

## Boden und darüber hinaus:

## Parameter zur Vorhersage von Körperschalleinträgen bei Rammereignissen

Claudia Podolski, Dennis Wilken und Wolfgang Rabbel

Institut für Geowissenschaften, Abteilung Geophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel

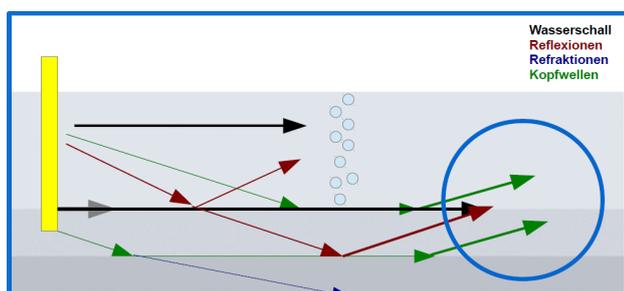
E-Mail: cpodolski@geophysik.uni-kiel.de

## Einleitung

Die Erzeugung seismischer Wellen bei Offshore-Rammereignissen spielt bei der Diskussion von Lärmbelastung durch eben selbige eine entscheidende Rolle. Seismische Wellen werden hierbei im Sediment erzeugt, können Schallschutzmaßnahmen unterlaufen und einen nennenswerten Rückeintrag in die Wassersäule liefern. Zur Körperschallvorhersage bei Rammereignissen, wie bspw. im Rahmen des Projektes BORA, ist daher die Kenntnis bestimmter Parameter wie Sedimentstruktur, seismische Geschwindigkeit und Dämpfungsparameter von großer Wichtigkeit.

Dieser Beitrag beschreibt diese Parameter sowie die Methodik ihrer geophysikalischen In-situ-Bestimmung. Darüber hinaus wird ein Datensatz aus der Nordsee gezeigt, an welchem besagte Parametersätze geophysikalisch bestimmt wurden.

Der bei Rammereignissen erzeugte Schall breitet sich im Wasser und, in Form von Körperschall, auch im Boden aus. Unterschiedliche Wellentypen laufen hierbei verschiedene Wege im Untergrund (s. Abb.1). Ein Teil der Wellenenergie wird als Reflexionen an Schichtgrenzen reflektiert und zur Meeresbodenoberfläche zurückgestrahlt, ein anderer Teil in den Untergrund refraktiert; unter dem kritischen Winkel refraktierte Wellen, sogenannte Kopfwellen, wiederum laufen entlang von Schichtgrenzen im Boden und geben kontinuierlich einen Teil ihrer Energie an die Erdoberfläche zurück.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung der Wellenausbreitung bei einer Offshore-Rammung. Wellen laufen von der Schallquelle (gelb) in den Untergrund, werden dort gebrochen, reflektiert und unterlaufen Schallschutzmaßnahmen im Wasser (hellblau).

Reflexionen und Kopfwellen von Kompressionswellen, welche wie in Abb. 1 dargestellt, Schallschutzmaßnahmen im Wasser unterlaufen können, leisten hierbei den wohl größten Rückeintrag in die Wassersäule. Des Weiteren können erzeugte vertikal polarisierte Scherwellen am

Meeresboden in Kompressionswellen konvertieren und ebenfalls einen Beitrag im Fernfeld liefern. Ein weiterer Wellentyp sind die durch den Rammschlag erzeugten Oberflächenwellen, sogenannte Scholtewellen, welche ebenfalls einen Kompressionsanteil besitzen. Dieser ist aber erwartungsgemäß klein gegen den Raumwellenanteil.

Die eintreffende Wellenenergie wird hierbei von verschiedenen Faktoren beeinflusst: Anfangsamplitude, Dämpfung, räumliche Divergenz, Reflexions- und Transmissionsverhalten und Streuung im Sediment.

