal.

Die Sprengladung dieser Munition explodiert beim Aufschlag auf die Wasseroberfläche kurz unter der Wasserlinie. Die entstehende Gasblase dehnt sich zunächst mit mehreren tausend Metern pro Sekunde aus und erzeugt eine Schockwelle, die unter Wasser als Knall hörbar ist. Auch nicht-sprengende Munition erzeugt eine Gasblase, die aber auf Kavitation zurückzuführen ist. Abbildung 2 zeigt eine solche Blase kurz nach Eintreten des Projektils ins Wasser.

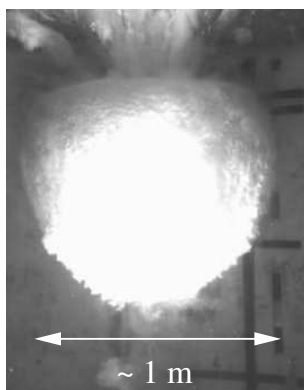


Abbildung 2: Kollabierende Kavitationsblase eines ins Wasser eintauchenden nicht-sprengenden 27-mm-Projektils, etwa 0,07 s nach dem Eintritt ins Wasser. Das Projektil selbst hat den Bildausschnitt bereits verlassen.

Diese Blase dehnt sich jedoch mit deutlich weniger als der Schallgeschwindigkeit unter Wasser aus und kann daher keine Schockwelle aufbauen.

Der von diesen Quellen erzeugte Schall kann Meeressäuger beeinflussen. Diese Beeinflussung reicht von

Störungen des natürlichen Verhaltens bis zu Verletzungen durch hohe Drücke. Um Meeressäuger nicht der Gefahr durch zu hohe Drücke auszusetzen, gibt das NATO UNDERSEA RESEARCH CENTER (NURC) [5] vor, dass bei Sprengungen ein Sicherheitsabstand von 2000 m einzuhalten ist, und dass beim Einsatz von kontinuierlichen Schallquellen frequenzabhängige Pegel am Ort der Messung (von 186 dB re. 1 μ Pa bei 3 kHz bis 160 dB re. 1 μ Pa bei über 100 kHz) nicht überschritten werden sollen. Bei den Bestimmungen der Pegel wird wie in der DIN 1320 [1] das Einzelschallereignis über eine Sekunde gemittelt.

Myrick [3] führt aus, dass für Verletzungen durch Druck der Druckimpuls maßgeblich ist, der sich als Zeitintegral über den Druck bestimmt. Er sollte nach Christian [2] 13,8 Pa·s (bei einem Spitzendruck von 0,7 MPa) nicht überschreiten.

Besonders in Küstennähe werden die Sicherheitsabstände bei Sprengungen relevant. In küstennahen Gewässern in Nord- und Ostsee liegen Munitionsaltlasten, die gegebenenfalls durch Sprengung geräumt werden müssen und sowohl Tiere als auch Menschen gefährden.

Die folgenden Experimente widmen sich der Untersuchung der Drücke bei Sprengung kleiner Mengen.

Experimente

Sprengladungen und massive Projektile wurden über eine Entfernung von mehr als 200 m auf eine freie Wasseroberfläche geschossen. Mit dieser großen Entfernung wurde sichergestellt, dass nicht der Geschützknall die Ursache für das Geräusch unter Wasser ist oder das gesuchte Signal überdeckt. Durch geeignete Triggerung der Signale konnte in allen Fällen überprüft werden, dass die wesentlichen Teile der Wasserschallsignale zum Zeitpunkt des Aufpralls auf die Wasseroberfläche entstehen. Im lateralen Abstand von etwa 15 m zum Auftreffpunkt waren Hydrofone in einer Wassertiefe von 3,5 m positioniert.

Die von TNT-Detonationen unter Wasser ausgehenden Schockwellen sind sehr gut reproduzierbar. Unter Freifeldbedingungen kann der zeitliche Verlauf der ersten Schockwelle (Überdruckphase, $p(r, t)$) in Abhängigkeit von der Ladungsmenge m im Abstand r gut durch eine abklingende Exponentialfunktion [4] approximiert werden:

$$p(r, t) = p_0 \cdot e^{-t/\tau} \quad (1)$$

$$\text{mit } p_0 \text{ [MPa]} = 52,4 \cdot \left(\frac{m^{1/3}}{r} \right)^{1,13} \quad (2)$$

$$\text{und } \tau \text{ [\mu s]} = 92,5 \cdot m^{0,26} \cdot r^{0,22} \quad (3)$$

Dabei ist die Masse m der Ladung in Kilogramm und der Abstand r in Metern einzusetzen. Der schneller als mit $1/r$ abfallende Spitzendruck und die mit steigendem Abstand wachsende Abklingzeit τ werden durch Dämpfungseffekte verursacht.

Die durch Ladungen von 42 g und 22 g und durch einen Metallbolzen hervorgerufenen Druckpulse sind in Abbildung 3 dargestellt. Alle drei Projektile treffen mit Geschwindigkeiten auf das Wasser, die deutlich unter der Schallgeschwindigkeit des Wassers liegen.

