X-Wakes

Interaktion der Nachläufe großer Offshore-Windparks und Windparkcluster mit der marinen atmosphärischen Grenzschicht

Dr. Tom Neumann – UL International GmbH

Dr. Martin Dörenkämper – Fraunhofer IWES

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

RAVE Workshop 2020

Donnerstag, 23.01.2020 – BSH - Hamburg

Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung

Eberhard Karls Universität Tübingen

ForWind – Zentrum für Windenergieforschung (Bremen, Hannover, Oldenburg)

KIT – Karlsruher Institut für Technologie

Technische Universität Braunschweig

Fraunhofer IWES

© Fraunhofer IWES 2019

Forschung zu Windpark-Nachläufen in der Deutschen Bucht

Der Weg zum Projekt X-Wakes

- Ergebnisse GW Wakes
- Ergebnisse WIPAFF
- Projekt X-Wakes

  - Komplementäre Messungen über mehrere Skalen in Zeit und Raum

  - Simulationen: LES über mesoskalige Modelle bis Industriemodelle

© Fraunhofer IWES 2019

GW-Wakes (2012-2016)

Methoden und Partner

- ForWind – Universität Oldenburg und Fraunhofer IWES
- Nutzung von Offshore-Lidar-Messungen mit verschiedenen Geräten
- Analyse von SCADA-Daten verschieden großer Windparks

- Umfangreiche LES Simulationen
- Entwicklung von Industriemodellen zur Berücksichtigung von CFD-Feldern
- Mesoskalige Szenarienrechnungen des Windenergie-Ausbaus

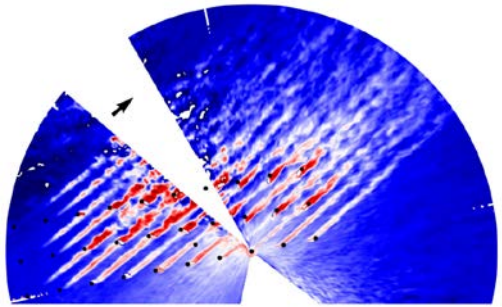
flapFOAM5

© Fraunhofer IWES 2019

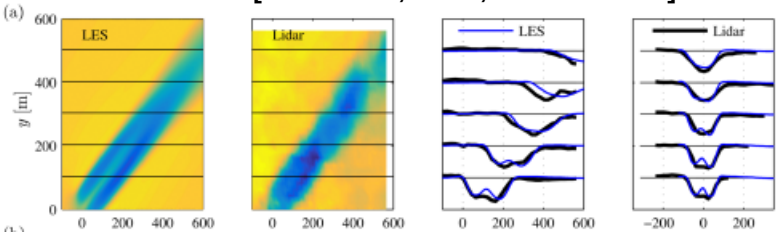
GW-Wakes (2012-2016)

Ergebnisse aus Messungen

- Untersuchung des Deep Array Effekts anhand unterschiedlich großer Windparks:
  - In kleinen Windparks sind Nachläufe nicht zusammen gewachsen, ab ca. 5 Anlagen in Reihe findet man einen Windparknachlauf



[Kühn et al., 2019; Vollmer et al.]

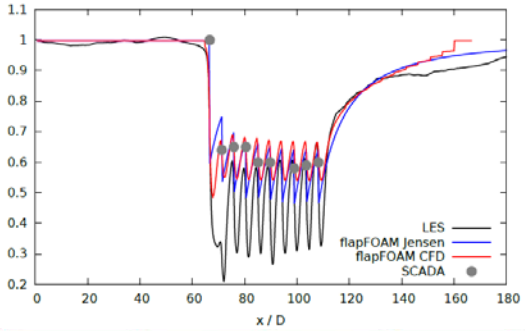


- Fokus: LiDAR-Messungen auch von Turbulenzen in kleinen und großen Offshore-Windparks
- Validierung von transienten LES mit den aufgezeichneten Lidardaten

