

Bewerbung für den Edgard-Frankignoul- Förderpreis 2011

In Anlehnung an eine Bachelorarbeit am Institut für Grundbau und
Bodenmechanik der Technischen Universität Braunschweig mit dem Thema:

Experimentelle Versuche zur Hydroschalldämmung bei der Rammung von Offshore- Gründungsstrukturen

von:

Herrn
Kristian Nikolaus Branz
Student der TU Braunschweig

30. September 2010

1. Einleitung

Infolge des Baus und Betriebs von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) im Meer wird, z.B. durch die Abstrahlung von Unterwasserschall (Hydroschall), eine Veränderung und Belastung an der maritimen Umwelt vorgenommen. Während bei den sich im Betrieb befindenden OWEA geringe Emissionen in die Umgebung abgegeben werden, kommt es in der Bauphase zu der Entwicklung von erheblichen Hydroschallpegeln, die im schlimmsten Fall zu einer dauerhaften Schädigung der Meeressäuger und der anderen Meeresbewohner führen kann.

Eine Abschätzung deutet darauf hin, dass für Pfahlgründungen bei 5-Megawatt-WEA Einzelschallereignispegel von mindestens 178 dB zu erwarten sind. Dies würde den vorgegebenen Richtwert von 160 dB des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) deutlich überschreiten. Die Hochrechnung der vermessenen Pegel auf eine Distanz von 750 m zeigt, dass Lärminderungsmaßnahmen voraussichtlich bei allen Offshore-WEA Gründungen mit Impulsrammung erforderlich sind. Deshalb ist ein Konzept für geeignete Lärminderungsmaßnahmen erforderlich.

2. Schalltechnische Messgrößen in der Hydroakustik

Durch das Rammen mit hydraulischen Impulsrammen wird hochfrequenter Lärm und ein erheblicher Hydroschallpegel erzeugt.

Lärm, der beim Rammen entsteht, ist Impulsschall, welcher im Grunde mit Hilfe von zwei Schallpegelgrößen beschrieben werden kann. Der erste Pegel ist der Spitzenpegel,

$$L_{peak} = 20 \log \left(\frac{|p_{peak}|}{p_0} \right),$$

wobei p_{peak} den maximalen positiv oder negativ gemessenen Schalldruck darstellt und der Bezugswert p_0 bei Wasserschall den vereinbarungsgemäßen Wert 1 μPa ergibt.

Der zweite Wert zur Beschreibung des Rammlärms ist der Einzelereignispegel L_E :

$$L_E = 10 \log \left(\frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right),$$

Hierin ist $p_0 = 1 \mu\text{Pa}$ und $T_0 = 1 \text{ s}$. Die Integrationsgrenzen sind so zu wählen, dass sie alle signifikanten Teile des Ereignisses einschließen. In der englischsprachigen Literatur wird L_E mit SEL (Sound Exposure Level) abgekürzt.

3. Grundlagen zu Lärminderungsmaßnahmen

Bei der Rammung eines Pfahls auf hoher See wird nur ein kleiner Anteil (ca. 1%) der Stoßenergie einer Hydraulikramme direkt als Hydroschall abgestrahlt. Dieser kleine Teil ist jedoch für die beschriebenen sehr hohen Hydroschallpegel verantwortlich. Der größte Teil der Energie wird in den Meeresboden eingeleitet und durch Dämpfung abgeschwächt.

Zur Reduzierung des Baulärms gibt es im Wesentlichen zwei Methoden.

1. Primäre Lärminderungsmaßnahmen mit Beeinflussung der Erregung (aktive Methode):

z.B.:

- Verlängerung der Stoßdauer und Einbau von Sperrmassen
- Verwendung von Vibrationsrammen

2. Sekundäre Lärminderungsmaßnahmen mit Änderung des Übertragungsweges (passive Methode):

z.B.:

- Die Anwendung eines aufsteigenden Blasenschleiers um den Pfahl
- Umstellen des Pfahls mit einem beschichteten Rohr als Lärmschutz

4. Schlagversuche am Pfahl

Im Rahmen der Arbeit sollten neben der Beschreibung der Hydroschallemissionen der zurzeit existierenden Lärminderungsmaßnahmen durch experimentelle Modellversuche die drei folgenden unterschiedlichen Konzepte auf deren Wirkungsweise untersucht werden.

