

Erfassung und Analyse der Wechselwirkungen von Strömungsprozessen und Kolkphänomenen an Offshore Windenergieanlagen

Dipl.-Ing. Arne Stahlmann, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Leibniz Universität Hannover, stahlmann@fi.uni-hannover.de

Prof. Dr.-Ing. Torsten Schlurmann, Geschäftsführender Leiter, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Leibniz Universität Hannover, schlurmann@fi.uni-hannover.de

Einleitung und Forschungshintergrund

Durch die Errichtung des ersten deutschen Offshore-Windparks *alpha ventus* 45 km nördlich der Insel Borkum erfolgte ab Sommer 2009 der Startschuss für den Ausbau der Offshore-Windenergie in Deutschland im Rahmen der von der Bundesregierung geplanten Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien bei der deutschen Stromerzeugung. Das Testfeld mit insgesamt zwölf Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) mit einer Leistung von jeweils 5 MW stellt durch die Errichtung in einer Wassertiefe von rund 30 m den ersten deutschen Windpark dar, der unter echten Offshore-Bedingungen errichtet wurde und betrieben wird. Zur Testfeldforschung und damit verbundener Optimierung zukünftiger Anlagen wurden einzelne der installierten OWEA sowie Bereiche des Testfeldes selbst mit umfangreicher Messtechnik und -sensorik ausgestattet, wodurch die an der Forschungsinitiative *Research at Alpha Ventus* (RAVE) beteiligten und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Forschungspartner und -projekte mit detaillierten Messdaten aus dem Testfeld versorgt werden.

Forschungsprojekt GIGAWIND alpha ventus

Eines dieser Forschungsprojekte stellt das an der Leibniz Universität Hannover (LUH) in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) 2008 gestartete interdisziplinäre Verbundprojekt GIGAWIND *alpha ventus* mit insgesamt acht Teilprojekten dar. Gesamtziel des Projektes ist die Erstellung eines ganzheitlichen Dimensionierungskonzeptes für OWEA-Tragstrukturen anhand von Messungen im Testfeld mit dem Schwerpunkt der Kostenminimierung und Effizienzsteigerung sowie einer Optimierung des Entwurfsprozesses beim zukünftigen Bau der Anlagen.

Untersuchungen zu Strömungsprozessen und Kolkphänomenen an OWEA

Im Rahmen des Teilprojektes 5 in GIGAWIND *alpha ventus* werden Untersuchungen zu Strömungsprozessen um die OWEA im Testfeld sowie den aus den Strömungen resultie-

renden Kolkphänomenen durchgeführt. Das Untersuchungsprogramm sieht dabei die Auswertung von Messdaten zur Kolkentwicklung an den Anlagen im Testfeld, physikalische Modellversuche im Maßstab 1:40 und 1:12 im Wellenkanal des Franzius-Instituts (WKS) bzw. im Großen Wellenkanal (GWK) sowie numerische Untersuchungen durch ein Simulationsmodell zur Kolkentwicklung unter Wellen- und Strömungsbelastung an der Anlage vor, das im Rahmen dieses Teilprojektes weiterentwickelt werden soll.

Kolkproblematik an Offshore-Bauwerken

Es gilt als hinreichend bekannt, dass es an Gründungsstrukturen von Offshore-Bauwerken zu einer Ausbildung von mehr oder minder ausgeprägten Kolken infolge von lokalen Strömungsphänomenen kommen kann. Hervorgerufen werden diese Änderungen im natürlichen Strömungsregime im Bereich des Meeresbodens an und im nahen Umfeld einer Struktur aus der hochkomplexen Interaktion zwischen dem Seegang, der tide- oder welleninduzierten Strömung, dem Meeresboden und der Struktur selbst und führen zu Effekten der Wirbelbildung, Turbulenzen und allgemein lokal erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten und damit zu einer erhöhten Sediment-Mobilität. Durch die noch unzureichenden Kenntnisse über die genaue zeitliche und räumliche Entwicklung von Kolken um und an komplexen OWEA-Gründungsstrukturen erfolgt ihre Dimensionierung derzeit mit erhöhten Sicherheitsfaktoren und damit erhöhten Kosten. Ein Ziel der Untersuchungen innerhalb des Forschungsvorhabens ist es daher, vertiefte Erkenntnisse über die Kolkentwicklung (Genese) um die Gründungsstrukturen zu erlangen und die Vorhersagemöglichkeiten zu verbessern, um zukünftig effizientere Gründungsabmessungen zu erzielen, die gegebenenfalls in Kombination mit entsprechenden Kolksicherungsmaßnahmen einhergehen.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen im Teilprojekt 5 liegt auf den sechs der zwölf im Testfeld installierten Tripod-Gründungsstrukturen der Fa. AREVA-Multibrid. Aufgrund der komplexen geometrischen Struktur dieses Gründungstyps können hier bisherige empirische Berechnungsansätze zur Kolkentwicklung, die in der Vergangenheit größtenteils für Monopiles oder Pfahlgruppen (vgl. Jacket-Plattform) entwickelt wurden, nur sehr bedingt angesetzt werden und allenfalls für erste, sehr vereinfachende Abschätzungen herangezogen werden. Erste kleinskalige Modelluntersuchungen im Labor bestätigen grundsätzlich andere, komplexere Kolkphänomene im Umfeld von Tripod-Gründungsstrukturen. Weitergehende Studien im Rahmen von großmaßstäblichen Versuchsreihen im GWK werden tieferen Aufschluss über die Kolkentstehung liefern und dadurch bedingt dezidiere Abschätzungen für die Bemessung von derartigen Strukturen ermöglichen.

