

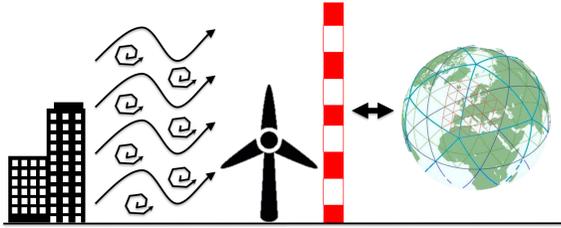
Analyse von Windböen auf Nabenhöhe von Windenergieanlagen

Akio Hansen^{1,2}, Dida Abdillah Fajrin¹, Heike Konow^{1,2}, Ingo Lange¹, Andrea Lammer¹, Felix Ament^{1,2}

(1) Universität Hamburg (2) Max Planck Institut für Meteorologie, Hamburg

Motivation

Windböen sorgen alljährlich für große Schäden, wobei viele der beeinflussenden physikalischen Prozesse noch weitestgehend unverstanden sind. Vorhersagen basieren zumeist auf empirischen Zusammenhängen und sind häufig nur für die Messhöhe von 10 m über dem Grund verfügbar. Präzise Vorhersagen auf bspw. Nabenhöhe sind jedoch für die sichere Installation und Wartung von Windenergieanlagen von großem Nutzen. Langjährige und turbulenzauflösende Windmessungen sowie Large Eddy Simulationen bieten neue Einblicke in die Prozesse von Windböen mit dem Ziel operationelle Vorhersagen zu verbessern.



$$\text{Böenfaktor} = \frac{v_{\text{Böe}}}{v_{10\text{min}}}$$

Zusammenfassung & Ausblick

- Windböen können um bis zu 200 % stärker als der mittlere Wind ausfallen.
- Höchste Windböenfaktoren treten im Sommer und bodennah auf, mit der Höhe nimmt der Faktor ab.
- ICON-LES zeigt ähnliche Strukturen, jedoch trotz 156 m Auflösung noch signifikante Unterschätzung.
- Weitere Simulationen mit Auflösung bis zu O(1 m).
- Ausweitung auf weitere Masten sowie Analyse von aktuellen Böenparametrisierungen.

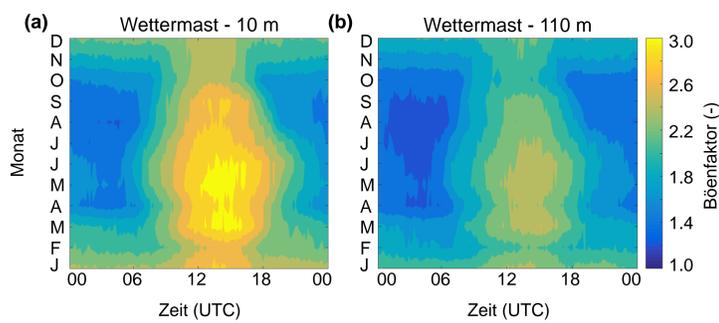
Wettermast Hamburg

- Grenzschichtmessmast (300 m) im Osten Hamburgs.
- Seit 2001 kontinuierliche, hochaufgelöste (bis 20 Hz) Messungen.
- 6 Messplattformen mit **Ultraschallwindmessern**, Temperatur- und Feuchte-sensoren u.v.m., bis in 280 m Höhe.
- Weitere Messungen am benachbarten 10 m Messmast.
- Datensatz: mehr als 17 Jahre bis 20 Hz im urbanen Umfeld.**
- wettermast.uni-hamburg.de



Standort des Wettermast sowie des Energiebergs mit zwei Windkraftanlagen (Quelle: OpenStreetMap).

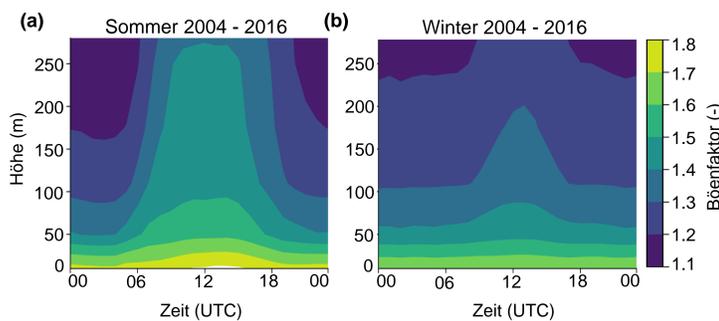
Jahres-/Tagesgang Windböen



- Windböen bis zu Faktor 3 stärker als mittlerer Wind im Sommer, im Winter nur bis zu Faktor 1.4.
- Mit zunehmender Höhe nimmt Windböenfaktor ab, geringere Turbulenz.

Variation des Windböenfaktors im Laufe des Jahres und des Tages in 10 m (a) und 110 m (b) Höhe am Wettermast auf Basis von Daten zwischen 2004-2016.

Saisonale Variation Windböen



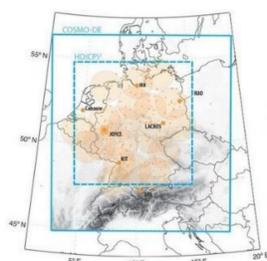
- Stärkere Einstrahlung im Sommer sorgt für höhere Grenzschicht sowie mehr Turbulenz als im Winter.
- Windböen reichen von daher in größere Höhen und weichen stärker vom Mittelwind ab.