Die Dämpfung der Energie kann durch den **Dämpfungsparameter** beschrieben werden. Die räumliche Divergenz hängt direkt mit dem Strahlweg zusammen, der durch die **Schichtung** und die **seismischen Geschwindigkeiten** im Untergrund charakterisiert wird. Letztere bestimmen zusammen mit der **Dichteverteilung** ebenfalls die Reflexions- und Transmissionskoeffizienten.

Um realistische Vorhersagemodelle aufstellen zu können, müssen diese Parameter bei der Berechnung berücksichtigt werden.

## Methodik

Mithilfe von seismischen Messungen wurden im Rahmen des BORA-Projektes zunächst Informationen zu einigen der o. g. Parameter gesammelt:

a) *Bodenstruktur, Kompressionswellengeschwindigkeit*  
Hochauflösende reflexionsseismische Untersuchungen geben Auskunft über die Schichtung und in Kombination mit Bohrlochdaten über Schichtmächtigkeiten und Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Kompressionswellen (bspw. Wilken et al. [1]). Hierbei werden die seismischen Laufzeiten von Schichten den Tiefen der Fazieswechsel aus den Bohrdaten zugeordnet. Über Tiefe und Laufzeit kann dann in einfacher Form die Intervallgeschwindigkeit berechnet werden.

b) *Dämpfungsparameter*

Die Bestimmung des Dämpfungskoeffizienten  $\alpha$ , welcher die Dämpfung einer Welle über  $A(r) = A_0 e^{-\alpha r}$  mit  $r$ =Entfernung,  $A$ =Amplitude und  $A_0$ =Anfangsamplitude, beschreibt, geschieht mittels der Spektrendivisionsmethode. Tonn [2] beschreibt verschiedene Verfahren, um den sog. seismischen Qualitätsfaktor  $Q$  anhand von seismischen Daten zu bestimmen, wobei  $Q^{-1} = \frac{\alpha v}{\pi f}$ . Hier ist  $v$  die seismische Geschwindigkeit,  $f$  die Frequenz. Bei der Spektrendivisionsmethode (bspw. Jannsen et al. [3]) werden zwei

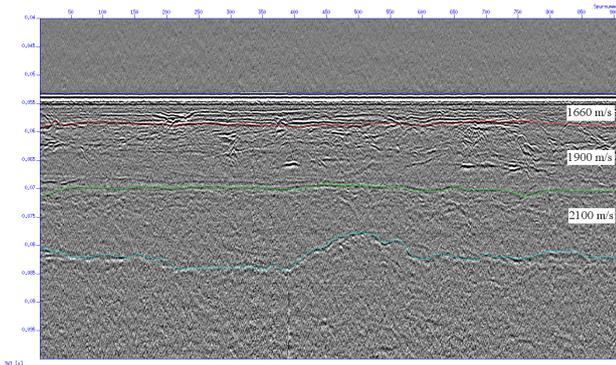
Signale, im Abstand  $\Delta x$  aufgenommen, betrachtet. Die Amplitudenspektren  $A_1$  und  $A_2$  dieser beiden Signale sind über folgenden Zusammenhang mit  $Q$  verknüpft:

$$\ln\left[\frac{A_1(f)}{A_2(f)}\right] = \text{const} + \pi \frac{\Delta x}{Qv} f \quad (1)$$

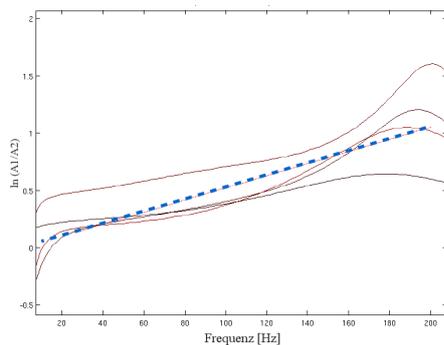
Kompressionswellendaten aus der Weitwinkelseismik bieten so die Möglichkeit  $Q_p$  für Kompressionswellen zu bestimmen, und die Spektrendivision von Oberflächenwellendaten liefert näherungsweise ein  $Q_s$  für Scherwellen.

