Charakterisierung der Unterwasserschallausbreitung mit definierten akustischen Signalen bei der Forschungsplattform FINO3

Frank Gerdes, Max Görler

Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD 71)

Forschungsbereich für Wasserschall und Geophysik (FWG), Klausdorfer Weg 2-24, 24148 Kiel

Einleitung

Bei der Errichtung der Fundamente von Offshore-Windenergieanlagen mittels Rammverfahren treten erhebliche Schallemissionen auf. Bisherige Messungen zeigen eine gewisse Variabilität der gemessenen Schallpegel. Mögliche Ursachen sind zeitliche Veränderungen beim Rammvorgang und/oder der Schallminderungsmaßnahme. Auch die oftmals vorhandene zeitliche Variabilität der Schallausbreitung im Wasser kann ein Beitrag sein. Letztere ist eine Folge der zeitlichen Variabilität der Umweltparameter, die die Schallausbreitung beeinflussen.

Der Einfluss der umweltbedingten Variabilität auf die Schwankungen der gemessenen Schallpegel kann nur dann herausgearbeitet werden, wenn sowohl die Schallquelle als auch der Empfänger möglichst stationär sind, d.h. zeitlich unveränderlich sind. Mit dieser Zielsetzung wurden bei FINO3 Schallausbreitungs(vor-)versuche mit einer vom Schiff abgehängten omni-direktionalen Schallquelle gemacht. Die Signale wurden auf einer Hydrophonkette und auf zwei autonom arbeitenden, abgesetzten akustischen Messsystemen aufgezeichnet.

Es sei darauf hingewiesen, dass bei diesen ersten Schallausbreitungsversuchen bei FINO3 die Stationarität von Sender und Empfänger nicht vollständig gegeben war und auch die Schwankungen der Umweltparameter, z.B. des Schallgeschwindigkeitsprofils, nicht vollumfänglich erfasst werden konnten. Nichtsdestotrotz zeigen die Messungen und Ergebnisse die prinzipielle Vorgehensweise.

Messungen

Im September 2013 wurde von der WTD 71 bei FINO3 ein akustisches Messsystem mit einer vertikalen Hydrophonkette installiert [1]. Temporär waren zwei am Meeresboden abgesetzte Aufzeichnungssysteme mit jeweils einem Hydrophon im Einsatz. Die Hydrophone befanden sich 5 m über dem Meeresboden. Eines dieser Messsysteme, die sogenannte AMAR-Boje, befand sich 400 m südlich von FINO3. In diesem Aufsatz werden nur die Daten dieser AMAR-Boje betrachtet.

Wenn die Installationsarbeiten und das Wetter es zuließen, wurden kurze Schallausbreitungsversuche durchgeführt. Gesendet wurde mit dem in Abbildung 1 gezeigten Sendewandler, der bei treibendem Schiff am Heck des Schiffs mit einem Kran ins Wasser abgehängt wurde. Es werden drei verschiedene Sendepositionen betrachtet. Zu Beginn der jeweils 30 bis 40 Minuten dauernden Sendephasen lagen diese ungefähr 1.8 km, 4.9 km bzw. 10 km westlich von FINO3. Aufgrund der Strömung driftete das Schiff während der Sendephasen um mehrere hundert Meter. Die Tiefe des Senders unter der Wasseroberfläche betrug 15 m ± 1 m.

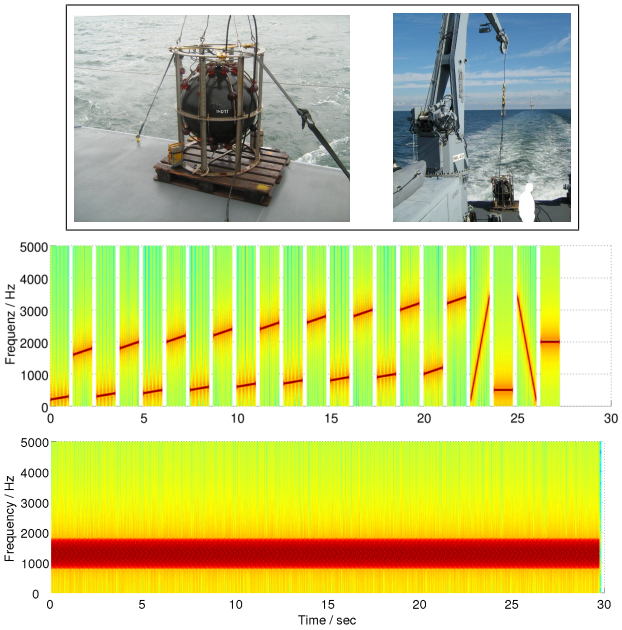

Abbildung 1: Oben: Photos des Sendewandlers, der bei treibendem Schiff ins Wasser abgehängt wurde. Mitte: Spektrogram der Signalfolge A bestehend aus einer Folge von mehreren linearen Sweeps und zwei CWs. Unten: Spektrogram der Signalfolge B bestehend aus eine Folge von 117 identischen PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) Signalen.

