



ULTRASCHALLPRÜFUNG VON OFFSHORE-WINDENERGIEANLAGEN

Dr. Bianca Weihnacht, Dr. Lars Schubert, Dipl.-Math. Kilian Tschöke, Dr. Peter Neumeister, Dr. Holger Neubert

Motivation, Zielstellung und Grundlagen

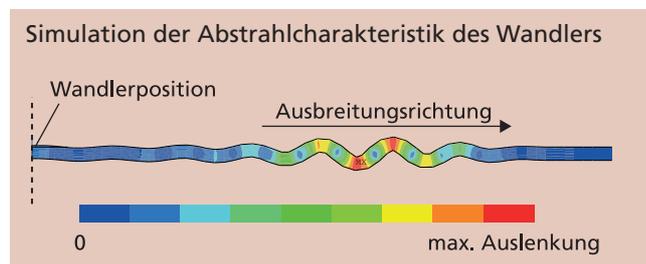
Mit der steigenden Anzahl von Offshore-Windenergieparks in Nord- und Ostsee steigt zugleich der Bedarf an angepassten und kostengünstigen Überwachungstechniken für die Anlagen. Bild 1 zeigt beispielhaft den Windpark EnBW Baltic 1, den ersten kommerziell betriebenen Offshore-Windpark in der Ostsee. Das Augenmerk einer Überwachung richtet sich für diese Anwendung auf die Gründungsstrukturen der Anlagen, die den Gezeiten des Meeres sowie der Kraft der Wellen und des Windes ausgesetzt sind. Die Stahl-Beton-Stahl-Verbindung (Grout-Verbindung) zwischen dem Rammpfahl, der in den Meeresboden getrieben wird, und dem Transition Piece, der Anlege- und Wartungsplattform, stellen ein zentrales Element von Monopile-Gründungen dar. Eine solche Wartungsplattform ist in Bild 2 zu sehen. Sie ermöglicht den Zugang zur Windenergieanlage. Verfahren zur Überwachung des Aushärtungsprozesses und zur Detektion von Fehlstellen der Grout-Verbindungen sind für Offshore-Bauwerke bisher nicht verfügbar. Jedoch sind Techniken und akustische Verfahren bekannt, z. B. aus dem Bereich des Brückenbaus, mit denen sich Betonaushärtung und -qualität überwachen lassen. Die Herausforderung besteht darin, ein Sensor-Aktor-System für ein Prüfobjekt von der Größe, Struktur und Geometrie einer Monopile-Gründung zu entwickeln. Ebenso muss der Zugang zur Anlage, der nur über das Transition Piece (Bild 2) möglich ist, berücksichtigt werden.

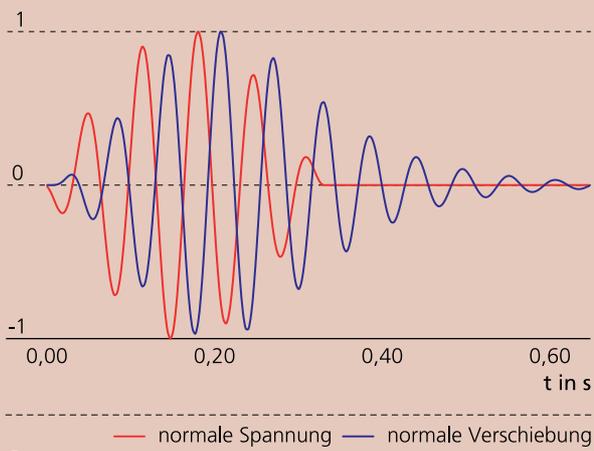
Erster Schritt der Arbeiten war die Entwicklung der methodischen Grundlagen für eine Überwachung von Grout-Verbindungen mit geführten Wellen. Mit Hilfe von Simulationen wurden der Frequenzbereich aus Dispersionsdiagrammen abgeschätzt und

die erforderliche akustische Leistung des Schallwandlers ausgehend von einem optimalen Empfangspegel ermittelt. Dabei fanden insbesondere die Zugänglichkeit innerhalb der Windenergieanlage sowie die Dämpfung durch umgebendes Wasser und den Meeresboden Berücksichtigung. Die Simulationsergebnisse lassen ebenfalls Rückschlüsse auf die Größe von detektierbaren Schäden im Beton zu.