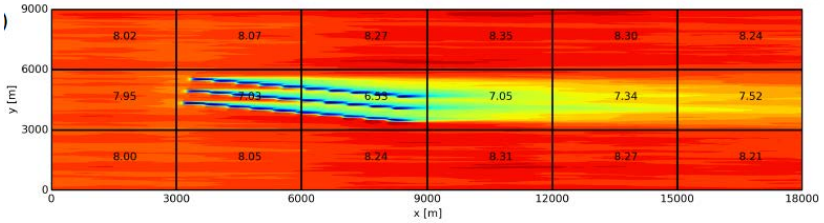
© Fraunhofer IWES 2019

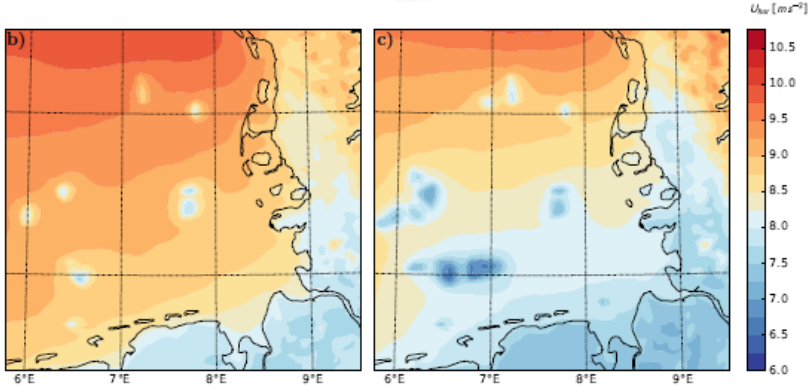
GW-Wakes (2012-2016)

Modellierungsergebnisse



- Vorgerechnete CFD-Felder in Industriemodell sorgen für Genauigkeitsgewinn bei nahezu konstanter Rechenzeit
- LES Modelle können genutzt werden um Parametrisierungen in mesoskaligen Modellen zu verbessern
- Mesoskalige Szenarienrechnung: starke Reduktion der mittleren Windresource bereits beim Ausbauszenario 2025





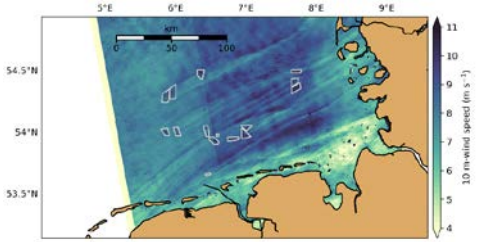
[Kühn et al., 2019]

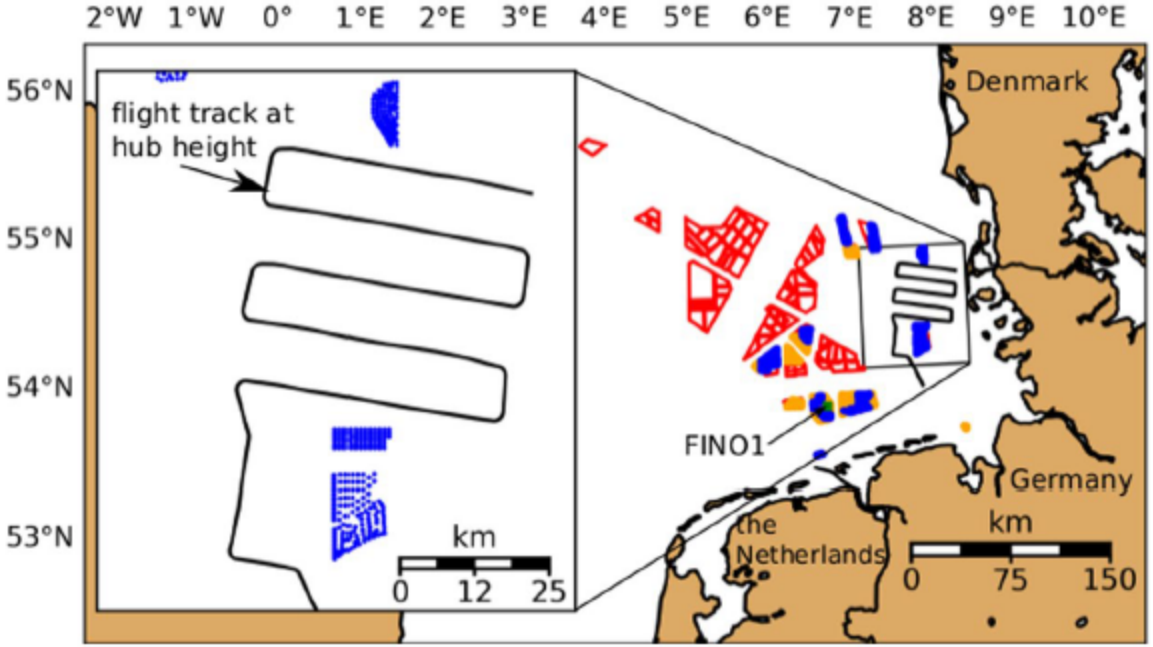
© Fraunhofer IWES 2019

WIPAFF (2015-2019)