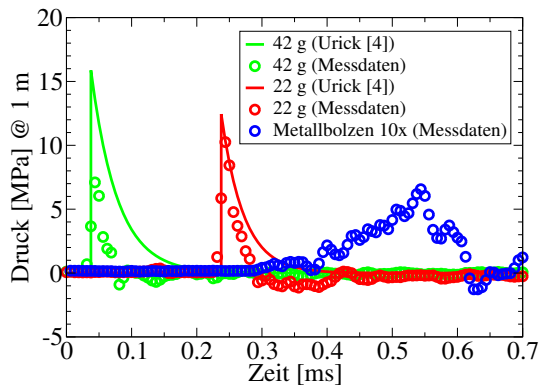


Abbildung 3: Vergleich von gemessenen Daten und Literaturprognosen. Die Messdaten wurden auf den Abstand von einem Meter zum Auftreffpunkt extrapoliert. Wegen der geringen Drücke, die durch den Metallbolzen erzeugt werden, sind dessen Messdaten um den Faktor 10 überhöht dargestellt.

Die Sprengladungen erzeugen erwartungsgemäß eine Gasblase, die sich anfangs mit mehreren tausend Metern pro Sekunde ausdehnt, und dadurch eine steile Schockfront erzeugen. Für beide Ladungen ist diese Front mit dem anschließenden Druckabfall deutlich zu erkennen. In beiden Fällen erreicht die darauf folgende Unterdruckphase den Wert des statischen Luftdrucks an der Wasseroberfläche von etwa 100 kPa. Der Metallbolzen erzeugt keine Schockwelle, auch die Unterdruckphase fällt schwächer aus als die der Sprengladungen.

Eine Umrechnung der Druckspitzen nach DIN1320 für die in Abbildung 3 gezeigten Signale und eine anschließende Rückrechnung auf den Abstand von einem Meter zum Auftreffpunkt — sphärische Ausbreitung angenommen — liefert 207 dB (rel. $1 \mu\text{Pa}$ @ 1 m) für die 22-g-Ladung, 210 dB (rel. $1 \mu\text{Pa}$ @ 1 m) für die 42-g-Ladung und 192 dB (rel. $1 \mu\text{Pa}$ @ 1 m) für den Metallbolzen. Die aus diesen Messsignalen errechneten Druckimpulse ergeben im Abstand von einem Meter 450 Pa·s, 800 Pa·s und 160 Pa·s.

Bewertung

Die Messdaten für die Sprengungen liegen unter den Literaturprognosen, die Daten für den massiven Metallbolzen wiederum unter denen der Sprengladungen. Daher ist die Literaturprognose als obere Grenze anzusehen und somit eine konservative Abschätzung. In der Abbildung 4 sind die Prognosen für Spitzendruck und Druckimpuls gegen

die Entfernung nach den Gleichungen (1) bis (3) aufgetragen. Ebenso sind die in [2] vorgeschlagenen Grenzwerte gekennzeichnet. Beide Grenzwerte sind bei Entfernungen von 100 m und mehr schon deutlich unterschritten. Sollen die Grenzwerte eingehalten werden, stellt die NURC-Vorschrift für die Verwendung dieser kleinen Mengen Sprengmittel eine sehr konservative Abschätzung dar, um Verletzungen von Meeressäugern durch direkte Einwirkung eines Druckpulses zu vermeiden.

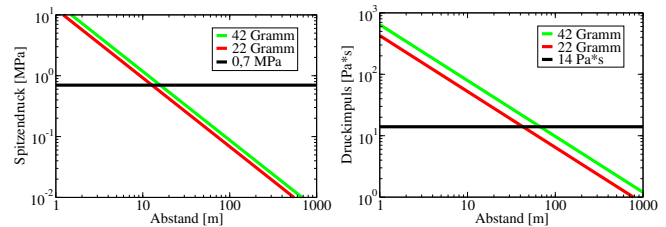


Abbildung 4: Vergleich der Literaturprognosen zu Spitzendruck und Druckimpuls mit Grenzwerten.

Zusammenfassung

Der Beschuss der Wasseroberfläche sowohl mit massiven Projektilen als auch mit Sprengladungen von 22 g und 42 g ergab Spitzendrücke von 0,5 MPa bzw. 5,4 MPa und 7,3 MPa, bezogen auf einen Abstand von einem Meter. Die Werte der Sprengladungen betragen teilweise nur die Hälfte dessen, was nach Literaturangaben[4] zu erwarten war. Bei einem nach NURC-Vorschriften einzuhaltenden Abstand von 2000 m ist bei diesen geringen Ladungsmengen eine direkte Verletzung der Meeressäuger durch den Druckpuls des Aufschlages oder durch die Schockwelle der Detonation sehr unwahrscheinlich.

Literatur

- [1] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 1320 (1997), Berlin
- [2] Christian, E. A. und Gaspin, J. B.: Swimmer safe standoffs from underwater explosions, Navy Science Assistance Program Project (1974), PHP-11-73 R. No. NOLX 80
- [3] Myrick, A. C. et al.: Results of Underwater Tests of Double Base Smokeless-Powder Pipebombs on Targets to Determine Physical Hazards on Swimming Dolphins, Administrative Report LJ-90-26 (1990), National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Center, La Jolla, CA, USA
- [4] Urlick, R.: Principles of Underwater Sound (1983), New York
- [5] NATO Undersea Research Center (NURC): Staff Instruction 77, NATO URC Human Diver And Marine Mammal Risk Mitigation Rules (2004), La Spezia, Italien