

Messung der Unterwasser-Schallabstrahlung einer Offshore-Windenergieanlage

Klaus Betke, Manfred Schultz-von Glahn, Andreas Petersen², Joachim Gabriel³

Institut für technische und angewandte Physik GmbH (ITAP), Oldenburg

²GE Wind Energy GmbH, Salzbergen, ³Deutsches Windenergie-Institut (DEWI), Wilhelmshaven

Derzeit laufen Planungen und Genehmigungsverfahren für mehr als 5000 Windenergieanlagen (WEA) in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) in Nord- und Ostsee; jede einzelne Anlage soll 3 bis 5 MW Nennleistung haben. Aus akustischer Sicht kritisch für die Meeresfauna ist die Bauphase mit ihren sehr intensiven Rammgeräuschen. Noch keine Einigkeit besteht dagegen bei der Frage, ob auch der reguläre Betrieb von Offshore-WEA eine akustische Belastung der Meeresumwelt bedeuten kann.

Für den Offshore-Betrieb vorgesehene WEA existieren zudem oft nur als Prototypen an Land; daher ist auch eine Vorhersage von Immissionspegeln schwierig. Wünschenswert wäre daher die Kenntnis einer möglichst allgemeingültigen „Übertragungsfunktion“ zwischen den leicht messbaren Schwingungen der Turmwand und dem abgestrahlten Unterwasserschall.

Schalleintrag ins Wasser durch eine WEA

Die wesentlichen Quellen des von einer WEA erzeugten Unterwasserschalls sind das Getriebe und der Generator. Die von der Gondel ausgehenden Schwingungen verursachen Biegeschwingungen des Turmmantels und diese wiederum eine Abstrahlung von Schall (Abbildung 1). Von den Rotorblättern und von der Gondel abgestrahlter Luftschall, der ins Wasser eindringt, ist dagegen vernachlässigbar.

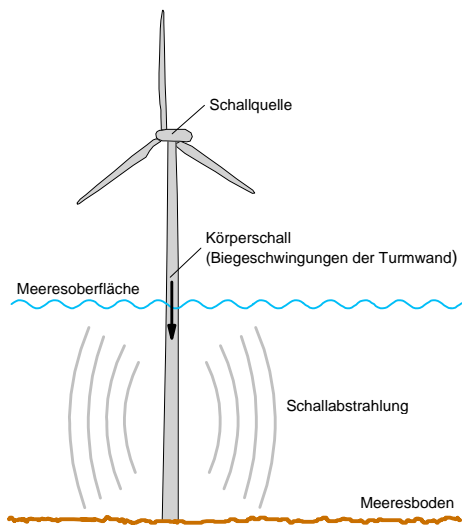


Abbildung 1: Einleitung von Schall ins Wasser durch eine WEA

Messungen

Im Oktober 2002 konnten erste Messungen im Offshore-Windpark Utgrunden vorgenommen werden. Dieser Park befindet sich zwischen dem schwedischen Festland und der Insel Öland und ist seit Ende des Jahres 2000 in Betrieb. Er besteht aus sieben Anlagen mit jeweils 1.5 MW Nennleistung.

Für die Messungen stand die mittlere der etwa auf einer Nord-Süd-Linie angeordneten WEA zur Verfügung. Um Störgeräusche im Wasser zu vermeiden, wurden die übrigen Anlagen abgeschaltet.

Die Turmwandung wurde mit vier Beschleunigungsaufnehmern versehen, zwei oberhalb und zwei unterhalb der Wasserlinie (Abbildung 2). Die Sensoren waren in einer Linie übereinander angeordnet. Messungen an einer vergleichbaren WEA an Land hatten zuvor gezeigt, dass sich die Schwingungspegel an verschiedenen Stellen des Turmumfangs nur wenig unterscheiden. Ein Hydrofon war in 110 m Abstand zur WEA fest installiert, mit einem weiteren Hydrofon wurden Messungen von einem Boot aus in verschiedenen Entfernungen bis 600 m vorgenommen.