Methoden und Partner

Credit: M. Bitter, TU Braunschweig



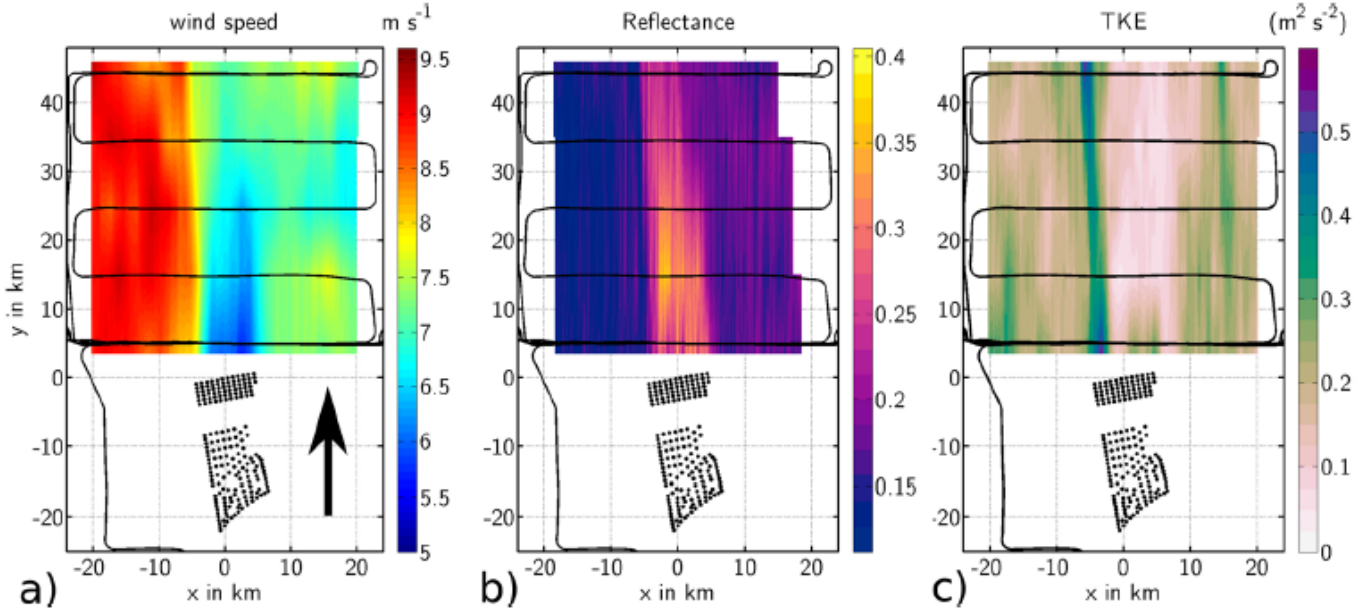


[Bärfuss et al., 2019]

© Fraunhofer IWES 2019

WIPAFF (2015-2019)

Quantifizierung der Veränderung von Windfeld und Oberflächenrauigkeit



- Lange Nachläufe wurden bei stabilen Schichtungen bis zu 50 km hinter Windparks nachgewiesen

[Platis et al., 2018]

