

# X-Wakes: Large-Eddy- & Mesoskalensimulationen der Atmosphären-Windparkcluster-Interaktion

Ableitung von Parametrisierungen & Szenarienrechnungen für den zukünftigen großräumigen Ausbau der Offshore-Windenergienutzung

G. Steinfeld<sup>1</sup>, M. Dörenkämper<sup>2</sup>, M. Barekzai<sup>3</sup>,  
<sup>1</sup>ForWind - Institut für Physik, Carl von Ossietzky  
 Universität Oldenburg, <sup>2</sup>Fraunhofer IWES - Olden-  
 burg

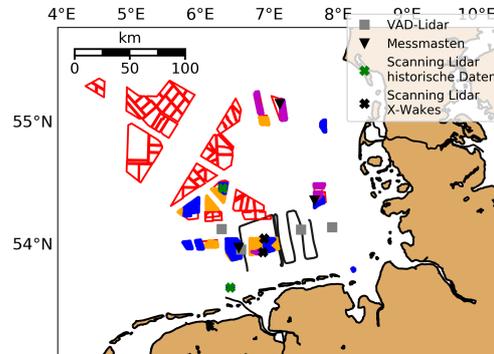
## Kurzgefasst

- LES-Simulationen von ganzen Offshore-Windparkclustern
- Mesoskalige Szenarienrechnungen des Offshore-Ausbaus
- Gekoppelte Meso-Mikroskalenrechnungen von Küsteneffekten

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klima (BMWK - FKZ 03EE3008A-G) geförderte Forschungsprojekt X-Wakes beschäftigt sich mit der Interaktion von großskaligen Windpark- und Windparkclusternachläufen mit der marinen atmosphärischen Grenzschicht [1]. Im Rahmen des Projekts werden umfangreiche Messungen mit Flugsystemen und LiDAR-Geräten sowie Satellitendaten genutzt, um numerische Simulationsmodelle zu validieren. Eine grobe Übersicht über die im Projekt verfügbaren Messsysteme kann der Abbildung 1 entnommen werden.

Die Projektpartner ForWind - Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fraunhofer Institut für Windenergiesysteme (IWES) und Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) nutzen die Messdaten zur Validierung von Grobstruktur- (LES) und mesoskaligen Simulationen. Weitere Simulationen mit diesen Modellen erlauben Sensitivitätsstudien und die Abschätzung von Auswirkungen der Windenergienutzung in der Deutschen Bucht auf die Langzeit-Windbedingungen.

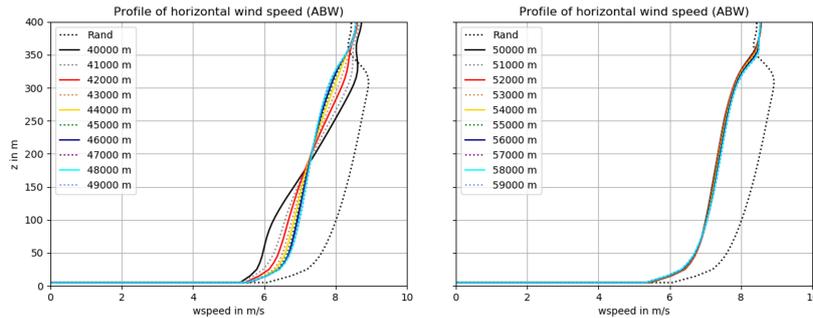
**Large-Eddy Simulationen** Im bisherigen Vorlauf dieses Projekts auf dem HLRN wurde das LES-Modell PALM unter anderem zur Simulation der Interaktion verschiedener atmosphärischer Grenzschichtströmungen mit dem nördlich von Helgoland in der Deutschen Bucht gelegenen Windparkcluster N4 bestehend aus 208 Windenergieanlagen verwendet. Dabei wurden zunächst Untersuchungen zur benötigten Modellgebietsgröße durchgeführt. Nicht nur stromab des Clusters, sondern auch stromauf und seitlich des Clusters wurde für die simulierten



**Abbildung 1:** Stand des Windenergieausbaus in der Nordsee im Januar 2020 und Messungen im Projekt X-Wakes mit einem möglichen Flugmuster für westliche Anströmung (schwarze Linie). Blaue Windparks befinden sich im operationellen Betrieb, orange Windparks befinden sich im Bau oder sind geplant, rote Polygone kennzeichnen potentielle Gebiete für den weiteren Ausbau.