4.1 Genereller Versuchsaufbau

Für den experimentellen Hauptteil der Arbeit musste zunächst eine Einarbeitung in das von der Firma Brühl & Kjaer zur Verfügung gestellte Messsystem, den Signalkonditionierer des Typs 2692, erfolgen. Des Weiteren werden zwei unterschiedliche Unterwassermikrophone, Typ 8103 und 8104, eingesetzt. Diese unterscheiden sich bezüglich ihrer Sensitivität und ihres Sensor-Übertragungsfaktors.

Um die durch das Hydrophon empfangenen Signale erfassen und visualisieren zu können, ist ein Mehrkanal-Messdatenerfassungs-, Schwingungs- und Schallanalyse-Programm nötig. Hierbei wurde die Software Medusa, welches es ermöglicht, Testmessungen über die Soundkarte aufzunehmen, verwendet. Medusa ermöglicht ebenfalls eine Visualisierung und Auswertung der aufgenommenen Daten durch die Funktion der Schallanalyse. Die



Abbildung 1: Versuchsstandaufbau

gemessenen Schallpegel in Terzen bzw. in Oktaven wiedergegeben, aufsummiert und andere Messwerte wie z.B. der durch den A Filter ermittelte Wert dargestellt werden.

Um an dem Versuchsstand des Institutes für Grundbau (Abbildung 1) und Bodenmechanik ein bestmögliches Ergebnis erzielen zu können, wurden folgende Randbedingungen gewählt: Der Wasserstand im Prüfschacht muss möglichst hoch gewählt werden, um möglichst tiefe Frequenzen aufzeichnen zu können. Folglich wird

der knapp 3 Meter tiefe Trog bis zu einer Höhe von 2,6 m gefüllt. Dies ist im Trog der maximal mögliche Wasserstand.

Der für die Versuche gewählte Pfahl hat eine Abmessung von 3 m Länge und einen Durchmesser von 10,4 cm. Es handelt sich hierbei um ein Stahlrohr mit einer Wandstärke von 2 mm. Das Rohr wird über vier Gummiseile senkrecht in der Mitte des Schachtes gehalten. Die Rammvorrichtung, welche das Fallgewicht führt, wird auf den Pfahl aufgesetzt. Der Abstand des Hydrophons lässt sich über die Rammhilfskonstruktion, die sich über dem Schacht befindet, konstant halten. Der gewählte Abstand des Hydrophons zum Pfahl beträgt bei den folgenden Versuchen im Allgemeinen 40 cm.

4.2 Rammungen am Pfahl ohne Schallschutzminderung

Für die ersten Versuche wird der reine Pfahl auf einer elastischen Gummimatte mit einer Stärke von 2,6 cm gerammt, die auf einer Stahlplatte befestigt wurde, um dem Auftrieb des Gummis entgegen zu wirken. Es werden für die ersten Versuche keine Schallminderungsmaßnahmen durchgeführt. Es soll gezeigt werden, wie effektiv die ausgewählten Minderungsmaßnahmen im Vergleich zu der Rammung ohne Schutzmaßnahmen sind. Ebenfalls sollen die ausgewählten Medusa-Einstellungen anhand von ersten Rammungen auf die Anwendbarkeit im Wassertrog untersucht und gegebenenfalls verändert werden.

Bei den Untersuchungen stellte sich heraus, dass mit dem Hydrophon vom Typ 8103 bessere Ergebnisse aufgezeichnet werden konnten, da dieses eine geringere Empfindlichkeit aufweist und es somit möglich ist, ein Fallgewicht von 4,7 kg aus einer Fallhöhe von 8,5 cm auf den Pfahl aufzubringen. Hierfür war es notwendig, die Ausgangsempfindlichkeit in dem Signalkonditionierer deutlich zu verringern, um ein Abschneiden der aufgenommenen Messwerte zu vermeiden.

Eine weitere notwendige Maßnahme ist es, eine 1,5 cm dicke Nylonscheibe als Rammhaube zwischen dem Pfahl und dem Rammgewicht anzubringen. Der Schlag wird durch diese Vorrichtung abgedämpft und eine Übersteuerung vermieden. Durch eine sinnvolle Wahl der Empfindlichkeit (1 mV/Pa) konnten realistische Ergebnisse aufgezeichnet werden.