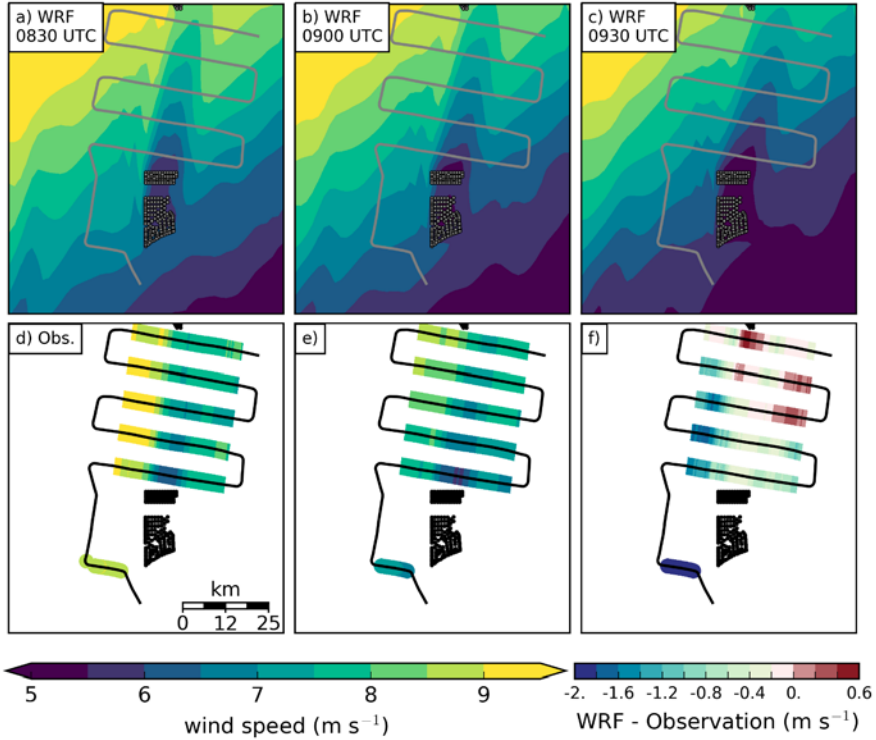
© Fraunhofer IWES 2019

WIPAFF (2015-2019)

WRF Simulation und Validierung

- Modelle können die wesentliche Struktur von weitreichenden WAKEs abbilden, aber….
- Modelle erfassen die Anströmung von Windparks und die atmosphärische Stabilität bei ablandigem Wind nicht korrekt

[Siedersleben et al., 2018a, b, 2019]

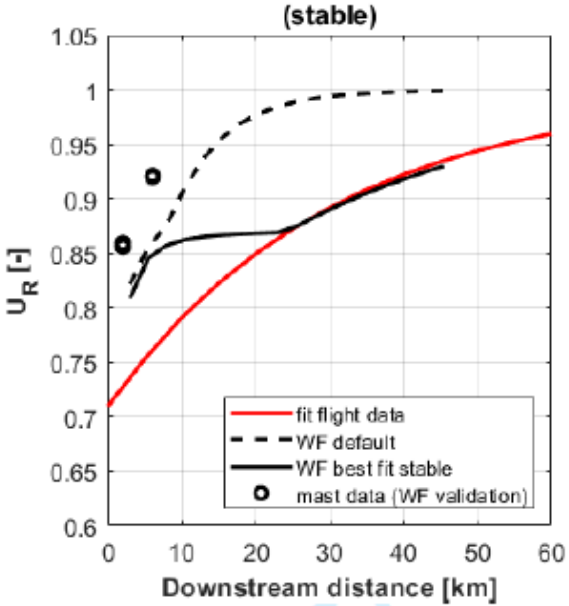


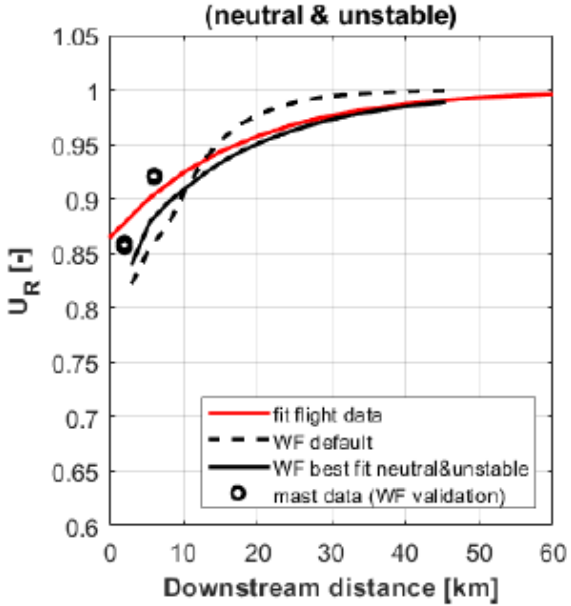
© Fraunhofer IWES 2019

WIPAFF (2015-2019)

