

Umfangreiche Validierung von CFD – Windfeldmodellierung

Wolfgang Winkler

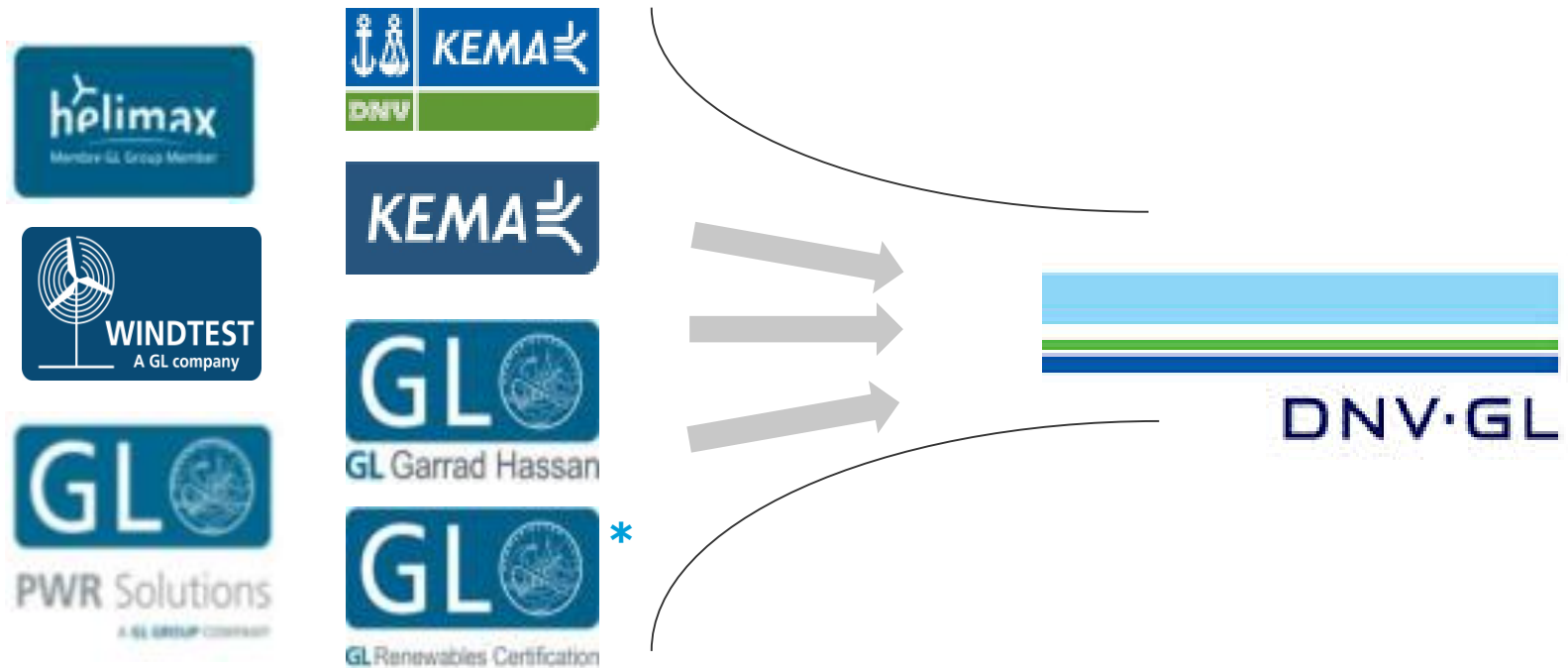
Paul Leask, Ana Poenariu,

Ulrik Horn, Jean-François Corbett

24. Windenergietage, Linstow, 11 Nov 2015

DNV GL Energy – Kombinierte Stärke

DNV GL Energy kombinieren die Stärke und gute Herkunft der bekannten Marken DNV, GL, KEMA, Garrad Hassan, Windtest, Noble Denton und GL Renewables Certification.



