

Minderung von Unterwasserschall bei Offshore-Rammarbeiten

Manfred Schultz-von Glahn, Klaus Betke

Institut für Technische und Angewandte Physik GmbH, 26129 Oldenburg, Deutschland, Email: info@itap.de

Beim Bau von Offshore-Windenergieanlagen werden Stahlrohre von mehreren Metern Durchmesser bis zu 30 m in den Meeresboden getrieben. Überwiegend wird dazu die bewährte Impulsrammtechnik eingesetzt. Dabei werden unter Wasser sehr starke Schallimpulse erzeugt. In 1 km Abstand kann der Spitzenschalldruck noch mehrere kPa betragen. Diese Geräusche sind für Meerestiere potenziell gefährlich und Lärminderungsmaßnahmen sind deshalb notwendig. In dieser Arbeit wurde die Wirksamkeit von Abschirmungen experimentell untersucht. Um auch erste Erfahrungen zur Handhabung unter Offshore-Bedingungen zu sammeln, wurden die Versuche im realitätsnahen Maßstab vorgenommen.

Theoretische Überlegungen

Das untersuchte Schallschutzkonzept basiert darauf, zwischen der Schallquelle Rammpfahl und dem umgebenden Wasser eine Schicht aus einem Material anzubringen, dessen Schallkennimpedanz sich von der des Wassers stark unterscheidet. Bei einer Anordnung von Schicht nach Abb. 1 ist der Reflexionsfaktor R für eine aus Medium 1 einfallende ebene Welle gegeben durch [1]:

$$R = \frac{Z_2(Z_3 - Z_1) - i(Z_2^2 - Z_1Z_3) \tan \phi_2}{Z_2(Z_3 + Z_1) - i(Z_2^2 + Z_1Z_3) \tan \phi_2} \quad (1)$$

mit $\phi_2 = k_2 h_2 \cos \Theta_1$. Hierin ist k_2 die Wellenzahl $2\pi f / c_2$.

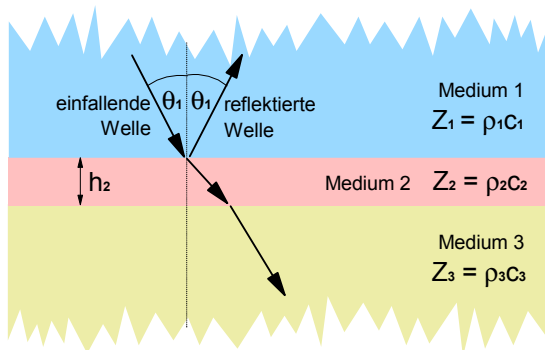


Abb. 1: Schichtstruktur mit den Schallkennimpedanzen Z_1 , Z_2 und Z_3 . (ρ_i ist die Dichte und c_i die Schallgeschwindigkeit im jeweiligen Medium).

Mit Medium 1 = Medium 3 = Wasser ergeben sich für verschiedene Materialien und Schichtdicken von Medium 2 die Transmissionsgrade in Abb. 2. Da bei einer gekapselten Schallquelle der Pegel innerhalb der Kapsel ansteigt (außer bei perfekter Schallabsorption), sind die tatsächlich zu erwartenden Schalldämmmaße geringer. Die einfache Rechnung berücksichtigt nicht die innere Dämpfung der Materialien, weshalb in Abb. 2 die $\lambda/4$ -Resonanzen ab etwa 10 kHz sehr ausgeprägt sind.

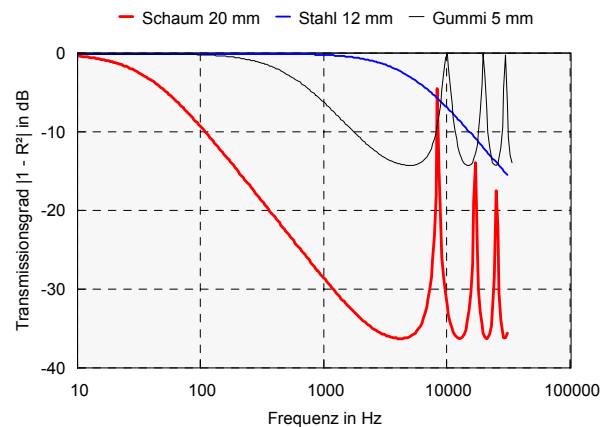


Abb. 2: Transmissionsgrad von verschiedenen Schichten in Wasser für senkrechten Schalleinfall nach Gleichung (1).

Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden an einem Testpfahl der Firma Menck (Hersteller von Rammgeräten) durchgeführt. Dieser Pfahl steht in der Ostsee nahe Travemünde in etwa 8 m tiefem Wasser. Er hat einen Durchmesser von 2.2 m und eine Wandstärke von 50 mm; die Länge im Meeresboden beträgt rund 60 m. Über diesen Rammpfahl wurde ein Schallschutzrohr gestülpt.

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 3 skizziert. Der eigentliche Schallschutz bestand aus einer 20 mm dicken Schicht PE-Schaum. Dazu wurde 5 mm starke Schaumfolie in mehreren Lagen auf das als Träger dienende Stahlrohr gewickelt und mit Spanngurten fixiert (Abb. 4). Der Einfluss des Wasserdrucks wurde durch zusätzliche Lagen im unteren Bereich kompensiert.

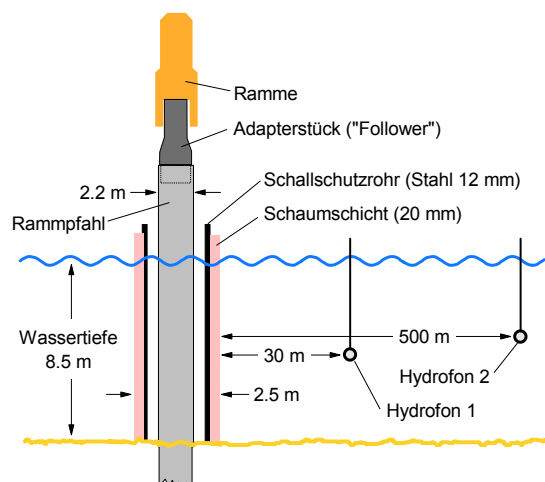


Abb. 3: Versuchsaufbau. Der eigentliche Schallschutz aus stark lufthaltigem Schaummaterial ist auf einem Stahlrohr als Träger befestigt.

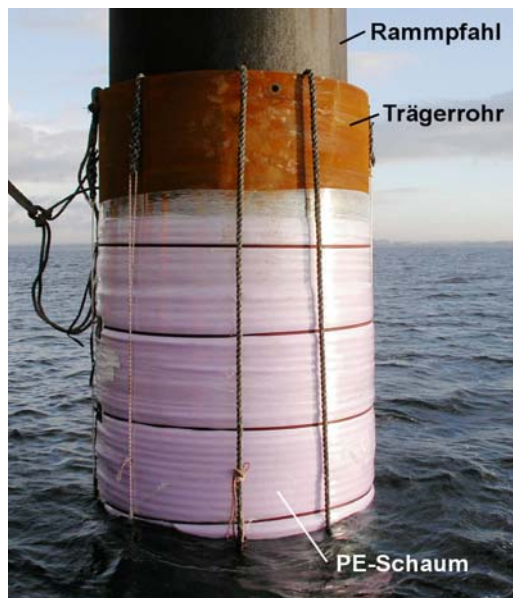


Abb. 4: Das Schallschutzrohr in der Messposition.

Neben dem beschichteten Schallschutzrohr wurde auch das Rohr ohne Schaumschicht vermessen. Weiterhin wurde ein Vorhang aus 5 mm starkem Gummi (Neoprene CR) untersucht, der den Rammpfahl statt des Rohres allseitig in einem Abstand von etwa 20 cm umgab. Ähnliche Anordnungen werden zur Luftschalldämmung beim Rammen eingesetzt und sind verschiedentlich auch zur Minderung von Wasserschall vorgeschlagen worden. Die Versuchsreihe bestand damit aus folgenden Messungen:

- Referenzmessung 1 („nackter“ Pfahl ohne Schallschutz)
- Schallschutzrohr mit Schaumschicht
- Schallschutzrohr ohne Schaum (nur 12 mm Stahl)
- Gummivorhang
- Referenzmessung 2 (wie 1, zur Kontrolle)

