Messung des Rammschalls an der Forschungsplattform FINO 3 Parametervariabilität der Schallausbreitung

Matthias Wildemann[1], Andreas Müller[1], Carsten Zerbs[1], Frank Gerdes[2]

[1] *Müller-BBM, 22305 Hamburg, E-Mail:Matthias.Wildemann@mbbm.de*
[2] *WTD 71, 24148 Kiel, E-Mail: FrankGerdes@bundeswehr.org*

Einleitung

Die WTD 71 bearbeitet derzeit als Auftragnehmer des FuE-Zentrums Fachhochschule Kiel GmbH die Forschungs- und Entwicklungsaufgabe „Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Variabilität des Schallfeldes bei FINO3 mit gleichzeitiger Erfassung der Anwesenheit von Schweinswalen“ (Wasserschallmessungen bei FINO3).

Seit September 2013 bis April 2016 hat die WTD 71 bei der Forschungsplattform FINO3 während verschiedener Zeiträume den Unterwasserschall erfasst. Insbesondere fanden während der Gründung des Windparks „Dan Tysk“, akustische Messungen mit Hilfe einer Hydrofonkette, bestehend aus sechs Hydrofonen in unterschiedlichen Tiefen, statt.

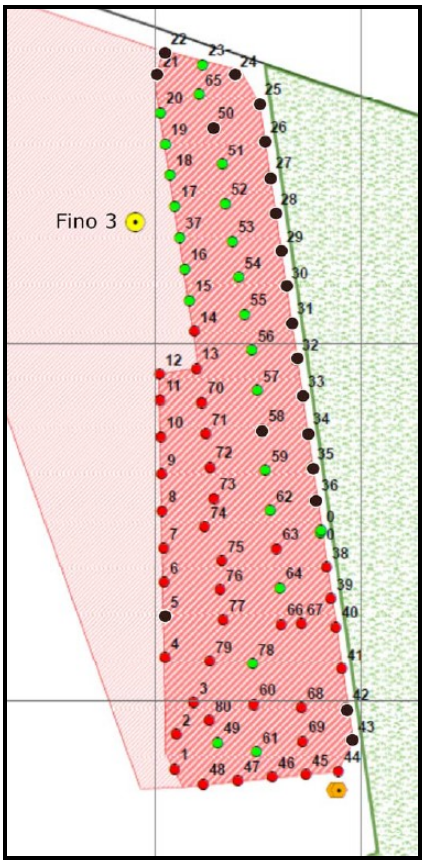

Abbildung 1: Windpark Dan Tysk und FINO3 [2]

Durch Müller-BBM wurden die Aufzeichnungen von Rammungen an 20 Fundamenten (in Abbildung 1 schwarz gekennzeichnet) ausgewertet und Untersuchungen bezüglich der Tiefenabhängigkeit von Hydrofonen auf die Messergebnisse sowie der Einfluss von Umweltbedingungen durchgeführt.

Messungen und Ergebnisse bei FINO3

Für die Beurteilung der Messungen wurden die Zeitsignale geprüft, die Einzelereignispegel L_E und die äquivalenten Dauerschallpegel $L_{eq,60s}$ bestimmt sowie die Oberflächenströmungsgeschwindigkeit und -richtung betrachtet.

Tiefenabhängigkeit

Die Messkette wurde in ca. 200 m Entfernung zur Forschungsplattform FINO3 ausgebracht. Die Hydrofonkette besteht aus einem Auftriebskörper, der eigentlichen Kette mit den Hydrofonen und einem Fundament (Turm) auf dem Meeresboden.