## Ergebnisse

Im Rahmen von Messungen im Windpark BARD Offshore 1 konnten die vorgestellten Bodenparameter bestimmt werden. Hochauflösende reflexionsseismische Untersuchungen liefern hierbei die Bodenstruktur am zukünftigen Standort einer Offshore-Windenergie-Anlage. Abbildung 2 zeigt die identifizierten Schichten eines Boomerprofils sowie die mithilfe der Bohrung ermittelten seismischen Geschwindigkeiten für die verschiedenen Schichtpakete.



**Abbildung 2:** Sedimentstruktur und seismische Geschwindigkeiten am Standort einer Offshore-Windenergie-Anlage.



**Abbildung 3:** Spektrendivision von Kopfwellen. Aus der Steigung der Kurven kann der Qualitätsfaktor  $Q$  bestimmt werden.

Die akquirierten weitwinkelseismischen Daten wurden zur Bestimmung des Qualitätsfaktors  $Q_p$  verwendet, indem die Spektren von Kopfwellen ausgewertet wurden. Die Spektrendivision von verschiedenen Abständen  $\Delta x$  ist in Abbildung 3 zu sehen. Ein mittleres  $Q_p$  kann nun

aus den Steigungen der resultierenden Geraden ermittelt werden. Es ergeben sich für diesen Standort Werte von ca.  $Q = 30 \pm 10$ . Diese Werte entsprechen jedoch einer Mittelung von  $Q_p$  bis zu einer Tiefe von ca. 40m unterhalb des Meeresbodens.

Weiterhin wurden auf dieselbe Weise  $Q_s$ -Werte aus Scholtewellen (Grenzflächenwellen) bestimmt und mit ca.  $Q_s = 10 \pm 5$  angegeben.

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde vorgestellt, welche Sedimentparameter für die Vorhersageberechnung von Rammerschall bei der Gründung von Offshorebauwerken von Wichtigkeit sind. Die genaue Kenntnis nicht nur des Bodens sondern auch der physikalischen und strukturellen Sedimentbeschaffenheit bis wenigstens Gründungstiefe und die Einbeziehung dieser charakteristischen Werte in numerische Modellierungen ist dabei unumgänglich.

Es wurden verschiedene Wellen im Untergrund erläutert, welche Schallschutzmaßnahmen unterlaufen können. Die ankommende Wellenenergie hängt hierbei von Sedimentstruktur (aufgrund der Laufweggeometrie), seismischen Geschwindigkeiten und der Dämpfung des Bodens ab. Diese Parameter lassen sich größtenteils mit geophysikalischen Methoden bestimmen.

Ihre In-situ-Bestimmung insbesondere durch seismische Messungen wurde erläutert und für einen Testdatensatz bei BARD Offshore 1 vorgestellt. Es wurden zunächst die Untergrundstruktur sowie seismische Geschwindigkeiten in adäquater Auflösung ermittelt. Es wurde gezeigt, dass mithilfe der Spektrendivisionsmethode Abschätzungen über die Dämpfungseigenschaften der Sedimente möglich sind.

## Danksagung

Die Forschungsaktivitäten im Rahmen des Projektes BORA werden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages (FKZ0325421C) gefördert.

## Literatur

- [1] Wilken, D., Wölz, S., Müller, C., Rabbel, W. (2009): FINOSEIS: a new approach to offshore- building foundation soil analysis using high resolution reflection seismic data and Scholte-wave dispersion analysis, *Journal of Applied Geophysics* 68(1), 117-123.
- [2] Tonn, R. (1989): Comparison of seven methods for the computation of  $Q$ . *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 55, 259-268.
- [3] Jannsen, D., Voss, J. and Theilen, F. (1985). Comparison of methods to determine  $Q$  in shallow marine sediments from vertical reflection seismograms. *Geophys. Prospect.*, 23: 479-497.