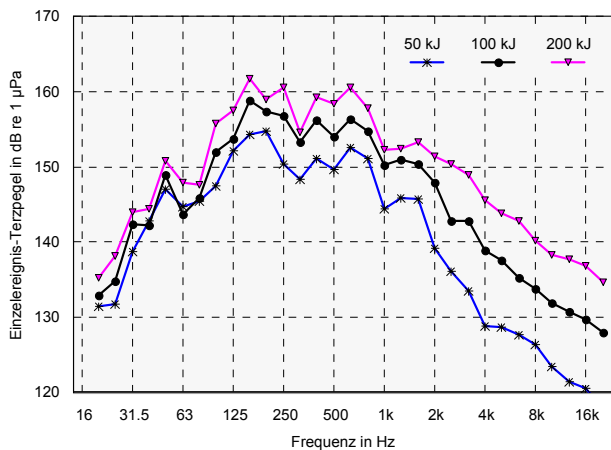


Abb. 5: Einzelereignis-Schalldruckpegel in 30 m Abstand vom Rammpfahl ohne Schallschutz (Referenzmessung 2).

Bei jeder der fünf Messungen wurden jeweils 10 bis 15 Rammschläge mit einer Schlagenergie von 50 kJ, 100 kJ und 200 kJ ausgeführt und die mittleren Einzelereignis-Schalldruckpegel L_E (= L_{eq} mit 1 s Integrationszeit) der Schläge berechnet. Abb. 5 zeigt exemplarisch einige mittlere

Terzspektren des Einzelereignis-Schalldruckpegels. Der L_E hat den Vorteil, dass er unabhängig von der Schlagfrequenz der Ramme ist, die sich nicht immer konstant halten lässt. Schließlich wurden die mit Schallschutz gemessenen Spektren und die entsprechenden Referenzspektren voneinander subtrahiert und für jede Terzfrequenz der Medianwert bei den drei Schlagenergien herangezogen.

Ergebnisse

In Abb. 6 sind die so ermittelten Dämmwerte dargestellt. Wie nicht anders erwartet bewirkt eine 12 mm dicke Stahlwand (Rohr ohne Schaum) in Wasser nur eine geringe Schallsolation. Als noch weniger wirksam erwies sich der Gummivorhang. Dagegen wird mit der Schaumbeschichtung eine deutliche Pegelabsenkung erzielt, von etwa 10 dB bei 1 kHz bis über 20 dB oberhalb von 10 kHz.

Wünschenswert wäre eine noch höhere Schalldämmung im Frequenzbereich unter 1 kHz. Diese kann grundsätzlich durch eine dickere Schaumschicht erreicht werden. Die in 500 m Abstand von der Ramme aufgezeichneten Hydrofonsignale zeigten deutlich eine „head wave“ [2] bzw. eine tieffrequente seismische Komponente, die dem Hauptimpuls vorausseilt, im vorliegenden Fall etwa 50 ms, da sie sich mit der höheren Schallgeschwindigkeit im Sediment ausbreitet. Unklar ist noch, inwieweit die Wirkung von Abschirmmaßnahmen unter 100 Hz dadurch prinzipiell begrenzt wird.

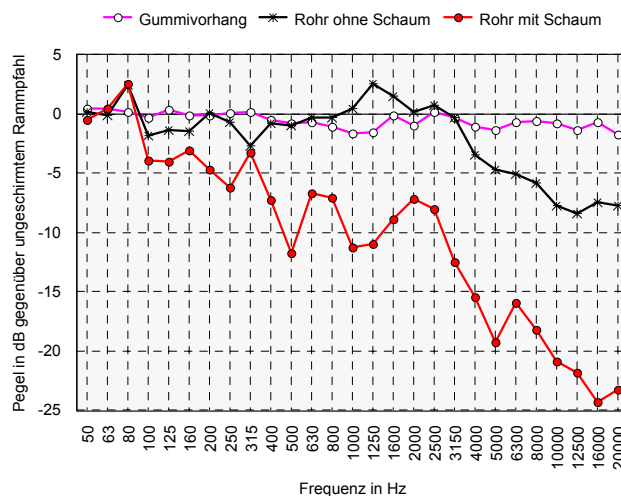


Abb. 6: Gemessene Pegelreduktion des Unterwasserschalls beim Rammen durch verschiedene Abschirmungen.

Danksagung

Diese Untersuchung wurde vom Umweltbundesamt gefördert (FKZ 205 53 113). Wir danken den Firmen F+Z Bau und Menck für die Unterstützung vor Ort.

Literatur

- [1] Finn B. Jensen et al.: Computational Ocean Acoustics. AIP Press, Woodbury, NY, 1994
- [2] H. Medwin, C. S. Clay: Fundamentals of Acoustical Oceanography. Academic Press, San Diego, CA, 1998