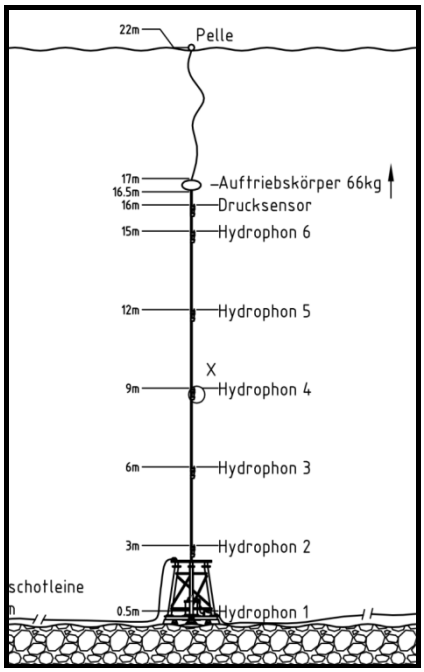

Abbildung 2: Hydrofonkette [3]

Das erste Hydrofon H1 war direkt am Turm befestigt, die Hydrofone H2 bis H6 sowie der Drucksensor an der Kette. Im Folgenden wird Hydrofon H1 mit Ch1 betitelt.

Die ersten Ergebnisse wurden in [4] vorgestellt.

Als Beispiel ist in Abbildung 3 ist der äquivalente Dauerschalldruckpegel $L_{eq,60s}$ für die sechs Hydrofone dargestellt, analysiert über den Zeitraum der Gründung des Fundamentes DT30.

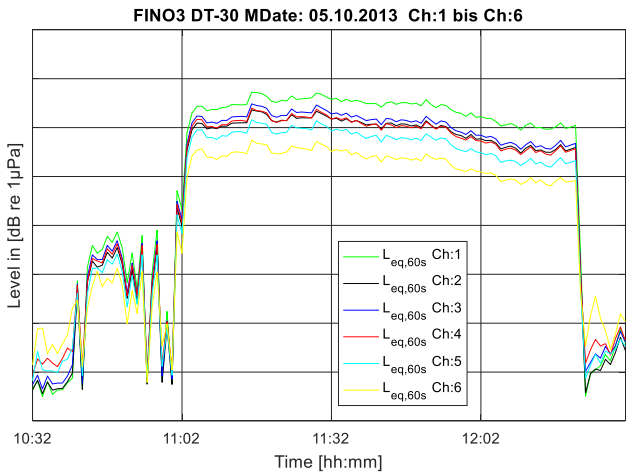

Abbildung 3: Tiefenabhängigkeit: $L_{eq,60s}$ der Hydrofone

Die höchsten Pegel wurden bei den bodennahen Hydrofonen erfasst. In Abhängigkeit vom Pegelmaximum während des Rammvorganges können die Hydrofone von „laut“ nach „leise“ sortiert werden:

Ch:1 > Ch:2 ≈ Ch:3 ≈ Ch:4 > Ch:5 > Ch:6

Diese Sortierung werden durch die Schalldruckpegel im Frequenzbereich 31,5 Hz – 125 Hz bestimmt, oberhalb von 125 Hz wurden nahezu identische Schalldruckpegel an den sechs Hydrofonen ermittelt.

Einfluss der Tide

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) hat Müller-BBM simulierte Werte der Oberflächenströmungsgeschwindigkeit und -richtung zur Verfügung gestellt.

In Abbildung 4 sind Terzspektren des Schalldrucks an den sechs Hydrofonen dargestellt, die ohne Rammung aufgezeichnet wurden (Hintergrundgeräusche). Es wurde jeweils ein Zeitraum mit hoher und niedriger und hoher Strömungsgeschwindigkeit ausgewertet..