Untersuchung von Kolkphänomenen im Testfeld

An dem mit umfassender Messsensorik bestückten Tripod M7 im Testfeld werden Messungen zur Kolkgenese an den Gründungspfählen sowie im näheren Umfeld der Anlage durch ein installiertes Messequipment des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) durchgeführt. Die Messungen erfolgen zum einen durch permanente Aufnahmen der Kolkiefen über insgesamt 19 Singlebeam-Echolote, die am Fuß der Struktur befestigt sind (siehe Abb. 1). Diese Messungen werden zum anderen durch regelmäßig durchgeführte, großflächige Aufnahme des Meeresbodens im Nahbereich und im weiteren Umfeld der Anlagen durch vom BSH durchgeführte Messkampagnen mittels Multibeam-Echolot ergänzt. Die Analyse und Bewertung der im Rahmen des Kolkmonitorings aufgenommenen Naturmessdaten erfolgen dann innerhalb des Teilprojektes 5. Die Daten dienen vornehmlich der Kalibrierung und späteren Validierung des numerischen Simulationsmodells.

Physikalische Modellversuche im Wellenkanal

In den kleinskaligen Modellversuchen werden Untersuchungen zu Kolkungsvorgängen und Strömungsbildern am Modell-Tripod im Wellenkanal WKS im Maßstab 1:40 durchgeführt. Diese Laborversuche dienen, neben der Gewinnung von Messdaten zur späteren Kalibrierung des numerischen Modells, ebenfalls zur Gewinnung signifikanter Eingangsparmeter zur Sensitivitätsanalyse für die darauf aufbauenden Modellversuche im GWK im großskaligen Maßstab.



Abb. 1: Messpunkte der Echolote am Tripod [Stiftung Offshore Windenergie/alpha ventus, 2008]



Abb. 2: Modellbau im Wellenkanal zur Kolk- und Strömungsuntersuchung, Maßstab 1:40

Für die Untersuchungen wurde in den insgesamt 110 m langen Wellenkanal eine bewegliche Sohle (Sandbett) von zunächst 5,5 m² Grundfläche und 0,4 m Tiefe eingebaut, die im Laufe der Untersuchungen auf 11 m² Grundfläche und 0,25 m Tiefe verändert wurde. Im Bereich des Sandbetts können die zu untersuchenden Strukturen über eine feste Verbindung mit der Kanalsohle eingebaut werden. Als Modellsand wurde ein eng gestufter Feinsand mit einer Korngröße von $d_{50} = 0,15$ mm verwendet. Für die Untersuchungen wurde zunächst ein Modell im Maßstab 1:40 gefertigt (siehe Abb. 2), das drehbar gelagert im Wellenkanal eingebaut wurde, um so die Drehrichtung der Standbeine zum Hauptwellenangriff zu variieren und nachfolgend den Einfluss dieses Parameters zu untersuchen. Es wurden zahlreiche Versuche zur Kolkbildung unter Wellen mit verschiedenen Konfigurationen von Wassertiefen d (60-75 cm), Wellenhöhen H und H_S (10-25 cm) und Wellenperioden T und T_P (1,0-3,0 s) für regelmäßige Wellen und Wellenspektren (Jonswap) durchgeführt und analysiert. Die Kolkentwicklungen für die jeweiligen Versuchsserien wurden jeweils nach einer definierten Wellenanzahl mithilfe eines unter Wasser arbeitenden Laser-Distanzmessers aufgemessen. Das Messintervall beträgt hier, je nach Versuchskonfiguration, zwischen 250 und 1.000 Wellenzyklen, bei einer Gesamtversuchsdauer von jeweils 3.000-6.000 Wellenzyklen pro Versuch. Die Positionierung des Lasers erfolgt über eine programmierbare Messbühne, mit der das Messinstrument in drei Achsen automatisiert verfahren werden kann und so kontinuierliche über der Sohle bewegte Bodenprofile aufnimmt, ohne jeweils den Kanal zu leeren und dadurch gegebenenfalls das entstandene Kolkbild an der Struktur zu stören. Aus den Daten werden im Post-Processing flächenhafte Tiefendarstellungen erzeugt (siehe Abb. 3).