Wesentliche Ergebnisse & Motivation für X-Wakes

- Für die Darstellung des Abklingverhaltens von Nachläufen bei Industriemodellen besteht Verbesserungspotential





[Cañadillas et al., 2020]

© Fraunhofer IWES 2019

X-Wakes

Projektsteckbrief

- Laufzeit: 01.11.2019 – 31.10.2022
- BMWi-Projekt - Fördersumme: 3,4 Millionen Euro
- Aus Zusammenlegung zweier Anträge der ehemaligen Konsortien GW-Wakes und WIPAFF
- Einbindung aller deutscher Forschungsinstitutionen mit wesentlichen Forschungsarbeiten zu Offshore-Nachläufen in den letzten Jahren

- Kombination von umfangreichen Mess- und Modellierungsaktivitäten

© Fraunhofer IWES 2019

Ziele in X-Wakes

Wesentliche Ziele des Projekts

- Forschungsfrage: Wie wirken sich die Erkenntnisse in GW-Wakes und WIPAFF auf den realen WEA-Betrieb aus? ➔ Integration von Windparkbetreibern in das Projekt
- Quantifizierung des Einflusses von Nachläufen (..und anderen Clustereffekten wie Vorstau) auf Erträge für den Realbetrieb
  - Prozessverständnis von Nachläufen und Überlagerungen (auch Blockage)
  - Weiterentwicklung und Validierung von indirekten Methoden (Satelliten)
  - Bessere Darstellung von Clusternachläufen in Simulationen
- Szenarienrechnung und Bewertung der Pläne für weiteren Ausbau

© Fraunhofer IWES 2019

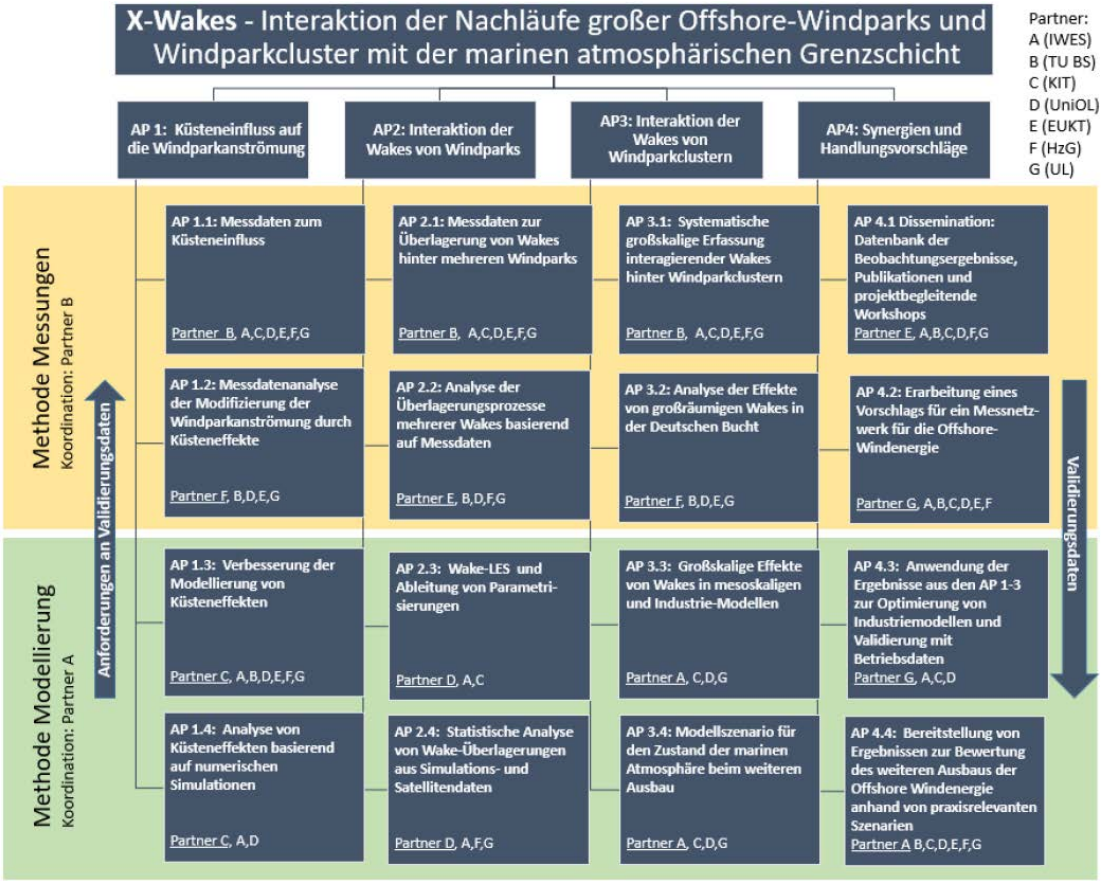
Projektstrukturplan

X-Wakes sieht drei große Arbeitspakete mit Forschungsaktivitäten vor:

- AP1: Küsteneffekte
- AP2: Interaktion der Wakes einzelner Windparks (Skala 2- 50 km)
- AP3: Interaktion der Nachläufe von Windparkclustern (Skala 50-200 km)

jeweils mit Mess- und Modellentwicklungsanteil

Weiteres Arbeitspaket zur Ableitung von Handlungsempfehlungen für Industrie und Behörden



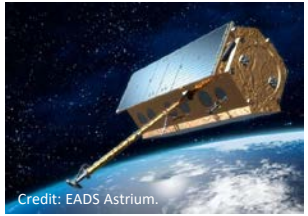
© Fraunhofer IWES 2019

Geplante Messungen in X-Wakes

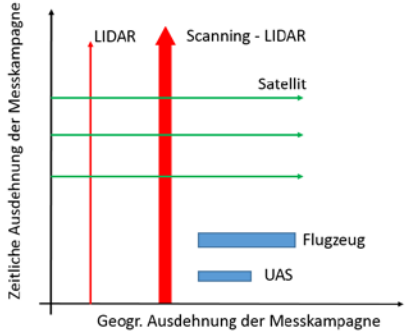
Kampagnen & Feste Messungen

Credit: M. Bitter, TU Braunschweig

Credit: J. Schneemann, Uni OL


Credit: EADS Astrium.

- Analyse von Flugdaten (Forschungsflugzeug & unbemanntes Flugzeug)
- Satellitenbildauswertung (Terra-SAR X, Sentinel-1A/B)
- Stationäre Lidar-Messungen in Luv, Mitte und Lee von Windparkclustern
  - Scanning und Profiling Lidars
- Auswertung von SCADA-Daten mehrerer Windparks



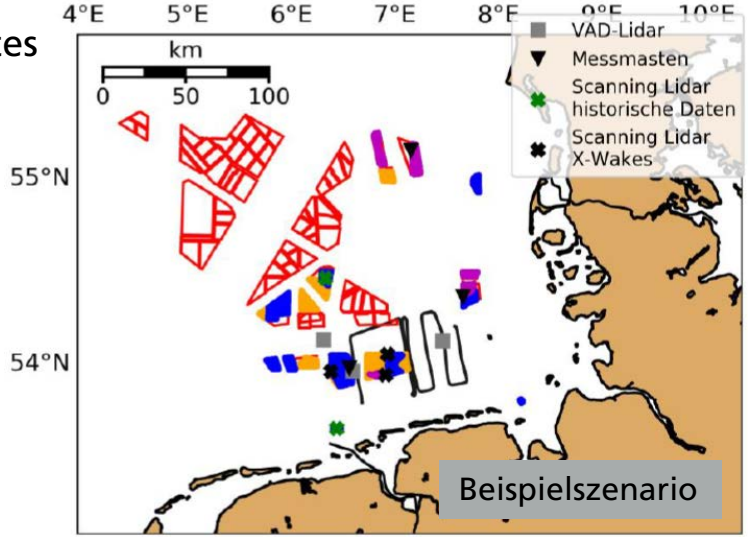
➔ **Ziele: Besseres Verständnis atmosphärischer Prozesse & Validierungsdaten für die Modellentwicklung bereitstellen**

© Fraunhofer IWES 2019

Geplante Messungen in X-Wakes

Kampagnen & Feste Messungen

- Analyse von Flugdaten (Forschungsflugzeug & unbemanntes Flugzeug)
- Satellitenbildauswertung (Terra-SAR X, Sentinel-1A/B)
- Stationäre Lidar-Messungen in Luv, Mitte und Lee von Windparkclustern
  - Scanning und Profiling Lidars
- Auswertung von SCADA-Daten mehrerer Windparks



➔ **Ziele: Besseres Verständnis atmosphärischer Prozesse & Validierungsdaten für die Modellentwicklung bereitstellen**