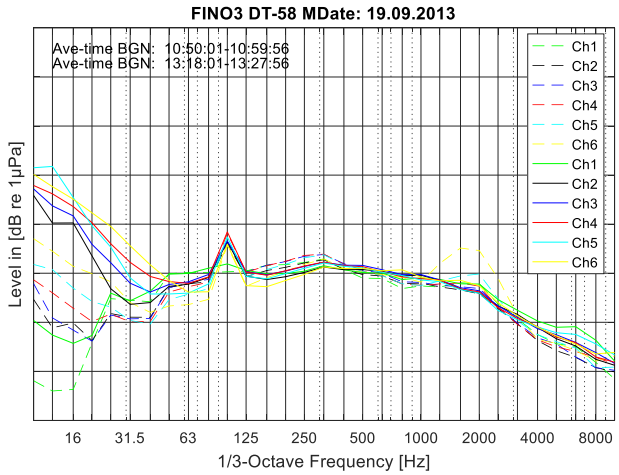

Abbildung 4: Einfluss Strömungsgeschwindigkeit. Gestrichelte Linien 0,1 m/s, durchgezogene Linien 0,4 m/s.

Die Tide, speziell die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers, beeinflusst die gemessenen Schalldruckpegel an den Hydrofonen Ch:2 bis Ch:6, speziell das letzte Hydrofon Ch:6 in der Kette, welches der Wasseroberfläche am nächsten ist. Im Frequenzbereich bis 40 Hz treten in Folge der Strömung Pegelerhöhungen auf, die den Dauerschallpegel im Hintergrundsignal dominieren.

Umrechnung auf Norm-Messabstand 750 m

Für die Überprüfung der Schallvorgaben bei Rammarbeiten sind gemäß Messvorschrift [1] die Schalldruckpegel L_E sowie L_{peak} den gültigen Grenzwerten (diese finden sich in den Genehmigungsunterlagen des BSH) in einem Messabstand von 750 m gegenüberzustellen. Dies bezieht sich jeweils auf die 5 %-Perzentilpegel.

Die 5 %-Perzentilpegel des Einzelereignispegels L_E wurden für die untersuchten Rammvorgänge ermittelt. Die Messungen erfolgten in unterschiedlichem Messabstand zu FINO3. Um vergleichbare Größen zu erhalten, wurde eine Entfernungskorrektur der Pegelwerte auf einen Abstand von 750 m durchgeführt. Dazu wurde ein 15-log(R)-Gesetz verwendet.

$$L_{750} = L_{mess} + 15 \cdot \log_{10}\left(\frac{R}{750m}\right) \qquad (1)$$

Die rückgerechneten Einzelereignispegel $L_{E,750m}$ der 20 Fundamente zeigen zwischen dem minimalen und maximalen Pegel eine Streuung von 12,5 dB. Zur Klärung der Ursache für diese Streuung wurden im nächsten Arbeitsschritt Messdaten aus dem Monitoring untersucht. Es sollte ermittelt werden, welcher Anteil der Variabilität der Schallquellen bzw. der Ausbreitung zuzuschreiben ist.

Vergleich der Messergebnisse bei FINO3 mit Daten aus dem Monitoring

Beim akustischen Monitoring wird, parallel zu allen durchgeführten Rammungen, Schall im Abstand von 750 m und 1500 m erfasst. Es wurden fünf Fundamente (DT29, DT30, DT31, DT32, DT34) ausgewählt und die Messdaten aus dem Monitoring analysiert.

Bei den fünf Fundamenten wurden identische Pfähle, Rammen (Hammer), Blasenschleier (doppelter) und vergleichbare Rammenergien angewendet.

Die Messdaten wurden vom BSH zur Verfügung gestellt.

Auswertung am Beispiel DT30

Die folgenden Abbildungen sind nach Entfernung geordnet, links oben 750 m, rechts oben 1500 m und links unten bei FINO3 (DT30 in 4260 m) Entfernung.

Abbildung 6 zeigt die gemessenen Zeitsignale und Abbildung 7 den Einzelereignispegels L_E, der äquivalente Dauerschalldruckpegel L_{eq} und den Spitzenschalldruckpegel L_{peak} in unterschiedlichen Entfernungen.