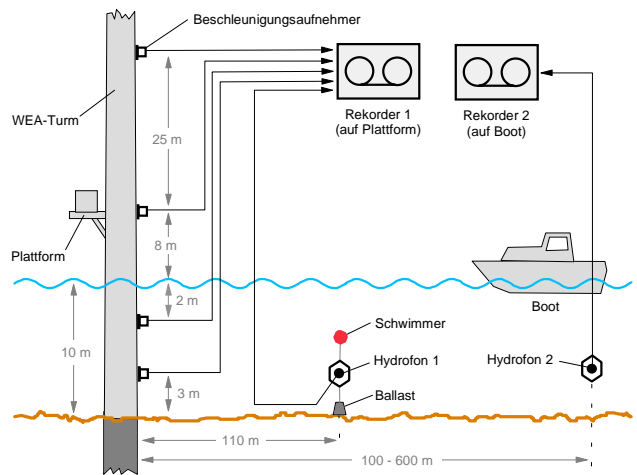


Abb. 2: Messanordnung

Abbildung 3 zeigt ein in 110 m Abstand von der WEA gemessenes akustisches Spektrum. Das Maximum der Schallabstrahlung liegt zwischen 40 und 150 Hz. Oberhalb von 1 kHz war keine nennenswerte Schallabstrahlung zu beobachten.

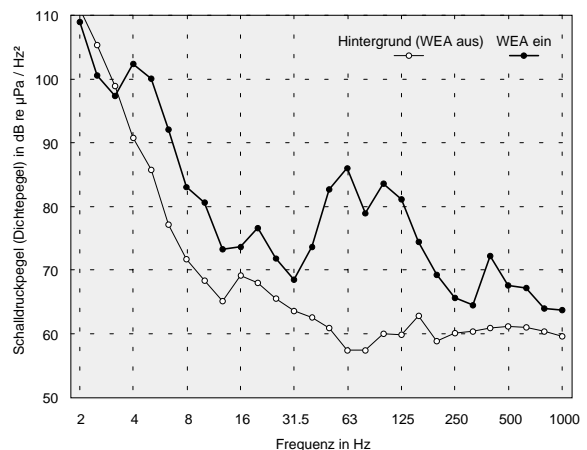


Abb. 3: An Hydrofon 1 gemessene 1/3-Oktav-Pegel

Im Messzeitraum arbeiteten die Anlagen des Windparks nur mit etwa 10% ihrer Nennleistung; die gemessenen Pegel sind daher vermutlich nicht für alle Betriebszustände repräsentativ. Auch die

Hintergrundpegel sind vergleichsweise niedrig. Bei stärkerem Wind ist allerdings ein Übersetzen vom Schiff auf die Anlage nicht möglich. Geplant ist deshalb eine automatische aufzeichnende Messung über einen Zeitraum von mehreren Wochen.

Im FFT-Spektrum (Abbildung 4) lassen sich einzelne Linien den Drehfrequenzen f_{ni} und Zahneingriffsfrequenzen f_n des Getriebes sowie Harmonischen davon zuordnen. Beispielsweise ist f_{n5} die Drehfrequenz des Generators, dessen dritte Harmonische bei 54 Hz abgestrahlt wird. Mit denjenigen Spektrallinien, die auch in den Beschleunigungssignalen eindeutig zu identifizieren sind, lässt sich nun eine „Übertragungsfunktion“ berechnen, welche den Schalldruckpegel unter Wasser als Funktion des an der Turmwand gemessenen Beschleunigungspegels angibt.

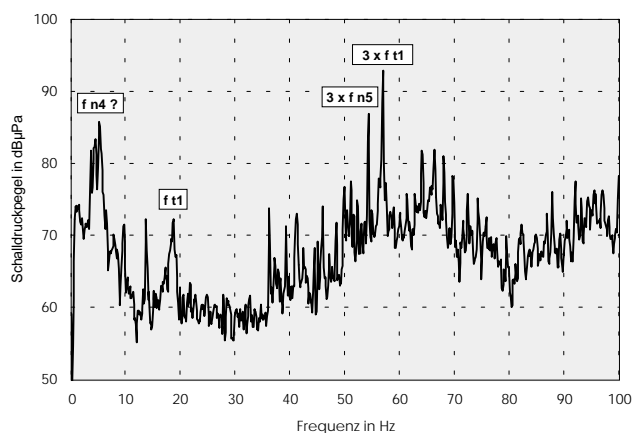
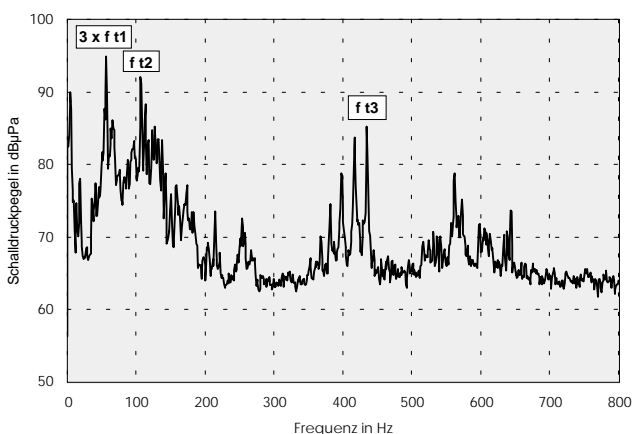