© Fraunhofer IWES 2019

Modellierungsaktivitäten in X-Wakes

Hochauflösende (Forschungs-)modelle

- **Mesoskalige Simulationen** [WRF]
  - Verbesserung der Simulation von Küstenübergängen und deren Einfluss auf die Windparkanströmung
  - Verbesserung der Modellierung von Windparks (Layouteffekte, z.B. Vorstau oder Umströmung, Drosselungen)
  - Ableitung von Parametrisierungen für großskalige Effekte
  - Berechnung von Ausbauszenarien beim Zustand 2030 nach erfolgter Validierung

- **Large-Eddy-Simulationen** [PALM]
  - Turbulenzauflösende Simulation von Windparks in einzelnen Windparkclustern
  - Nutzung des Nesting von LES für sehr große Windparks/Windparkcluster
  - Entwicklung/Validierung von Parametrisierungen für nicht-turbulenzauflösende Modelle
  - Verbesserte Interpretation von Satellitenradardaten
  - Ableitungen von Parametrisierungen für kumulative Effekte (Global Blockage)

© Fraunhofer IWES 2019

Modellierungsaktivitäten in X-Wakes

Industriemodelle

Industriemodelle [Modelle OpenWind / flapFOAM]

- Ableitung und Implementierung von Vereinfachungen (Methoden) für Industriemodelle für:
  - Küsteneffekte und atmosphärische Stabilität
  - Nachlaufüberlagerungen
  - Andere Kumulative Effekte (z.B. Global Blockage)
  - Grenzschichtentwicklung in Windparkclustern
  - Großskalige Effekte (z.B. Winddrehung, Vorstau)

flapFOAM5

Openwind

Most advanced software for creating & optimizing turbine layouts

➔ **Ziele: Unsicherheitsreduktion für in der Industrie eingesetzte, das heißt schnelle Modelle**

© Fraunhofer IWES 2019

Erwartete Ergebnisse

Projektziele X-Wakes

- **Verständnis und Simulation von**
  - Strömungsverhältnissen in **massiv ausgebauten und sehr großen Offshore-Gebieten** (Deutsche Bucht)
  - Großräumiger **Interaktion der Nachläufe** von mehreren Windparks
  - Interaktion von **Küsten und Windparks**
  - Interaktion der **atmosphärischen Grenzschicht** und der Nachläufe von Windparks

- **Entwicklung von Werkzeugen zur**
  - Abbildung großer Windparkflächen in **Industriemodellen**
  - Optimierung der weiteren **Ausbauplanung**
  - **Kontinuierlichen Beobachtung** von Nachläufen durch Satelliten
  - Methoden der zukünftigen **Überwachung** (Wind-Messnetz)

➔ **Verbesserte Ertragsabschätzungen und –bewertungen für kommende und existierende Offshore-Windparks**

© Fraunhofer IWES 2019

Fragen?

Dr. Tom Neumann – thomas.neumann@ul.com

Dr. Martin Dörenkämper - martin.doerenkaemper@iwes.fraunhofer.de

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Photo by Nicholas Doherty on Unsplash

© Fraunhofer IWES 2019

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Helmholtz-Zentrum Geesthacht
Zentrum für Material- und Küstenforschung

EBERHARD KARLS UNIVERSITÄT TÜBINGEN

ForWind Zentrum für Windenergieforschung
Bremen Hannover Oldenburg

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Technische Universität Braunschweig

Fraunhofer IWES

© Fraunhofer IWES 2019

Publikationen

GW-Wakes

Journal-Paper:

Bastine, D. and Witha, B. and Wächter, M. and Peinke, J.: Towards a Simplified Dynamic Wake Model using POD Analysis, Energies, doi 10.3390/en8020895

Bastine, D. and Vollmer, L. and Wächter, M. and Peinke, J.: Stochastic Wake Modelling Based on POD Analysis, Energies, doi 10.3390/en11030612

Schneemann, J., Rott, A., Dörenkämper, M., Steinfeld, G. and Kühn, M.: Cluster wakes impact on a far distant offshore wind farm's power, Wind Energ. Sci., 5, 29-49, 2020, doi: 10.5194/wes-5-29-2020