Es wurden zwei verschiedene Signalfolgen gesendet, genannt A und B (Abbildung 1). Die Folgen wurde im Wechsel gesendet, wobei z.B. A immer auf der vollen Minute und B auf der halben Minute begann. A besteht aus einer Folge von schmalbandigen (Bandbreite 100 Hz oder 200 Hz) Sweeps, auch LFMs (linearly frequency modulated) genannt, gefolgt von zwei breitbandigen Sweeps und zwei CW (continuous wave) Signalen. Der erste der schmalbandigen Sweeps beginnt bei 200 Hz und endet bei 300 Hz und der letzte beginnt bei 3200 Hz und endet bei 3400 Hz. Mit dieser Signalfolge kann die Schallausbreitung bezüglich ihrer Abhängigkeit von der Frequenz der Signale untersucht werden. Zeitliche Veränderungen der Schallausbreitung können nur erfasst werden, wenn sie deutlich langsamer als die Wiederholrate (60 Sekunden) eines einzelnen Sweeps stattfinden. B besteht aus der 117-fachen Wiederholung eines sogenannten PRBS (pseudo random binary sequence) Signals und hat eine Bandbreite von 1000 Hz mit einer Mittenfrequenz von 1300 Hz. Da die Signalfolge insgesamt 29.8 Sekunden lang ist, wird die

Schallausbreitung alle 0.254 Sekunden abgetastet. Damit können auch schnelle zeitliche Veränderungen der Schallausbreitung erfasst werden. Eine Frequenzauflösung, wie mit Signal A, ist mit Signal B allerdings nicht möglich. Im Folgenden werden nur Beispiele der mit Signal B erzielten Ergebnisse beschrieben.

Variabilität der Impulsantworten

Mit Hilfe der sogenannten Matched-Filter-Analyse kann die Impulsantwort des Schallkanals zwischen Sender und Empfänger bestimmt werden. Dazu wird das empfangene Schallsignal mit dem bekannten Sendesignal korreliert. Für Signal B erhält man 117 Impulsantworten in 30 Sekunden. Abbildung 2 zeigt aus Gründen der Übersichtlichkeit nur 23 der 117 Impulsantworten. Man erkennt nur einen dominanten Korrelationspeak. Dies bedeutet, dass es nur einen dominanten Schallweg zwischen Sender und Empfänger gegeben hat. Zu beachten ist, dass bei einer Signalbandbreite von 1000 Hz die Pulszeitauflösung 2 Millisekunden beträgt, was bei einer Schallgeschwindigkeit im Wasser von 1500 $\mathrm{m\,s^{-1}}$ einem Schallweg von 3 Metern entspricht. Dies bedeutet, dass Schallwege mit einem Laufwegunterschied von weniger als 3 m nicht voneinander getrennt werden können.

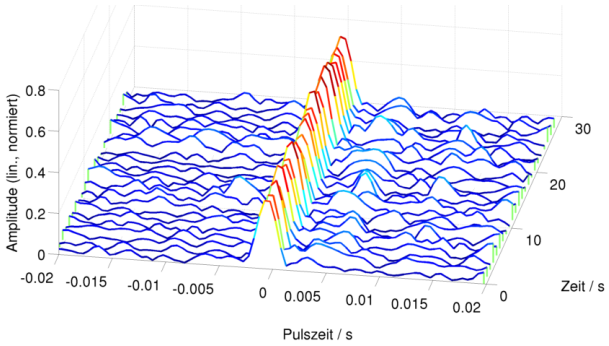

Abbildung 2: Wasserfalldarstellung von jeder fünften der insgesamt 117 Impulsantworten für den Fall der Schallausbreitung über eine Distanz von ca. 10 km. Die Impulsantworten sind aufgetragen über die sogenannte Pulszeit und die Echtzeit, die wie die Signalfolge B selbst, von 0 bis 30 Sekunden läuft. Das Maximum der Impulsantworten ist auf die Pulszeit 0 Sekunden zentriert. Die Amplitude der Impulsantwort ist in linearen, normierten Einheiten über der z-Achse aufgetragen und zusätzlich farblich kodiert.