Abb. 4: Mit Hydrofon 1 aufgenommene Schmalbandspektren. Oben: 0...800 Hz, unten: 0...100 Hz

In Abbildung 5 ist der Betrag der so ermittelten Übertragungsfunktion aufgetragen, und zwar normiert auf eine Entfernung von 1 m vom akustischen Zentrum. In Flachwasserzonen – wozu auch der größte Teil von Nord- und Ostsee zählt – ist die Schallausbreitung durch eine Gesetzmäßigkeit „zwischen Kugelwelle und Zylinderwelle“ gekennzeichnet. Für Abstände bis etwa 80 km wird der *Transmission Loss* TL in dB recht genau durch eine von Thiele angegebene Näherung [1] beschrieben:

$$TL = (16.07 + 0.185 F) (\log(r) + 3) + (0.174 + 0.046 F + 0.005 F^2) r,$$

darin ist $F = 10 \log(f / \text{kHz})$ und r die Entfernung in km. Im hier interessierenden Frequenz- und Entfernungsbereich nimmt der Pegel mit rund 4.5 dB je Entfernungsverdopplung ab.

Noch unklar ist das Zustandekommen des scharfen Maximums zwischen 50 und 60 Hz. Anstatt die Turmstruktur mit den von Getriebe und Generator ausgehenden Schwingungen anzuregen, wurde bei einer Kontrollmessung auch eine breitbandige Anregung mit Impulsen (Hammer) vorgenommen. Die so ermittelte Übertragungsfunktion (Abbildung 6) liegt in der gleichen Größenordnung; das Maximum zwischen 50 und 100 Hz ist aber weniger stark ausgeprägt. Weitere Untersuchungen an anderen Anlagentypen sowie einer als Monopile ausgelegten Forschungsplattform sind vorgesehen.

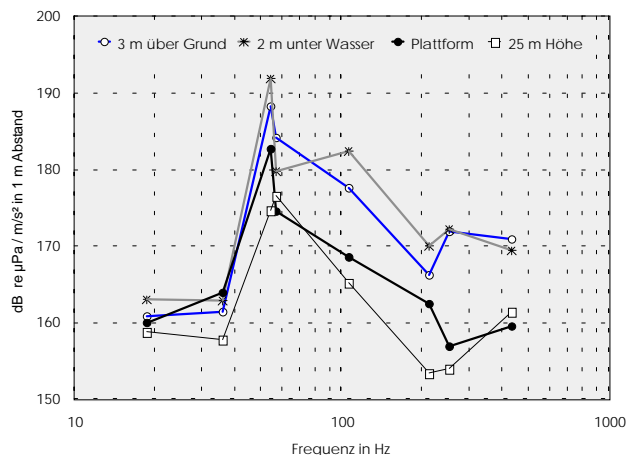


Abb. 5: Übertragungsfunktion Schall – Turmbeschleunigung. Anregung der Turmstruktur durch Getriebe und Generator

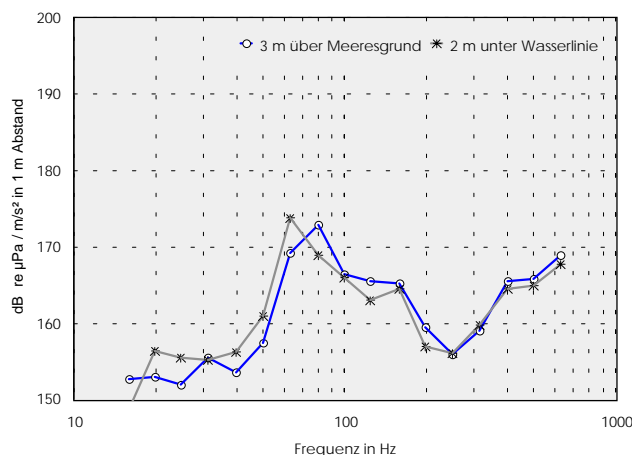


Abb. 6: Übertragungsfunktion Schall – Turmbeschleunigung, gemessen mit Impulsanregung der Turmstruktur

Danksagung

Diese Untersuchung wurde vom Bundesumweltministerium im Rahmen des Verbundprojektes „Standardverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Belastung der Meeresumwelt durch die Schallimmission von Offshore-Windenergieanlagen“ gefördert. Wir danken der GE Wind Energy GmbH für das Ermöglichen der Messungen und für die freundliche Unterstützung vor Ort.

[1] R.Thiele, FWG Kiel. Persönliche Mitteilung 2001