

# TopoPro: Windenergie in komplexer Topographie

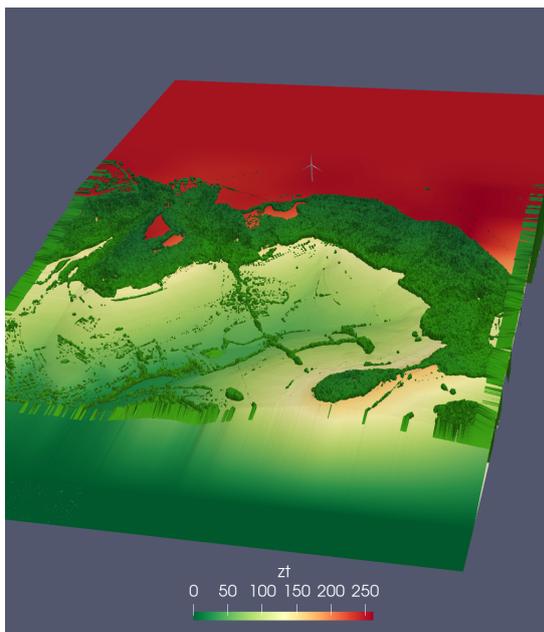
## Verbesserte numerische Standortanalyse und Lastenberechnung für komplexe Topographien

**B. Maronga, J. Brassat**, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover

### Kurzgefasst

- Einfluss von atmosphärischer Stabilität, Vegetation und komplexer Topographie auf Windenergieanlagen
- Standortanalyse mit LES
- PALM Model System

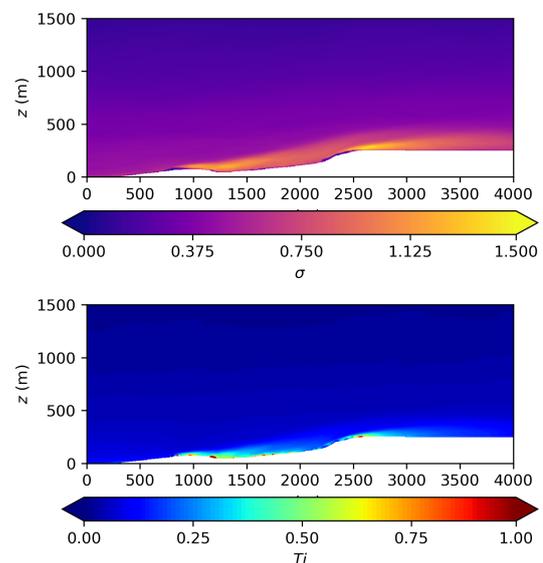
Um den Ausbau erneuerbarer Energie in Form von Windenergieanlagen (WEAen) zu fördern errichten von großen Offshore-Windparks auch das Erschließen von neuen ungenutzten Onshore-Flächen von Bedeutung. Dafür werden vermehrt auch Standorte im Süden Deutschlands genutzt, welche häufig ein komplexes Gelände mit steilen Hängen und Bewaldung aufweisen. Die zur Bewertung eines Standorts genutzte konventionelle numerische Standortanalyse kann Einflüsse von thermischer Schichtung [1] und Gelände einschließlich der Vegetation [2] auf das Windfeld und die Turbulenz nicht adäquat berücksichtigen. Dies kann zu einer Fehleinschätzung der berechneten Anlagenlast und Ertrag führen [3].



**Abbildung 1:** Simuliertes Gelände mit Höhe  $z$  und Vegetation des WINSSENT Testfelds.

Um das dadurch entstehende wirtschaftliche Risiko zu vermindern muss die numerische Standortanalyse in komplexem Gelände weiterentwickelt werden. Statt eines herkömmlich genutzten (RANS) Modell wird deshalb das Large Eddy Simulation (LES) Modell PALM genutzt [4]. Um industriell anwendbar zu sein, sollen die genutzten Methoden mit Messungen validiert und in Bezug auf Rechenzeit optimiert werden. Für eine bessere Simulation von Anlagenlast und -ertrag, soll PALM mit dem Anlagen-Simulationswerkzeug FLOWer gekoppelt werden.

RANS Modelle parametrisieren die Turbulenz komplett. Außerdem werden meteorologische Bedingungen die Topographie und Rauigkeit nicht ausreichend genau modelliert. An bewaldeten Hangkanten kommt es so durch Strömungsablösen zu turbulenten Regionen mit niedrigen Windgeschwindigkeiten und wechselnden Windrichtungen [5] die nicht ausreichend modelliert werden. Thermische Schichtung beeinflusst die Durchmischung der Luft zum Beispiel im Lee von Vegetation [6]. Durch die Einflüsse von orografie- und stabilitätsbedingter Scherung des Windprofils ergibt sich in der Leistungserzeugung eine Diskrepanz von bis 5% [7] und eine Nachlaufablenkung von über 55° [8].



**Abbildung 2:** Mittlere Varianz der Windgeschwindigkeit  $\sigma$  und Turbulenzintensität  $T_i$  bei neutraler Schichtung für einen xz-Querschnitt auf Höhe der WEA.