Die unten dargestellte Abbildung zeigt die Aufnahme eines unter den sinnvollen Einstellungen und Vorgaben durchgeführten Rammschlages ohne Hydroschalldämpfung. Die Abbildung 2 ist untergliedert in 4 Diagramme. Das oberste Diagramm zeigt den Schalldruckpegel eines Rammschlages. Es lässt sich erkennen, dass der gesamte Rammschlag und dessen Reflexionen in einem Zeitintervall von 0,2 Sekunden aufgenommen werden.

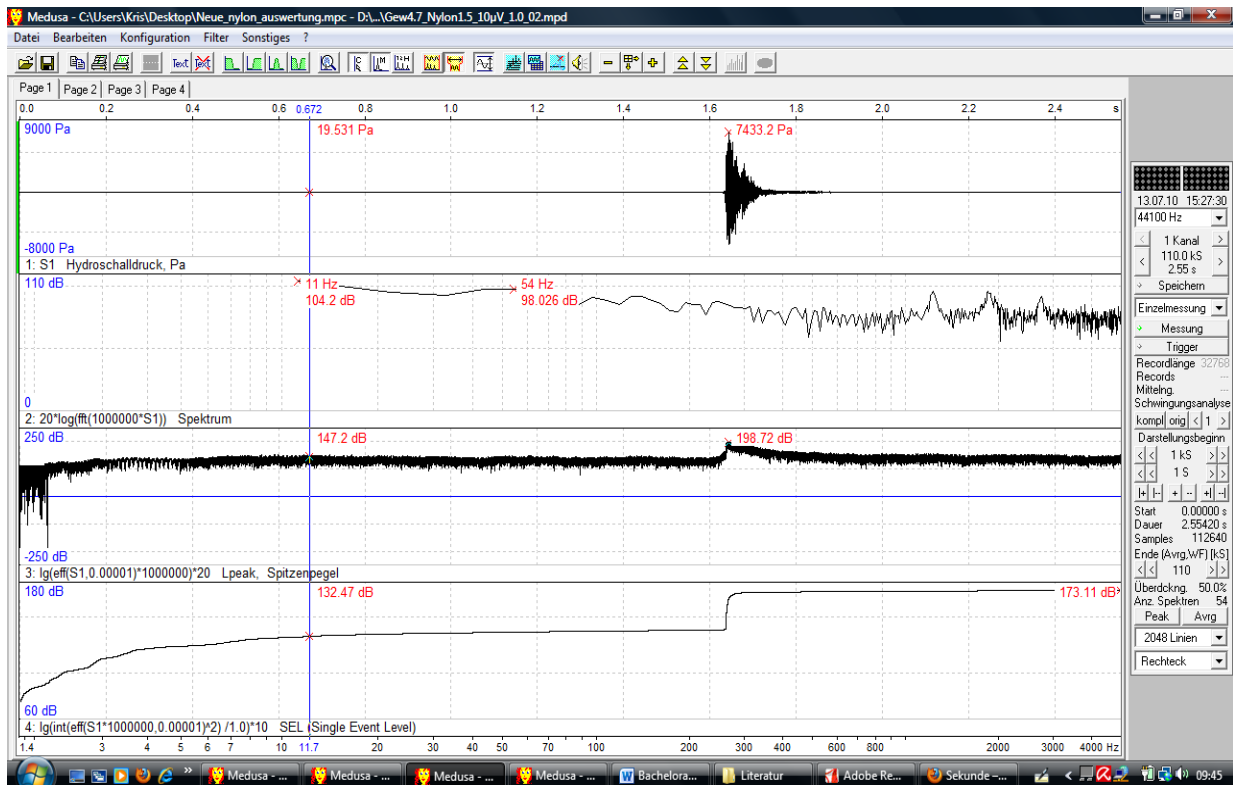


Abbildung 2: Messergebnisse: Rammschlag im Trog ohne Schallminderungsmaßnahme

Das zweite Diagramm gibt das Frequenzspektrum des Rammschlages wieder. Die höchsten dB-Werte sind im Bereich von 50 Hz, 1230 Hz, 1850 Hz und 2700 Hz zu sehen. In dem dritten Diagramm ist der Spitzenpegel und in dem untersten Diagramm der Einzelereignispegel abgebildet.

Wiederholt man den Rammversuch, lässt sich eine leichte Streuung der Messergebnisse erkennen. Die SEL Werte liegen zwischen 171,94 dB und 176,46 dB und die L_{peak} -Werte reichen von 198,4 dB bis hin zu 201,41 dB.