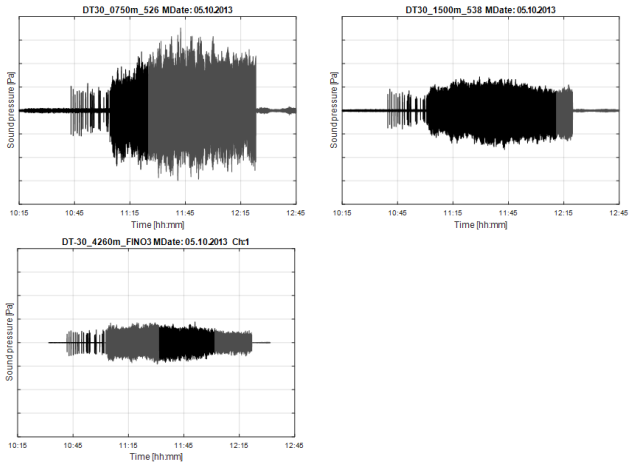

Abbildung 5: DT30: Zeitsignale des Schalldrucks

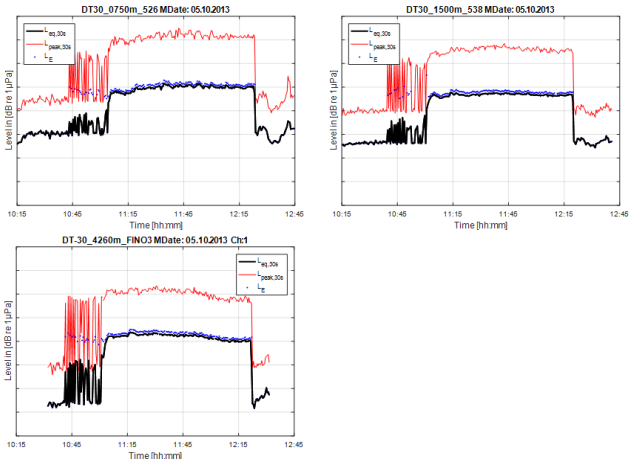

Abbildung 6: DT30: Zeitverlauf der Rammvorgänge

Trotz gleichbleibender Rammenergie nimmt die Amplitude, gemessen in 4260 m, im Gegensatz zu den Entfernungen 750 m und 1500 m, über die Zeit ab.

In Abbildung 7 sind Terzspektren für zwei unterschiedliche Zeitbereiche (Piling und Hintergrundsignal = BGN) dargestellt. Es wurde der energetische Mittelwert für jeden Zeitraum über zehn Minuten gebildet.

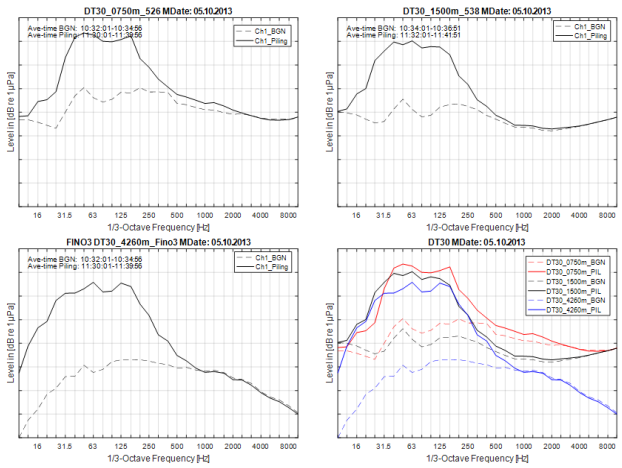

Abbildung 7: Terzspektren Piling und BGN

Auffällig in den Diagrammen sind die hohen Schalldruckpegel des Hintergrundgeräuschs bei den Messungen des Monitorings in 750 m und 1500 m. Dieser wird vermutlich durch die Versorgungsschiffe bestimmt. Bei den niedrigen Frequenzen unterhalb von 31,5 Hz wurden im Vergleich zur Referenzmessung in 750 m bei den größeren Entfernungen höhere Schalldruckpegel detektiert.

Zur Überprüfung der spektralen Verteilung der Schalldruckpegel über die Zeit sind in Abbildung 8 Terz-Spektrogramme dargestellt.