Abbildung 3 vergleicht die Impulsantworten für die drei Ausbreitungsdistanzen 1.8 km, 4.9 km und 10 km. Bei geringeren Ausbreitungsdistanzen weisen die Impulsantworten eine kompliziertere Struktur auf, d.h. es gibt mehrere Schallwege zwischen Sender und Empfänger. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei kurzen Ausbreitungswegen auch die Schallwege, bei denen der Schall an Meeresoberfläche und Meeresboden reflektiert wird, noch mit ausreichender Energie beim Empfänger ankommen. Um so größer die Ausbreitungsdistanz um so öfter wird der Schall reflektiert und um so geringer wird wegen der Reflektionsverluste der Schalldruck, bis schließlich kaum Energie übrig bleibt. Man kann der Abbildung auch entnehmen, dass für die Schallnebenwege (bei 1.8 km) die Amplitude stark variiert. Dies ist im Einklang mit der Hypothese, dass die Nebenwege über die durch den Seegang bewegte Meeresoberfläche verlaufen.

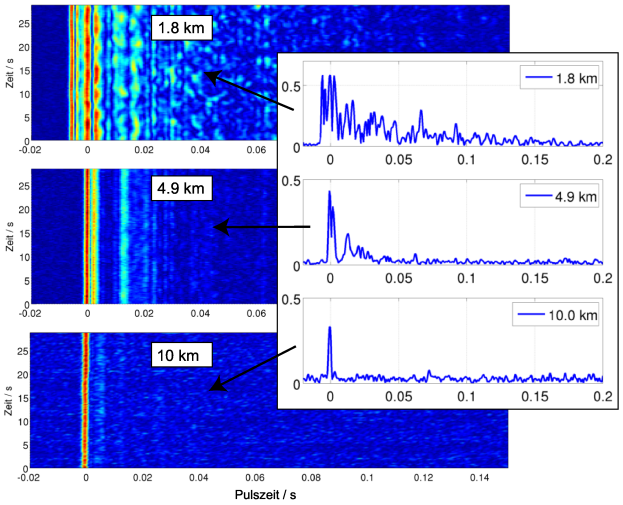

Abbildung 3: 2D-Darstellung aller 117 Impulsantworten ausgetragen über Pulszeit (x-Achse) und Echtzeit (y-Achse). Die Amplitude ist farblich kodiert. Die Linienplots zeigen jeweils eine der 117 Impulsantworten zum (Echt-)Zeitpunkt 0 Sekunden, d.h. die erste der 117 Impulsantworten. Die obere, mittlere und untere Darstellung zeigen die Ergebnisse für die Distanzen 1.8, 4.9 und 10 Kilometer. Die Daten der unteren Darstellung sind mit denen in Abbildung 2 identisch.

Zusammenfassung und Ausblick

Bei Verwendung von definierten Sendesignalen ist es möglich, den Einfluss der Variabilität der Schallausbreitung im Wasser auf die Variabilität der Empfangspegel herauszuarbeiten. Wie dies prinzipiell geschehen kann, wird in diesem Aufsatz an einem Beispiel gezeigt. Unsere Sendesignale wurden nicht nur von unseren Empfangssystemen, sondern auch von Systemen Dritter empfangen (nach mündlichen Aussagen bis zu Entfernungen von ca. 60 Kilometer). Es ist angedacht, diese Messdaten, die uns zur Zeit noch nicht vorliegen, in die Auswertung mit einzubeziehen. Des weiteren soll mittels des Signals A die Frequenzabhängigkeit der Schallausbreitung untersucht werden.

Danksagung

Ein Teil der Messungen erfolgte im Auftrag und mit Unterstützung der Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH und wurde gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Die Autoren bedanken sich bei dem Auftraggeber, der Besatzung des Mehrzweckboots Stollergrund und dem Geschäftsbereich Messtechnik des FWG für die hervorragende Unterstützung.

Literatur

[1] Görler, M. und Gerdes, F.: Messsystem zur Erfassung der Unterwasserschalls bei der Forschungsplattform FINO3. DAGA 2014, Oldenburg, März 2014.