Zur Ermittlung lokaler Wirbelsysteme und die Kolkbildung beeinflussender Strömungen an der Struktur werden örtlich instationäre Strömungsmessungen mittels einer ADV-Sonde (Acoustic Doppler Velocimeter) durchgeführt, aus denen anschließend Strömungsprofile über die Wassertiefe erstellt werden. Diese punktuellen Messungen werden im Laufe des Jahres durch detaillierte nicht-invasive, flächenhafte Messungen ergänzt, die mithilfe eines neuen ab Sommer 2010 am Franzius-Institut vorhandenen PIV-Messsystems (Particle Image Velocimetry) erstellt werden.

Modellversuche im Großen Wellenkanal

In Kombination mit Untersuchungen zu Seegangs-/Wellenlasten brechender Wellen auf OWEA Strukturen und Kolkschutzmaßnahmen werden ab Frühjahr 2010 physikalische

Modellversuche im GWK im Maßstab 1:12 zur detaillierten Untersuchung der Kolkungsvorgänge durchgeführt. Hierzu wird die Gründungsstruktur des Tripods in den Großen Wellenkanal (Abmessungen: 300 m Länge, 5 m Breite, 7 m Tiefe) des Forschungszentrums Küste (FZK) eingebaut. Als Modellsediment für die Kolkuntersuchungen dient der Modellsand aus den bisherigen Versuchen im WKS, der in einer Schichtdicke von 1,2 m als Profil in den GWK eingebaut wird.