Als Standort wird das WINSSENT-Testfeld nahe Stuttgart simuliert. Dazu werden Geländedaten und Baumbestandshöhen genutzt. In Abbildung 1 ist das simulierte Modellgebiet dargestellt. Ein erstes Ziel

des Projektes ist herauszufinden welche Gitterweite das äquidistante Gitter von PALM haben muss, sodass das Windfeld und Turbulenz in verschiedenen thermischen Schichtungen adäquat dargestellt werden kann. Es für Gitterweiten von 16 m bis 2 m werden stabile, neutrale und konvektive Situationen Simuliert und verschiedene Parameter wie mittlere Windgeschwindigkeit, Varianz der Geschwindigkeit und Turbulenzintensität betrachtet. Abbildungen 2 und 3 zeigen erste Ergebnisse für eine Simulation mit 4 m Gitterweite bei neutraler Schichtung. Es sind die Einflüsse der Hangkanten und Vegetation auf Windgeschwindigkeit, Varianz und Turbulenzintensität zu sehen. Um die Rechenzeit zu optimieren werden verschiedene Optionen getestet. Zum einen wird PALM's self-nesting genutzt, in dem ein kleineres Modellgebiet mit geringerer Gitterweite (Child) innerhalb des größeren Modellgebiet (Parent) simuliert wird. So kann im Bereich um die WEA kleinskalige Turbulenz aufgelöst werden und Rechenzeit gespart werden.

PALM benutzt zur Simulation von WEA ein rotierendes Actuator Disk Modell (rADM) welches für längere Zeitreihen und große Windparks angemessen ist. Da jedoch kürzere Simulationen mit hoher Auflösung betrachtet werden, ist ein genaueres Modell angemessen. Zu diesem Zweck wird PALM mit dem vom IAG (Uni Stuttgart) weiterentwickeltem FLOW-er CFD-Code gekoppelt, welcher das genauere Actuator Line Modell und sogar voll aufgelöste Anlagen ermöglicht. Anhand der Ergebnisse kann die Genauigkeit von PALM's rADM in komplexem Gelände bewertet werden.

## WWW

<https://www.meteo.uni-hannover.de>

## Weitere Informationen

- [1] M. Dörenkämper, B. Witha, G. Steinfeld, D. Heinemann und M. Kühn, „The impact of stable atmospheric boundary layers on wind-turbine wakes within offshore wind farms,“ *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Bd. 144, pp. 146-153, 2015.
- [2] T. Lutz, C. Schulz, P. Letzgun und A. Rettenmeier, „Impact of Complex Orography on Wake Development: Simulation Results for the Planned WindForS Test Site,“ *Journal of Physics Conference Series*, Bd. 854, Nr. 012029, 2017
- [3] W. C. Radünz, Y. Sakagami, R. Haas, A. P. Petry, J. C. Passos, M. Miqueletti und E. Dias, „Influence of Atmospheric Stability on Wind Farm Performance in Complex Terrain,“ *Applied Energy*, Bd. 282, Nr. 116149, 2021.
- [4] B. Maronga, S. Banzhaf, C. Burmeister und e. al., „Overview of the PALM model system 6.0,“ *Geosci. Model Dev.*, Bd. 13, p. 1335–1372, 2020.
- [5] A. Ross, „Large-eddy simulations of flow over forested ridges,“ *Boundary-Layer Meteorology*, 2008.
- [6] C. J. Desmond, S. J. Watson und P. E. Hancock, „Modelling the Wind Energy Resource in Complex Terrain and Atmospheres. Numerical Simulation and Wind Tunnel Investigation of non-Neutral Forest Canopy Flow,“ *Journal of Wind Engineering and Industrial*, 2017.
- [7] P. Murphy, J. K. Kundquist und P. Fleming, „How wind speed shear and directional veer affect the power production of a megawatt-scale operational wind turbine,“ *Wind Energy Science* 5, 2020.
- [8] R. Menke, N. Vasilijevic, K. S. Hansen, A. N. Hahmann und J. Mann, „Does the wind turbine wake follow the topography? a multi-lidar study in complex terrain,“ *Wind Energy Science*, 2018.

## Projektpartner

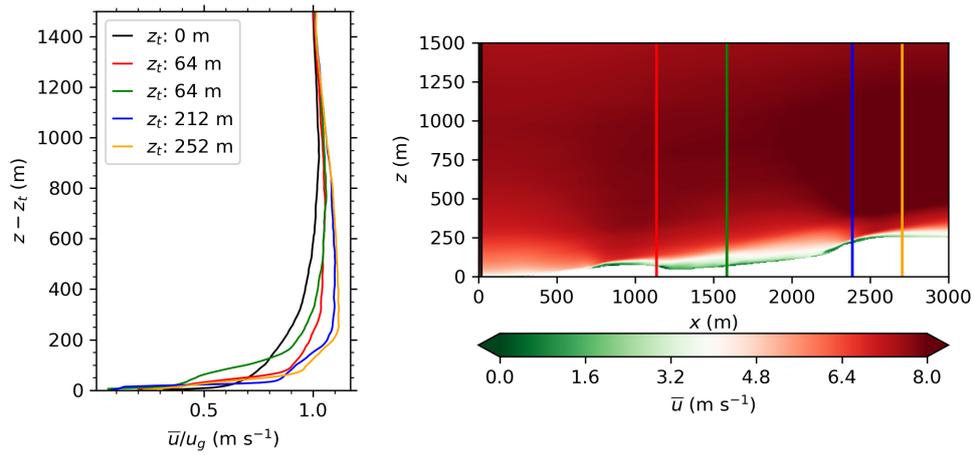
Firmen Fichtner und Tractabel; IAG und SWG (Uni Stuttgart)

## Förderung

BMWK

## DFG Fachgebiet

313-01



**Abbildung 3:** Höhenprofil und  $xz$ -Querschnitt der mittleren Windgeschwindigkeit  $u$  für neutrale Schichtung. Im Profil ist die Geschwindigkeit mit dem geostrophischen Wind  $u_g = 7,5 \text{ m/s}$  normiert.