Die Amplituden einzelner Frequenzbänder ändern sich trotz gleichbleibender Rammenergie über die Zeit.

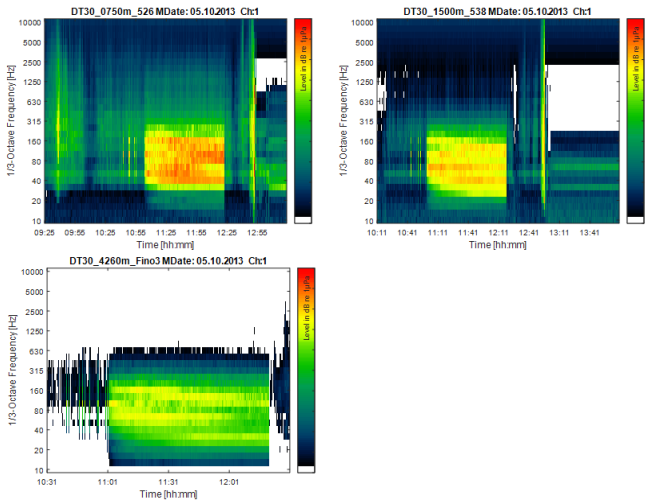

Abbildung 8: Terz- Spektrogramme

Für die ausgewerteten Daten der unterschiedlichen Fundamente wurden zusätzlich die Oberflächenströmungsgeschwindigkeit und die Stömungsrichtung betrachtet. Abbildung 9 zeigt im linken Diagramm den Betrag der Oberflächenströmungsgeschwindigkeit und den Wasserpegelhub, im rechten Diagramm ist in der Kompassdarstellung die Strömungsrichtung dargestellt.

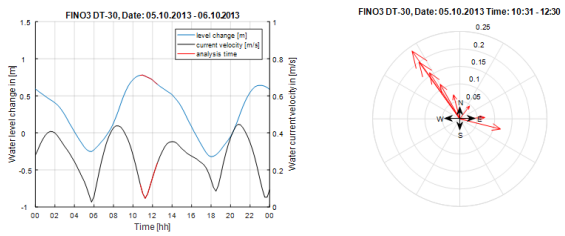

Abbildung 9: Oberflächenströmungsgeschwindigkeit und -Richtung

Im dargestellten Beispiel wurde während des Tidenstandes „Hochwasser“ gemessen. Die Strömung wechselt von südöstlicher Richtung in nordwestlicher Richtung.

Messergebnisse Monitoring

Die analysierten Einzelereignispegel $L_{E,5\%}$ aus dem Monitoring in 750 m werden im Folgenden als Referenzmessungen betrachtet. Diese Werte wurden nach Formel (1) auf 1500 m und entsprechend der Entfernung zu FINO3 als erwartete Schalldruckpegel umgerechnet und mit den

tatsächlich analysierten Werten verglichen. Die Abbildung 10 zeigt die Fundament- und Messpositionen, von denen die analysierten Daten stammen. Zusätzlich sind die Pegeldifferenzen zwischen dem jeweiligen gemessenen und erwarteten Wert eingetragen.

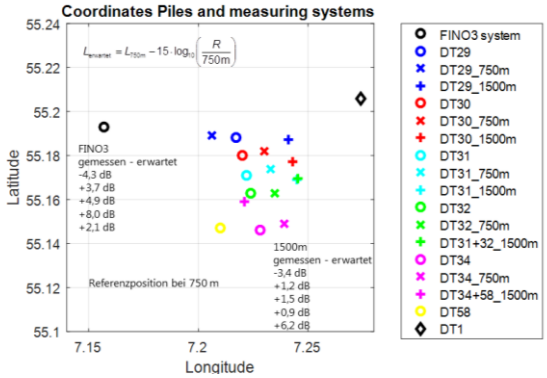

Abbildung 10: Fundament- und Messposition

An vier von fünf Fundamenten wurden in 1500 m und bei FINO3 höhere Schalldruckpegel gemessen als erwartet. Die Abweichungen der einzelnen Fundamente korrelieren nicht zwischen den unterschiedlichen Entfernungen.