Tagesgang des Windböenfaktors in der Grenzschicht im Sommer (JJA) (a) und Winter (DJF) (b) am Wettermast auf Basis der Daten von 2004 - 2016.

ICON LES – HD(CP)²

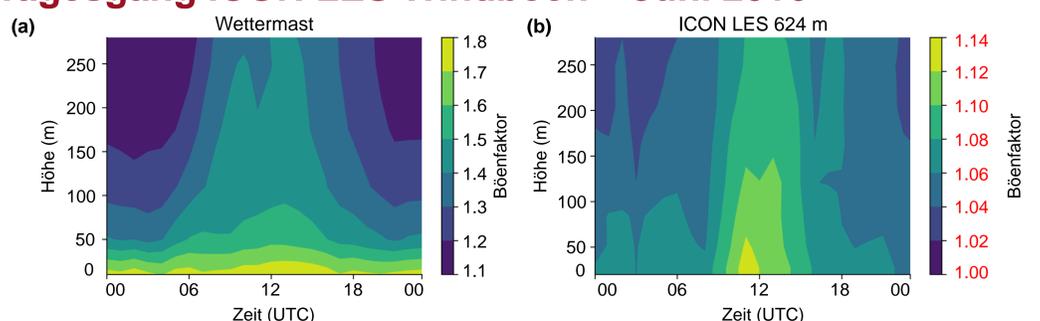
Modellsetup:

- Horizontale Gitterweite:** 624, 312 und 156 m (LES-Mode, 3-Domains, 1-Way Nesting).
- Vertikales Gitter:** 151 Schichten, Auflösung bis zu 20 m vertikal.
- Zeitl. Auflösung:** Modellzeitschritt 3 sek., Ausgabe alle 9 sek.
- Randdaten:** stündliche COSMO-DE Analysen.
- Simulationszeitraum:** Juni 2016 sowie einzelne Fallstudien.



Modellgebiet des ICON-LES Modells im Rahmen von HD(CP)² sowie Supersites.

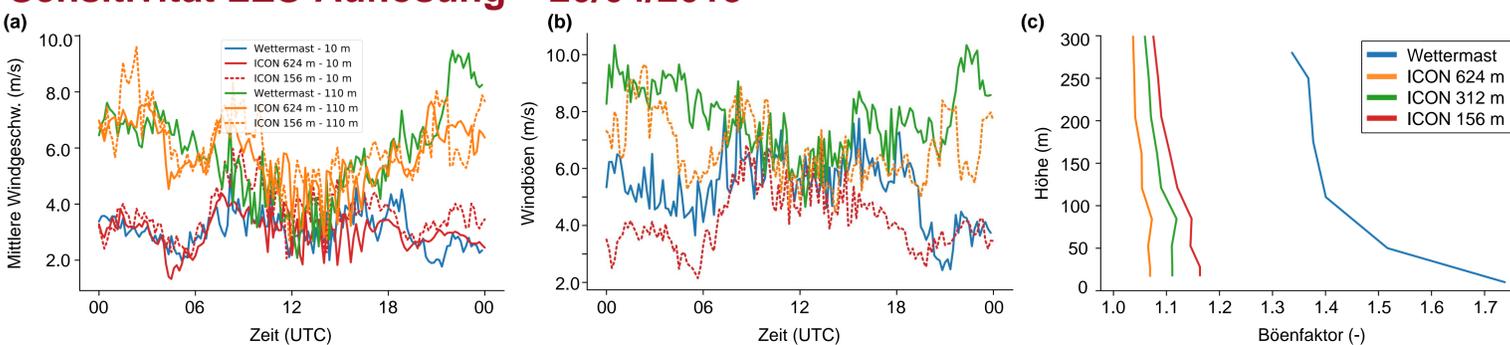
Tagesgang ICON LES Windböen – Juni 2016



Tagesgang des Windböenfaktors innerhalb der Grenzschicht im Juni 2016 auf Basis von Messungen am Wettermast Hamburg (a) sowie ICON LES Simulationen mit 624 m Auflösung (b).

- Juni 2016 zeigt ähnliche Struktur und Stärke der Windböen wie im langjährigen Mittel des Sommers.
- ICON LES zeigt ähnliche Struktur, jedoch deutliche Unterschätzung der Windböen, fehlende Auflösung von Prozessen.

Sensitivität LES-Auflösung – 20/04/2013



Zeitreihe des mittleren Windes (a) und der Windböen (b) auf 10 m und 110 m Höhe vom Wettermast sowie ICON LES Simulationen mit 624 m und 156 m Auflösung für den 20.04.2013. Mittleres Vertikalprofil (c) des Windböenfaktors vom Wettermast sowie den drei Auflösungen der ICON LES Simulationen mit 624, 312 und 156 m Auflösung.

- Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m und 110 m Höhe stimmt gut mit Messungen überein, kaum Unterschiede zwischen verschiedenen Auflösungen.
- Circa 15 % stärkere Windböen bei 156 m, jedoch weiterhin signifikante Unterschätzung.
- Verbesserung des Vertikalprofils mit steigender Auflösung, 156 m jedoch nicht ausreichend für alle Prozesse der Böen.

Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN)

www.cen.uni-hamburg.de

www.cen.mi.uni-hamburg.de