

Numerische Untersuchung des Einflusses verschiedener Schallschutzsysteme auf den Schalldruckpegel während einer Offshore-Pfahlrammung

Kristof Heitmann, Marcel Ruhнау, Tristan Lippert, Stephan Lippert, Otto von Estorff

Institut für Modellierung und Berechnung, Technische Universität Hamburg-Harburg, 21073 Hamburg, Deutschland

Email: mub@tuhh.de

Einleitung

Zur Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen werden Pfähle mit Hilfe von Impulshämmern in den Meeresboden gerammt. Hierdurch kommt es zu einem erheblichen Schalleintrag in das den Pfahl umgebende Meereswasser. Zum Schutz der maritimen Lebewesen wurden Grenzwerte für den Einzelereignispegel SEL als auch für den Spitzenschalldruckpegel L_{peak} eingeführt [1]. Um diese Grenzwerte einzuhalten ist es oft zwingend notwendig Schallschutzsysteme einzusetzen. Diese lassen sich in Systeme unterteilen, die einerseits in der direkten Umgebung des Pfahles den Schall mindern, wie z.B. der kleine Blasenschleier (SBC) und andererseits in Systeme, die in einer größeren Entfernung zum Pfahl ausgebracht werden, wie der große Blasenschleier (BBC) [2].

In diesem Beitrag wird das Potenzial zur Schallminderung dieser Systeme untersucht und verglichen, wobei zunächst ein einzelnes System betrachtet wird. Anschließend wird das Potenzial für ein kombiniertes System berechnet und diskutiert. Hierbei wird ein validiertes numerisches Modell auf der Basis der Finite-Elemente-Methode (FEM) verwendet. Das Schallschutzsystem wird idealisiert als absorbierende Randbedingung angenähert, die an dem Ort des Systems eingeführt wird. In dem vorliegenden Beitrag werden Abstände von 5 m, 100 m, 125 m, 150 m, 175 m sowie 200 m zur Pfahlmitte untersucht. Bei dem verwendeten Modell ist auf die Implementierung des geschichteten Bodens hinzuweisen. Besonderes Augenmerk ist auf die geophysikalische Deckschicht zu legen, da diese eine nahezu gleiche Impedanz wie das darüber befindliche Wasser hat. Detaillierte Ausführungen zu dem verwendeten Modell finden sich in Heitmann et al. nachgelesen werden [3].

Numerische Ergebnisse

Wie in der Einleitung beschrieben, werden zunächst einzelne Schallschutzsysteme untersucht. Die resultierenden Einzelereignispegel für die Berechnungen ohne und mit den genannten Systemen sind in der Abbildung 1 über die Entfernung dargestellt. Weiterhin ist der Unterschied zwischen dem berechneten Pegeln mit und ohne Schallschutz zu sehen. Es ist deutlich zu erkennen, dass ein perfekt arbeitendes Schallschutzsystem in der direkten Umgebung des Pfahles immer einen höheren Unterschied als ein System in einer größeren Entfernung zum Pfahl aufweist. Weiterhin ist zu erkennen, dass das Delta der Schallschutzsysteme in einer größeren Entfernung zum Pfahl mit dem Abstand ansteigt, bis eine Sättigung er-

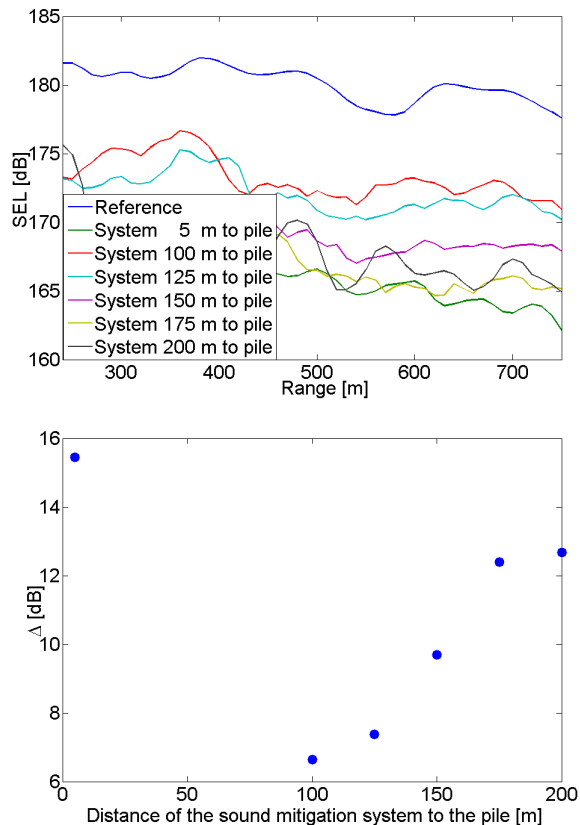


Abbildung 1: Obere Abbildung: SEL aufgetragen über die Entfernung. Untere Abbildung: Delta zwischen den Berechnungen mit und ohne Schallschutz.

reicht wird. Diese Entfernung Y_s lässt sich mit Hilfe des Abstrahlwinkels der ersten Wellenfront vom Pfahl α , der Wasserhöhe H_w und der Deckschichthöhe des Meeresbodens H_d beschreiben:

$$Y_s = \frac{H_w + H_d}{\tan(\alpha)}. \quad (1)$$

Begründen lässt sich dieser Zusammenhang durch die besagte nahezu gleiche Impedanz des Wassers und der geophysikalischen Deckschicht des Bodens. Die erste durch den Pfahl abgestrahlte Wellenfront mit dem Neigungswinkel α trifft auf diese Deckschicht. Anschließend wird die Energie dieser Wellenfront in diese transmittiert und an den weiteren Bodenschichten teilweise wieder zurück reflektiert. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Einfluss der Deckschicht, deren Dicke im Bereich eines Windparks stark variieren kann, ist in Abbildung 3 dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass

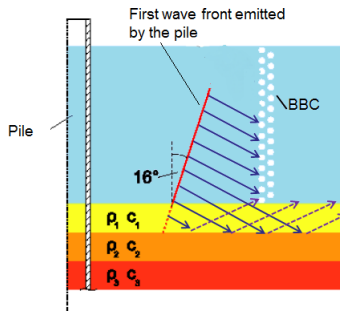


Abbildung 2: Darstellung der ersten vom Pfahl abgestrahlten Wellenfront und Auftreffen auf ein Schallschutzsystem.

der SEL mit steigender Deckschichtmächtigkeit ansteigt. Vergleicht man die Berechnung mit einer Deckschichtdicke von 1 m und einer Deckschichtdicke von 5 m, ist eine Änderung des SEL von 9 dB festzustellen.

Bei der Verwendung eines kombinierten Schallschutzsystems bestehend aus einem System in direkter Umgebung des Pfahles und einem System in einer größeren Entfernung zeigt sich ein umgekehrtes Verhalten für der Unterschied bzgl. der Entfernung des Schallschutzsystems in größer Entfernung zum Pfahl. Es ist festzustellen, dass das Schalldämmmaß dieses Schallschutzsystems mit Entfernung zum Pfahl fällt (siehe Abbildung 4).

Dies lässt sich durch die vorliegenden Wellenfronten begründen, die entstehen, wenn ein Schallschutzsystem in der direkten Umgebung des Pfahles verwendet wird. Hierdurch strahlt nur noch der Meeresboden maßgeblich Schall in das Meerwasser ab. Somit entsteht eine runde Wellenfront, die sich im Fernfeld zu einer ebenen Welle aufsteilt. Diese durchläuft das Wasser in Richtung der Meeresoberfläche und wird anschließend an der Wasseroberfläche mit einer Phasenumkehr reflektiert. Die reflektierte Wellenfront läuft jedoch in die Richtung des Meeresbodens. Wird diese nicht an der Ausbreitung durch ein Schallschutzsystem an einer geeigneten Position gehindert, kann diese ähnlich wie in Abbildung 2 dargestellt unter einem Schallschutzsystem hindurchtunneln.

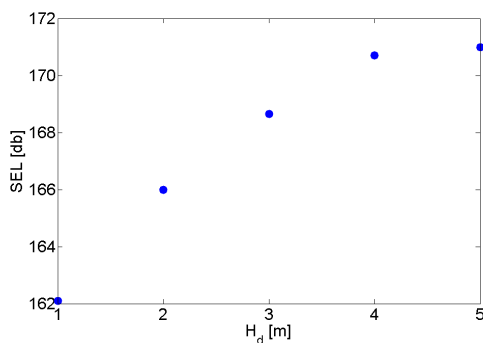


Abbildung 3: Darstellung des Einflusses der Deckschichtdicke H_d auf den SEL.

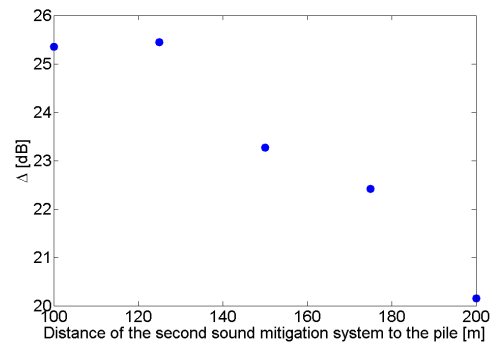


Abbildung 4: Delta zwischen den Berechnungen mit und ohne Schallschutz, dargestellt über die variierende Entfernung des pfahlfernen Systems zur Pfahlmitte

Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag wurde eine Untersuchung von Offshore-Schallschutzsystemen mit numerischen Methoden vorgestellt. Hierbei wurden Systeme, die in direkter Umgebung des Pfahles den Schall mindern, als auch Systeme, die in größerer Entfernung zum Pfahl installiert sind, untersucht.

Durch diese Betrachtungen kann eine Richtlinie zur Ausbringung von pfahlfernen Systeme hergeleitet werden. Hierdurch ist eine effiziente Auslegung der System möglich, da mit Hilfe der Formel 1 der nötige Radius berechnet werden kann und damit eine Überdimensionierung vermieden wird. Weiterhin wurden kombinierte Systeme untersucht und es konnte gezeigt werden, dass sich hierbei ein anderes Verhalten ausbildet und der Einfluss der reflektierten Wellenfront einen großen Einfluss auf das Schalldämmmaß hat. Bei der Dimensionierung derartigen Systems ist besonderes Augenmerk auf die Minderung der Wellenfront zu legen.

Danksagung

Die diskutierten Ergebnisse entstanden aus Forschungsaktivitäten, die im Rahmen des Projekts BORA vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages (FKZ 0325421A) gefördert werden.

Literatur

- [1] Umweltbundesamt, *Empfehlung von Lärmschutzwerten bei der Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA)* (2011).
- [2] Lüdemann, K. and Koschinski, S.. *Stand der Entwicklung schallminimierender Maßnahmen beim Bau von Offshore Windenergieanlagen* (2011).
- [3] Heitmann, K., Ruhnau, M., Lippert, T., Lippert, S., von Estorff, Otto, *Numerical Investigation of the Influence of Different Sound Mitigation System on the Underwater Sound Pressure Level due to Offshore Pile Driving*, Proceedings of the 22th International Congress on Sound and Vibration (ICSV), Florence, Italy, (2015).