Für die fünf näher untersuchten Rammvorgänge streuen die Einzelereignispegel $L_{E,5\%}$ im Vergleich zu den anderen Messpositionen wie folgt:

Tabelle 1: Streuung Einzelereignispegel $L_{E,5\%}$

5 Datensätze	750 m	1500 m	FINO3, korr. 750 m
$\Delta L_{E,5\%\,(max\text{-}min)}$	5,7 dB	6 dB	10 dB

Mit zunehmendem Abstand zwischen Schallquelle und dem Ort Aufzeichnung steigt die Streuung des Einzelereignispegels $L_{E,5\%}$.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die WTD71 wurden Wasserschall-Messdaten zur Verfügung gestellt, die an der Forschungsplattform FINO3 parallel zu Gründungsarbeiten des Windparks Dan Tysk aufgezeichnet wurden. Müller-BBM hat 20 Rammvorgänge an unterschiedlichen Fundamenten analysiert.

Die rückgerechneten Einzelereignispegel $L_{E,750m}$ der 20 Fundamente zeigen zwischen dem minimalen und maximalen Pegel eine Streuung von 12,5 dB. Zur Klärung der Ursache für die Streuung, d.h. welcher Anteil ist der Ausbreitung und welcher der Schallquellen zuzuschreiben, wurden Messdaten aus dem Monitoring in 750 m und 1500 m von fünf Fundamenten analysiert.

Bei den fünf Fundamenten wurden identische Pfähle, Rammen (Hammer), Blasenschleier (doppelter) und vergleichbare Rammenergien verwendet.

Die Messergebnisse der fünf Fundamente zeigen im Amplitudenverlauf der Zeitrohdaten und des Einzelereignispegels $L_{E,5\%}$ keinen einheitlichen Verlauf. Bei Betrachtung des Einzelereignispegels $L_{E,5\%}$ in den unterschiedlichen Entfernungen folgte dieser keinem einheitlichen Entfernungsgesetz.

Die betrachteten Strömungsgeschwindigkeiten, -Richtungen und der Wasserhub haben keinen unmittelbaren Zusammenhang zwischen den Pegelabweichungen erkennen lassen.

Für die Ausbreitung des Wasserschalls im Messgebiet haben Faktoren wie die verwendeten Blasenschleier (Position und Luftmenge), Umgebungsbedingungen (Schiffsverkehr) und die Bathymetrie einen Einfluss. Aktuell kann nicht abgeschätzt werden, welchen Einfluss die Schallübertragung über den Boden auf den Wasserschall hat.

Die WTD71 plant eine Modellierung des Seegebietes, um so den Einfluss der Umgebung (Bathymetrie und Untergrund) auf die Schallausbreitung zu bestimmen.

Danksagung

Die hier dargestellten Arbeiten sind Teil des Forschungsprojektes „Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Variabilität des Schallfeldes bei FINO3 mit gleichzeitiger Erfassung der Anwesenheit von Schweinswalen“. Die Bearbeitung wurde durch die WTD 71 für das Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH durchgeführt, Müller-BBM war Unterauftragnehmer. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags finanziert (Projektnummer 0327533).

Literatur

[1] „Offshore-Windparks, Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen, Aktuelle Vorgehensweise mit Anmerkungen“, BSH, Stand Oktober 2011

[2] Baufortschritt DanTysk 20130812, Mitteilung WTD 71 vom 2. 6. 2015

[3] Zeichnung der Hydrofonkette der WTD 71, Mitteilung WTD 2. 6. 2015

[4] Gerdes, F.; Görler, M.; Wildemann, M.; Müller, A.; Zerbs, C.: Measurements of pile driving noise at the research platform FINO3, Hamburg, Proceedings of the Internoise 2016