4.3 Rammversuche mit Blasenschleier als Schallschutzminderung

Für die folgenden Versuche werden zwei Flexi-Ausströmer der Firma HOBBY (Dohse Aquaristik KG) kreisförmig auf dem Grund des Troges platziert. Der Durchmesser des Kreises beträgt 50 cm und der Abstand zum Pfahl jeweils 25 cm. Die Flexi-Ausströmer sind über eine T-Stück-Verbindung an eine Druckluftzufuhr angeschlossen und werden mit ca. einem Bar Luftdruck durchströmt.

Der gemessene Schalldruck beträgt nur noch ein Fünftel des Schalldrucks ohne Schallschutzminderung. Der SEL nimmt Werte zwischen 181,12 dB und 192,2 dB, der L_{peak} -

Werte zwischen 157,16 dB und 163,7 dB an. Das ist im Vergleich zu den Messergebnissen aus Kapitel 5.2 eine Reduzierung des SEL von 10 bis 16 dB und des Spitzenpegels von ungefähr 21 dB bis 28 dB.

Die Ergebnisse bestätigen die bisher bekannten Literaturwerte, auch wenn die Versuche nur an einem kleinmaßstäblichen Versuchsstand durchgeführt worden sind.

4.4 Rammversuche mit Blasen-Netz-Konstruktion als Schallschutzminderungsmaßnahme

Aufbauend auf einem zum Patent angemeldeten Hydroschallminderungssystem von Herrn Dr. Elmer wurde eine dritte Versuchsreihe durchgeführt.

An einem Netz werden Luftballons mit verschiedenen Durchmessern von 2 bis hin zu 10 cm befestigt. Das Netz wird am unteren Ende durch fünf Sandsäcke von jeweils ca. 4 kg beschwert, um dem Auftrieb der Ballons entgegenzuwirken. An dem anderen Ende des Netzes befinden sich drei miteinander verbundene Reifen aus Plastik, welche der Konstruktion eine gewisse Stabilität verleihen sollen. Die Blasen-Netz-Konstruktion hat eine Höhe von etwa 2,5 m und einen Durchmesser von 80 cm. Der Aufbau der Blasen-Netz-Konstruktion ist der unteren Abbildung zu entnehmen.



Abbildung 3: Blasen-Netz-Konstruktion

Trotz einer nicht 100%ig platzierten Blasen-Netz-Konstruktion werden Messungen vorgenommen, um eine Tendenz ersichtlich zu machen.

Die gemessenen Werte sind abhängig von der Messtiefe und des Messortes im Trog. Dies ist auf die unregelmäßige Verteilung der Luftballons im Trog zurückzuführen. Positioniert man das Hydrophon in einer Wassertiefe von 1,5 m und einer Entfernung von 50 cm zum Pfahl lassen sich ein SEL-Wert von 156,46 bis 158,66 und ein L_{peak} -Werte von 179,21 bB bis 185,22 dB ermitteln. Vergleicht man diese Werte mit denen aus Kapitel 4.2 ist eine Reduzierung des SEL von 15 dB bis 22 dB und eine Reduzierung des L_{peak} -Wertes von 19 dB bis 26 dB ersichtlich. Stellt man die Ergebnisse von denen eines

Blasenschleiers mit denen der Blasen-Netz-Konstruktion gegenüber, fällt auf, dass die

Reduzierung des SEL bei der Blasen-Netz-Konstruktion deutlich größer ist und die des L_{peak} bei dem Blasenschleier. Es ist zu erwarten, dass bei genauerer Platzierung des Blasen-Netzes weitaus höhere Lärminderungserfolge erzielt werden können. Dieses Schallminderungskonzept hat daher sehr große Erfolgchancen, wenn es gelingen sollte, eine Konstruktion zu erschaffen, die auch im Offshore-Bereich angewendet werden kann.

Literaturverzeichnis

Elmer, K.-H., (2007):

Schallemissionen beim Rammen von Offshore-Fundamenten,

2. Wissenschaftstage des Bundesumweltministeriums zur Offshorer-Windenergienutzung,
TU-Berlin, 20.-21. Febr. 2007.

Noise Emissions during Pile Driving of Offshore Foundations, Conference Proceedings;
Morkel, Toland, Wende, Koeppel (Edts), Sept. 2007.