Fälle ein mehrere zehn Kilometer weit reichender Einfluss des Clusters auf die Strömungsbedingungen festgestellt. Entsprechend ergeben sich sehr hohe Anforderungen an die Größe des Modellgebiets. Die Größe des Einflussbereiches zeigte sich dabei von Parametern wie der Höhe der atmosphärischen Grenzschicht und der atmosphärischen Stabilität abhängig. Die Erholung des Nachlaufdefizits stromab ab des Clusters erfolgt für kleine Distanzen hinter dem Cluster zunächst relativ schnell. In größerer Entfernung hinter dem Cluster wechselt allerdings das Regime und die Erholung geht nur noch sehr langsam vonstatten. Die Entfernung des Umschlags von schneller zu langsamer Erholung hängt dabei von der Höhe der atmosphärischen Grenzschicht ab. Der Regimewechsel ist deutlich in der Abbildung 2, in der das mittlere Vertikalprofil der Horizontalgeschwindigkeit im Nachlauf des nördlichen Windparks des Clusters N4 (letzte Anlage etwa bei  $x=39500$  m) für verschiedene  $x$ -Positionen hinter dem Windpark gezeigt wird, zu erkennen. Während in den ersten 10 km hinter dem Park die Erholung des Defizits durch turbulenten Transport von Impuls aus größeren Höhen innerhalb der Grenzschicht erfolgt, geht die Erholung in größerer Distanz nur noch sehr schleppend voran. In allen hier simulierten Fällen wurde auch 40 km hinter dem Windpark noch ein Geschwindigkeitsdefizit festgestellt.

Entsprechende in den LES-Simulationen detektiert-



**Abbildung 2:** Mittleres Vertikalprofil der Horizontalgeschwindigkeit an verschiedenen Positionen hinter dem Windpark Amrumbank West. Ergebnis einer LES-Simulation für eine neutrale Grenzschicht mit einer Höhe von etwa 310 m

te Effekte sollen im Rahmen des X-Wakes-Projekts in stark parametrisierte und damit schnellen Windparkmodellen implementiert werden, um Möglichkeiten zu schaffen, zukünftig Erträge von Windparkclustern genauer abschätzen zu können. In der bisherigen Projektlaufzeit wurden Vergleiche der LES-Simulationen für den Cluster N4 mit schnellen, stark parametrisierten Windparkmodellen durchgeführt. Ein Schwerpunkt des Vergleichs lag dabei auf der Stärke des globalen Vorstaueffekts vor dem Cluster, der in den stark parametrisierten Modellen mit keinem der bisher verfügbaren Ansätze ähnliche Größen wie in der LES erreichte.

**Simulationen zur Untersuchung von Küsteneffekten** Neben dem Modell PALM wird im Projekt nik00066 auch das Modell WRF für die Durchführung von mesoskaligen, aber auch LES-Simulationen verwendet, um den Einfluss der Küste auf die Offshore-Windbedingungen zu untersuchen. Das WRF-Modell ermöglicht das Nesting von LES-Gebieten in mesoskaligen Simulationen und erlaubt somit auch die Untersuchung weniger idealisierter Fälle. Die Küste im Wattenmeer ändert sich aufgrund der Gezeiten ständig, folglich ändert sich auch die Oberflächenrauigkeit an den Küsten und damit die Anströmung auf die Windparks bei ablandigem Wind. Im Rahmen dieses Projekts auf dem HLRN wurde daher auch eine Parametrisierung zur Berücksichtigung der Gezeiten in WRF implementiert. Erste Vergleiche von Simulationen mit und ohne Tidenparametrisierung zeigen, dass die Simulationen mit Tidenparametrisierung (3dtke+tide) eine geringere mittlere quadratische Abweichung (RMS) zu den Flugzeugmessungen aufweisen (Abbildung 3). Der Abbildung kann auch entnommen werden, dass die Verwendung der 3dtke-Turbulenzparametrisierung anstatt der MYNN-Grenzschichtparametrisierung in WRF zu einem deutlich verringerten RMS führt.

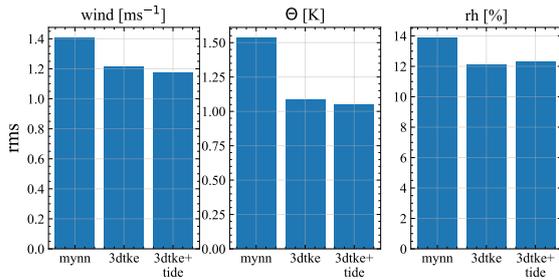
In der noch ausstehenden Projektlaufzeit sollen die Vergleiche der Ergebnisse für verschiedene Setups von mesoskaligen Simulationen mit WRF auf weitere Tage mit Messdaten aus Flugzeugmessun-

gen ausgeweitet werden. Darüber hinaus soll der Küstenübergang auch mit WRF-LES simuliert werden.