Trabucchi, D., Trujillo, J.-J., Schnemann, J., Bitter, M. and Kühn, M.: Application of staring lidars to study the dynamics of wind turbine wakes, Meteorologische Zeitschrift, doi: 10.1127/metz/2014/0610

Van Dooren, M.F., Trabucchi, D. and Kühn, M.: A Methodology for the Reconstruction of 2D Horizontal Wind Fields of Wind Turbine Wakes Based on Dual-Doppler Lidar Measurements, Remote Sensing, doi 10.3390/rs8100809

Vollmer, L., Steinfeld, G., Kühn, M.: Transient LES of an offshore wind turbine, Wind Energy Science, doi: 10.5194/wes-2-603-2017

Doktorarbeiten:

Bastine, D.: Stochastic Analysis and Modeling of Wind Turbine Wakes, University of Oldenburg, 2017.

Trujillo, J.-J.: Large scale dynamics of wind turbine wakes : measurement and modelling in the full field, University of Oldenburg, 2018.

Vollmer, L.: Influence of atmospheric stability on wind farm control, University of Oldenburg, 2018

Abschlussbericht:

Schnemann, J., Kühn, M. and Coauthors: Analyse der Abschattungsverluste und Nachlaufturbulenzcharakteristika großer Offshore-Windparks durch Vergleich von ``alpha ventus'' und ``Riffgat'' (``GW Wakes''), Technical Report, doi: 10.2314/GBV:886719402

© Fraunhofer IWES 2019

Publikationen

WIPAFF

Journal-Paper:

Bärfuss, K., Hankers, R., Bitter, M., Feuerle, T., Schulz, H., Rausch, T., Platis, A., Bange, J., and Lampert, A.: In-situ airborne measurements of atmospheric and sea surface parameters related to offshore wind parks in the German Bight, PANGAEA, https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.902845, 2019.

„Cañadillas B. et al.: Offshore wind farm wake recovery: Airborne measurements and its representation in engineering models. February 2020, Wind Energy, doi: 10.1002/we.2484

Emeis S, Siedersleben S, Lampert A, Platis A, Bange J, Djath B, Schulz-Stellenfleth J, Neumann T. Exploring the wakes of large offshore wind farms. Journal of Physics: Conference Series 2016, 753, 092014 (11 pp.) DOI: 10.1088/1742-596/753/9/092014, 2016.

Lampert, A., Bärfuss, K., Platis, A., Siedersleben, S., Djath, B., Canadillas, B., Hankers, R., Bitter, M., Feuerle, T., Schullz, H., Rausch, T., Angermann, M., Schwithal, A., Bange, J., Schulz-Stellenfleth, J., Neumann, T., and Emeis, S.: In-situ airborne measurements of atmospheric and sea surface parameters related to offshore wind parks in the German Bight, submitted to ESSD, 2019.

Platis, A., Siedersleben, S., Bange, J., Lampert, A., Bärfuss, K., Hankers, R., Canadillas, B., Foreman, R., Schulz-Stellenfleth, J., Djath, B., Neumann, T., and Emeis, S.: First in situ evidence of wakes in the far field behind offshore wind farms, Scientific Reports, doi 10.1038/s41598-018-20389-y, 2018.

Siedersleben, S., Platis, A., Lundquist, J.Djath, B., Lampert, A., Bärfuss, K., Schulz-Stellenfleth, J., Bange, J., Neumann, T., and Emeis, S.: Observed and simulated turbulent kinetic energy (WRF 3.8.1) over large offshore wind farms, Geoscientific Model Development Discussions, https://doi.org/10.5194/gmd-2019-100, 2019.

Siedersleben, S.K., Lundquist, J.K., Platis, A., Bange, J., Bärfuss, K., Lampert, A., Canadillas, B., Neumann, T., and Emeis, B.: Micrometeorological impacts of offshore wind farm as seen in observations and simulations, Env. Res. Lett., 13, 124012, 2018b.

Siedersleben, S.K., Platis, A., Lundquist, J.K., Lampert, A., Bärfuss, K., Canadillas, B., Djath, B., Schulz-Stellenfleth, J., Neumann, T., Bange, J., and Emeis, S.: Evaluation of a Wind Farm Parametrization for Mesoscale Atmospheric Flow Models with Aircraft Measurements, Meteorologische Zeitschrift, PrePub DOI 10.1127/metz/2018/0900, 2018.

© Fraunhofer IWES 2019