Wanderauslegung und Konstruktion

Der Fokus der Schallwanderauslegung liegt auf der Dimensionierung des piezoelektrischen Elements, in dem die Wandlung zwischen elektrischer Anregung und mechanischer Welle geschieht, und der Schalleinleitung in die zu prüfende Struktur. Letztere ist hier ein Stahldickblech. Als Werkzeug kam die Methode der Finiten Elemente zur Anwendung, für die parametrisierte Modelle im FE-Programmpaket ANSYS erstellt wurden. Durch Variation der Piezoelementhöhe, der Anzahl an Piezokeramikschichten sowie der Sonotrodengeometrie ließ sich eine Konfiguration mit maximierter Auslenkungsamplitude bei bestmöglichem Abklingverhalten entwickeln. Die Simulationen haben gezeigt, dass im transienten Arbeitsmodus, wie er für die schallgestützte Strukturüberwachung üblich ist, die Verwen-





3 — normale Spannung — normale Verschiebung



4

derung eines Dämpfungskörpers keine Vorteile mit sich bringt. Außerdem hängt die optimale Wandlerhöhe von den Geometrieparametern der zu prüfenden Struktur ab. Die linke Grafik zeigt das rotationssymmetrische FE-Modell des zu untersuchenden Stahldickblechs mit erzeugter Biegewelle. Der Wandler (nicht dargestellt) befindet sich in der Rotationsachse am linken Bildrand auf dem Blech. Bild 3 zeigt die am Wandler angelegte elektrische Spannung sowie die resultierende Verschiebung an der Unterseite des Stahlblechs direkt unterhalb des Wandlers über der Zeit. Gut zu erkennen ist das sehr schnelle und saubere Abklingen der Schwingung am Wandler. Daraus lässt sich schließen, dass ein sehr frequenzreines und kurzes Schwingungssignal in das Stahldickblech eingetragen wird, wie es auch in linker Grafik zu erkennen ist. Die Simulation liefert außerdem die Kraft-Zeit-Verläufe im Piezoelement sowie an der Kontaktstelle zwischen Sonotrode und Stahldickblech. Aus ihnen lassen sich die notwendigen Vorspannkräfte im Piezoelement bzw. die notwendige Anpresskraft der Wandlerbaugruppe ableiten. Letztere bildet die Grundlage für die Auslegung der Wandlerhalterung. Da bei der hier vorliegenden Anwendung keine dauerhafte Anbringung von Halterungen erfolgen kann, wurde eine magnetische Hafthalterung mit Dauermagneten gewählt. Sie hat darüber hinaus den Vorteil, dass keine zusätzliche Stromversorgung notwendig ist und sie in Form von Hebemagneten in vielen Größen kommerziell verfügbar ist. Die eigentliche Wandlerbaugruppe besteht aus Piezoelement und Sonotrode. Sie ist dreh- und neigbar in einer Grundplatte eingelassen, was eine flexible Positionierung und Ausrichtung des Wandlers sicherstellt. Ein wechselbarer Sonotrodenkopf ermöglicht die schnelle Anpassung der Sonotrodenspitze an die Oberflächenform der zu untersuchenden Struktur, insbesondere an ihre Krümmung.

Experimentelle Validierung

Die Schallwandlerkonstruktion und das Prüfverfahren wurden im Labor und mittels Onshore-Messungen validiert. Messungen mit einem 3D-Laservibrometer bestätigten die simulationsgestützte Auslegung des Aktors. Bild 4 zeigt den Laboraufbau.

Die abgegebene akustische Leistung entsprach den Erwartungen aus der Simulation. In einem weiteren Schritt wurden Schallmessungen an einem Onshore-Rammpfahl zum Nachweis der Machbarkeit durchgeführt. Offshore-Messungen werden folgen.

Zusammenfassung

Die Überwachung und Prüfung von Offshore-Windenergieanlagen bringt neue Herausforderungen an Messtechnik und Messverfahren mit sich. Die dargestellte, neu entwickelte Ultraschallprüftechnik dient gleichermaßen der Überwachung der Betonaushärtung in Grout-Verbindungen während der Errichtung von Windenergieanlagen als auch der Detektion möglicher Fehler in diesen Verbindungen während der Anlagenlebensdauer. Von ersten Simulationsschritten mit eigens entwickelten Simulationstools über Konzeption und Auslegung der Schallwandler bis hin zu Testmessungen verfügt das Fraunhofer IKTS über eine vollständige und abgestimmte Entwicklungskette, um bestehende Verfahren der Strukturüberwachung an spezielle, technisch anspruchsvolle Anwendungsfälle anzupassen oder neue zu entwickeln. Die zur Überwachung von Grout-Verbindungen entstandenen Schallwandler und die abgestimmte Messtechnik können über das dargestellte Anwendungsfeld hinaus an spezielle Anforderungen angepasst werden. Dieses Angebot schließt durch das Fraunhofer IKTS durchgeführte Messungen zur Verfahrensentwicklung und -validierung ein.

- 1 Offshore-Windpark Baltic 1.
- 2 Transition Piece einer Offshore-Windenergieanlage.
- 3 Simulationsergebnisse RC5-Anregung.
- 4 Laboraufbau des gefertigten Aktors für laservibrometrische Messungen.