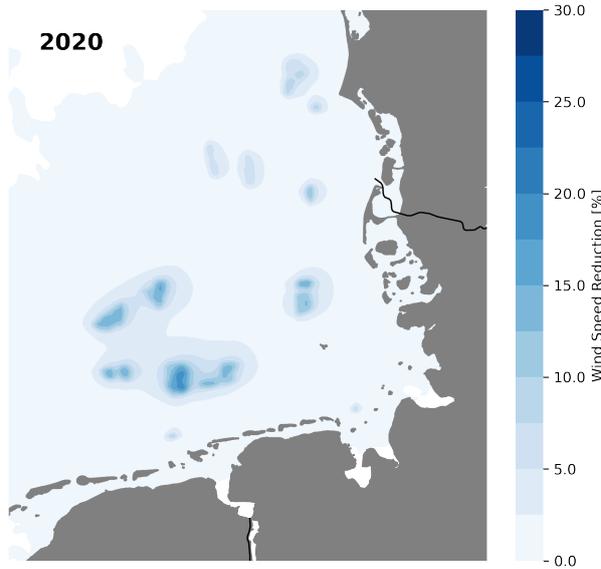
**Mesoskalige Szenarienrechnungen** Mit Hilfe mesoskaliger Simulationen wird im Rahmen des HLRN-Projekts unter anderem untersucht, wie sich der Ausbau der Offshore-Windenergienutzung auf die Windbedingungen in der Deutschen Bucht auswirkt. Seit der Inbetriebnahme des ersten Windparks in der Deutschen Bucht - alpha ventus - bestehend aus 12 Anlagen, sind im Jahr 2022 mehr als 6 GW Gesamtkapazität ans Netz angeschlossen. Laut den Plänen der aktuellen Bundesregierung soll diese auf 30 GW im Jahr 2030 angehoben werden.

Mesoskalige Simulationen sind durch Anwendung von Windparkparametrisierungen in der Lage die Auswirkungen der Windparks auf die untere Atmosphäre abzubilden. Im Rahmen des Projekts X-Wakes werden diese Analysen mit dem Weather Research and Forecasting Modell (WRF) durchgeführt. Abbildung 4 zeigt die Reduktion der Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe die bereits jetzt, d.h. im Jahr 2020 vorliegt. Ziel des HLRN-Projekts ist es neben den Auswirkungen des bisherigen Ausbaus auch die zukünftigen zu erwartenden Entwicklungen in verschiedenen Szenarien bis ins Jahr 2030 zu untersuchen.

**Fazit und Ziel** Das Projekt X-Wakes hat das Ziel, Unsicherheiten in der Abschätzung des Ertrags von Offshore-Windparkclustern zu reduzieren und den Ausbau der Offshore-Windenergie nachhaltig zu gestalten. Wichtiges Element ist hier das genauere Prozessverständnis der Interaktion großer und sehr großer Offshore-Windparks mit der atmosphärischen Grenzschicht auf der Skala einzelner sehr großer Parks bis hin zur großräumigen Nutzung der Windenergie in der Nordsee. In der bisherigen Laufzeit dieses HLRN-Projekts konnte mit Hilfe von Large-Eddy-Simulationen bereits ein verbessertes Verständnis des Einflusses einiger atmosphärischer Größen auf die Strömungsbedingungen, stromauf, seitlich und stromab eines Windparkclusters erreicht



**Abbildung 3:** Mittleres Vertikalprofil der Horizontalgeschwindigkeit an verschiedenen Positionen hinter dem Windpark Amrumbank West. Ergebnis einer LES-Simulation für eine neutrale Grenzschicht mit einer Höhe von etwa 310 m



**Abbildung 4:** Reduktion der Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe im Jahr 2020 gegenüber den Windbedingungen ohne die Berücksichtigung von Offshore-Windparks.

werden. Auch Effekte des Layouts des Clusters und des Turbinentyps wurden analysiert. Basierend auf diesen und weiteren LES-Simulationen sollen Windparkparametrisierungen in mesoskaligen Modellen und in Industriemodellen verbessert werden. Weitere LES sollen Aufschluss über die Modifikation der Windbedingungen im Küstenbereich liefern und verbesserte Simulationen der Anströmbedingungen von Offshore-Windparks und deren Erträge ermöglichen. Die mesoskaligen Simulationen sollen die besonders durch Clusternachläufe beeinflussten Gebiete in der Deutschen Bucht aufzeigen. Die Ergebnisse werden eine solide Grundlage für einen weiteren Windenergieausbau in der Deutschen Bucht bilden.

WWW

<http://www.forwind.de>

### Weitere Informationen

- [1] Pressemitteilung X-Wakes Projektstart  
<https://www.forwind.de/de/presse/news/20191111-wie-verandern-windparks-auf-see-den-wind>
- [2] Siedersleben, S. K., Platis, A., Lundquist, J. K., Djath, B., Lampert, A., Bärfuss, K., Canadillas, B., Schultz-Stellenfleth, J., Bange, J., Neumann, T., and Emeis, S.: Observed and simulated turbulent kinetic energy (WRF 3.8.1) over large offshore wind farms, Geosci. Model Dev. Discuss., accepted, 2019  
<https://doi.org/10.5194/gmd-2019-100>

### Projektpartner

<sup>3</sup>KIT - Karlsruhe Institut für Technologie

### Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Klima - FKZ 03EE3008