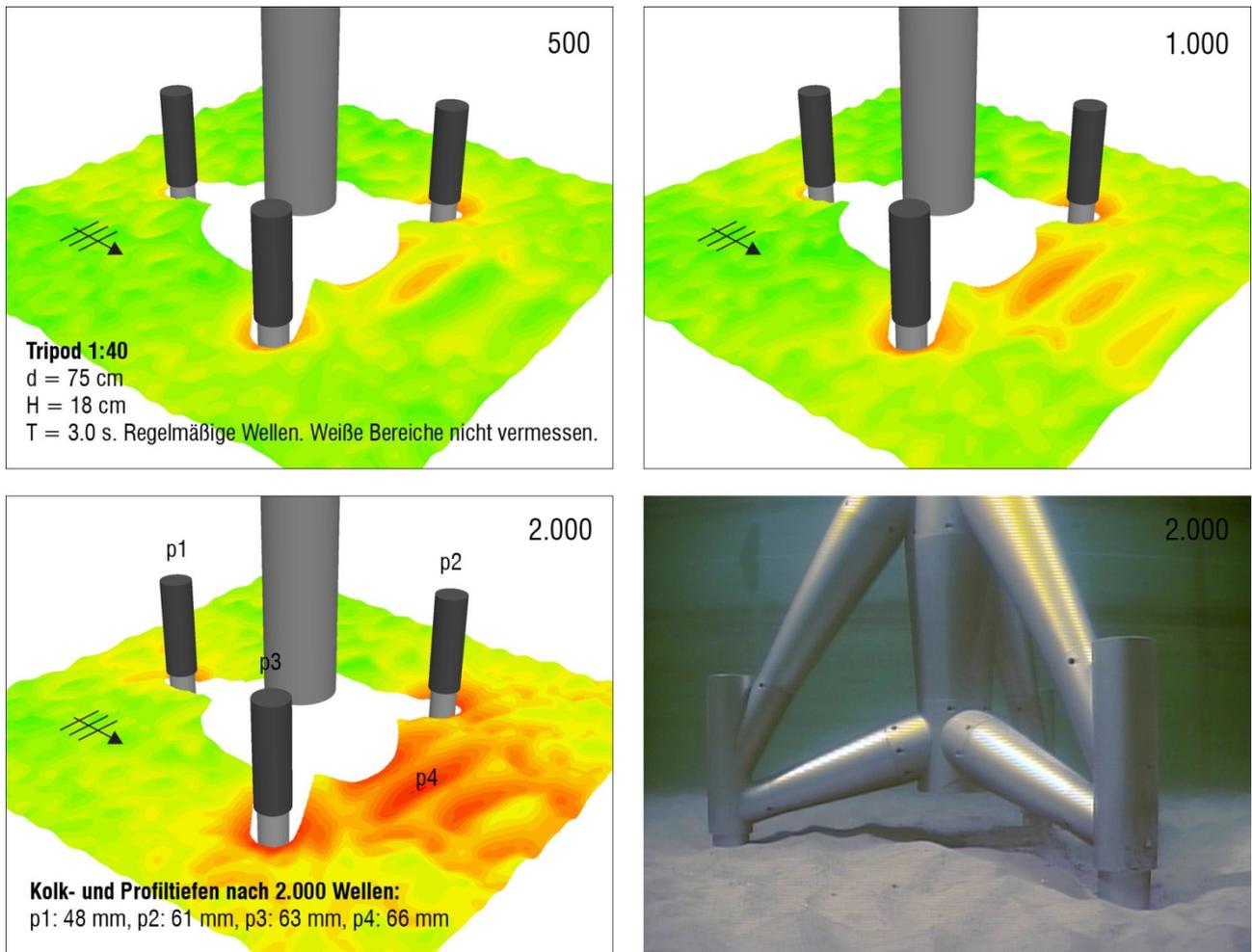


Abb. 3: Aufgenommene Kolk-tiefen für eine Versuchsserie im Wellenkanal WKS (beispielhaft) mit regelmäßigen Wellen ($d=75 \text{ cm}$, $H=18 \text{ cm}$, $T=3,0\text{s}$). Die Wellenzahlen sind den Abbildungen zu entnehmen.

Als adäquate Messtechnik zur Aufmessung der Kolk-tiefen bei den Versuchen mit regelmäßigen Wellen und Wellenspektren kommt neben einzelnen Punkt-Echoloten auch ein neues am GWK vorhandenes Fächer-Echolot zum Einsatz, das an einer verfahrbaren Messbühne befestigt die gesamte Kanalsohle vermessen kann. Zur Sichtkontrolle bzw. Aufnahme der Kolk-tiefen direkt an den Piles des Tripods kommen wasserdichte Kameras im Inneren der Piles zum Einsatz, über die mithilfe von Plexiglas-Sichtfenstern die anliegenden Sedimenthöhen aufgenommen werden können. Rückschlüsse auf die Porenwasserdrücke im Sediment im Bereich der Kolke können über eingebaute Druckmessdosen im

Sand gezogen werden. Während der Versuche werden die Strömungen um die Struktur ähnlich der Punktmessungen im WKS mit Flügel-Messsonden und ADV-Sonden aufgenommen, wobei letztere in einem Vertikalprofil an der Messbühne befestigt werden und so während der Versuche an verschiedene definierte Positionen verfahren werden können.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Teilprojektes 5 des interdisziplinären Verbundvorhabens GIGAWIND *alpha ventus* an der LUH werden Untersuchungen zu Strömungsvorgängen und den aus Ihnen resultierenden Kolkphänomenen an Gründungsstrukturen für OWEA im Testfeld *alpha ventus* durchgeführt. Hierbei liegt der Fokus der Untersuchungen auf den Gründungsstrukturen vom Typ Tripod. Die Untersuchungen bestehen aus einer Kombination von Naturmessungen der Kolkiefen und -ausdehnungen im Testfeld, physikalischen Modellversuchen in den Maßstäben 1:40 und 1:12 im Wellenkanal des Franzius-Instituts bzw. im Großen Wellenkanal, sowie in der Entwicklung eines numerischen Modells zur Kolksimulation. Letztlich können hierdurch Auswirkungen auf das Tragverhalten der Gesamtanlage ermittelt und ggf. geeignete Kolkschutzmaßnahmen entwickelt werden, die zukünftig effizientere Gründungen ermöglichen.

Förderrahmen und Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung und Förderung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Rahmen des Forschungsprojektes *GIGAWIND alpha ventus - LUH* (Förderkennzeichen 0325032).

Schrifttum

HILDEBRANDT, A.; STAHLMANN, A.; SCHLURMANN, T.: Field data derived from Offshore Wind Energy Converters – Assessment and correlation of dynamic waves, 33rd IAHR Congress, Vancouver BC, 14. August 2009

SUMER, B.M., FREDSE, J.: The Mechanics of Scour in the Marine Environment. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2002

STAHLMANN, A.; HILDEBRANDT, A.; SCHLURMANN, T.: Investigations on Scour Development at Offshore Wind Energy Converters in the German Offshore Test Site *alpha ventus*, 33rd IAHR Congress, Vancouver BC, 12. August 2009

STAHLMANN, A., HILDEBRANDT, A., SCHLURMANN, T.: Untersuchung von Seegangsbelastungen und Kolken an Offshore-Windenergieanlagen im Testfeld *alpha ventus*, HTG-Kongress 2009, Lübeck, 11. September 2009

Nähere Informationen zum Gesamtprojekt sind unter www.gigawind.de zu finden.