DNV GL, ein starker Partner der Energiewirtschaft



Motivation

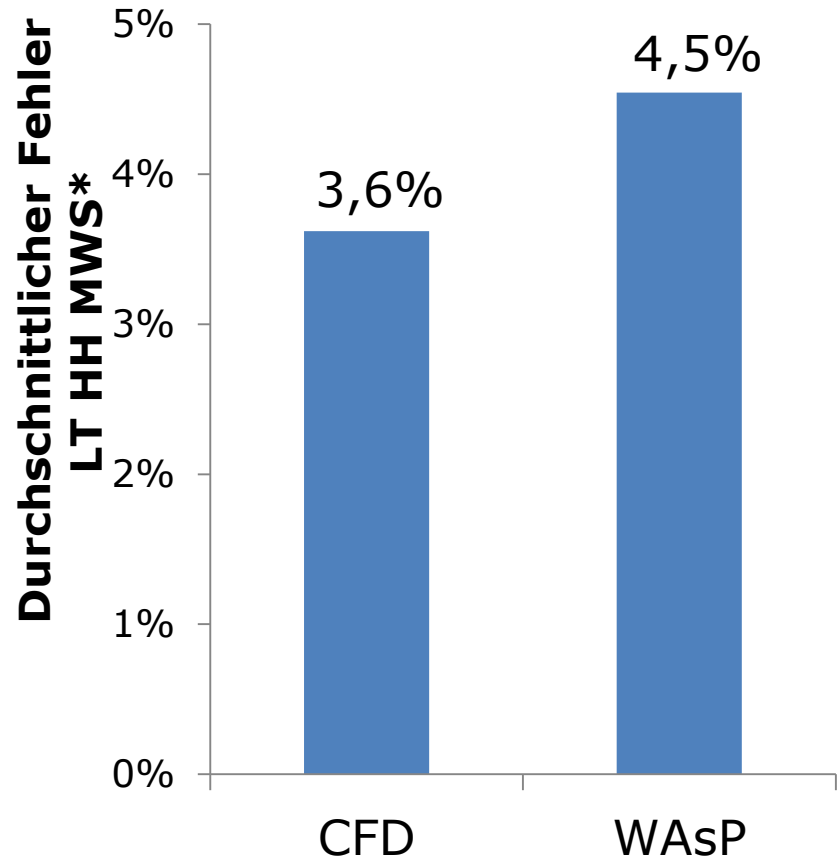
- Strömungsmodell:
 - Eine der wesentlichen Unsicherheitsquellen bei Ertragsberechnungen
- CFD (*Computational Fluid Dynamics*)
kann unter den richtigen Bedingungen zur Verbesserung des traditionellen Strömungsmodells beitragen, allerdings...
 - Ist die Verbesserung *statistisch* signifikant?
 - Und wenn ja, ist es *praktisch* signifikant? Unter welchen Rahmenbedingungen?
- Verbesserte Strömungsmodelle bedeuten:
 - Optimierung des Windpark-Layouts
 - Reduziertes Risiko
 - Bessere Finanzierungsbedingungen
 - Erhöhte Rendite

Vorgehensweise

- DNV GL CFD – intern, basierend auf kommerziellem Solver (STAR-CCM+), verwendet von gut ausgebildeten Mitarbeitern
- Vergleich von Mast-zu-Mast Prognosen der langfristigen mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe (LT HH MWS) mit tatsächlichen Messdaten
- Vergleich der Fehler von CFD und WAsP mittels paarweisem t-Test
- Durchführung einer streng und systematischen Analyse, einschließlich aller Standorte mit mehreren Masten, die zwischen 2012 und 2014 simuliert wurden.
 - 212 kommerzielle Windparkstandorte in verschiedenen Regionen und Klimazonen weltweit
 - Keine Ausnahmen, keine Filterung, keine Rosinenpickerei
 - Keine nachträglichen manuellen Korrekturen an den Ergebnissen

DNV GL CFD: Vorteile sind statistisch signifikant

- Die Ergebnisse der Strömungsmodellierung sind sehr volatil
 - Sie verändern sich von Standort zu Standort und innerhalb einzelner Standorte
 - Eine kleine Grundgesamtheit (n=5-10) ist nicht genug, um einen echte Tendenz vom Grundrauschen zu unterscheiden
- **Ergebnis:**
 - Durchschnittlicher Fehler der CFD Modellierung geringer als bei WAsP
 - Statistische Signifikanz ($p < 10^{-7}$)



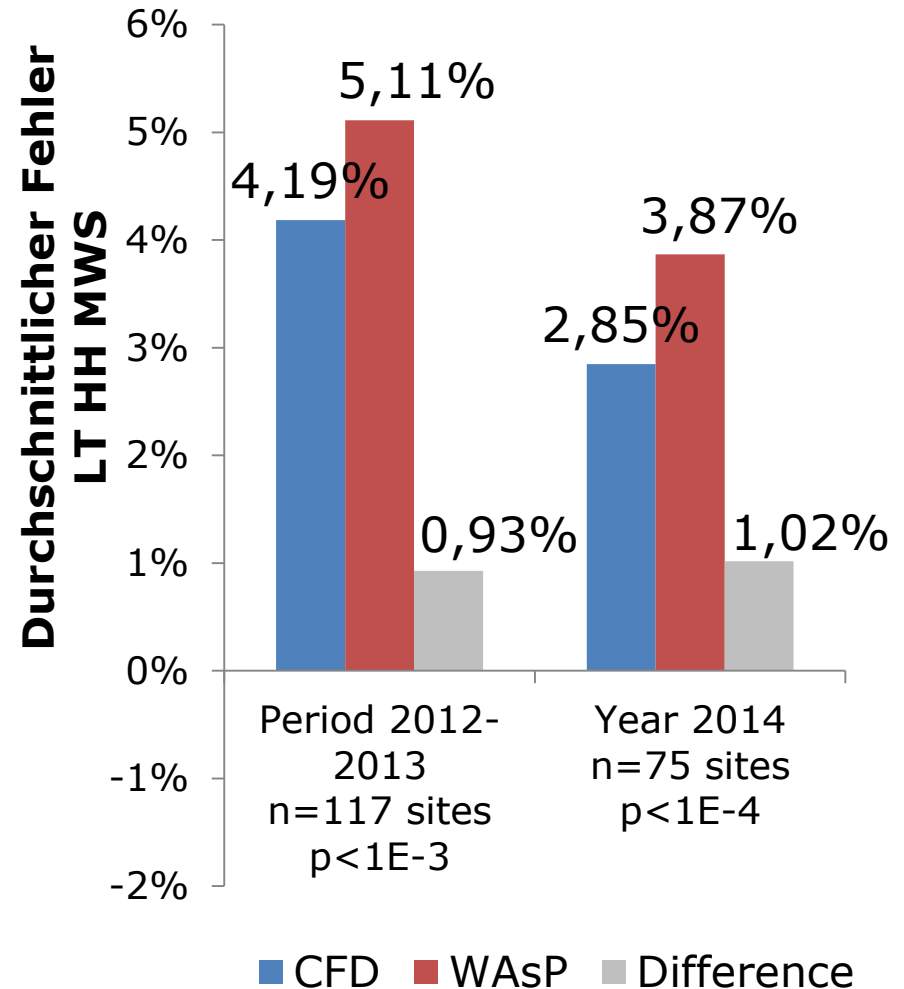
■ Average 2012-2014, n=212 sites, $p < 1E-7$

* Langzeitwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe

DNV GL CFD: Verbesserungen treten ein

In 2014:

- Die Lücke zwischen CFD und WASP ist gewachsen
 - In Bezug auf absoluten und relativen Werte
 - Schrittweise Verbesserung der Methodik zeigt Wirkung
- Verringerter absoluter Fehler bei CFD und WASP
 - CFD wird für ein wachsende Anzahl von Standorten genutzt, auch für weniger komplexe Standorte

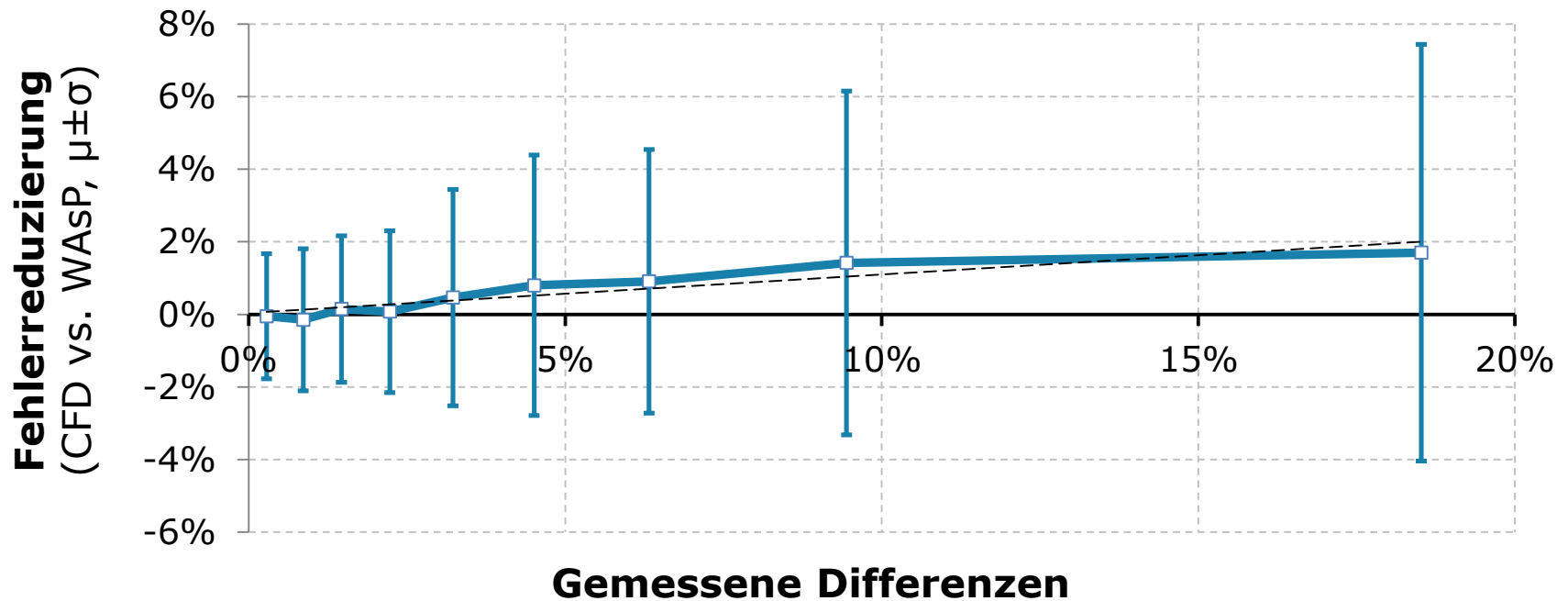


Drei Indikatoren für CFD

- Unter welchen Rahmenbedingungen kann CFD gegenüber den traditionellen Strömungsmodellen zu einer Verbesserung führen?
 1. Hohe Windgeschwindigkeitsvariationen an einem Standort
 2. Atmosphärische Stabilität
 3. Bewaldete Standorte
- Wenn *eines* dieser Kriterien zutrifft, sollte CFD angewendet werden.

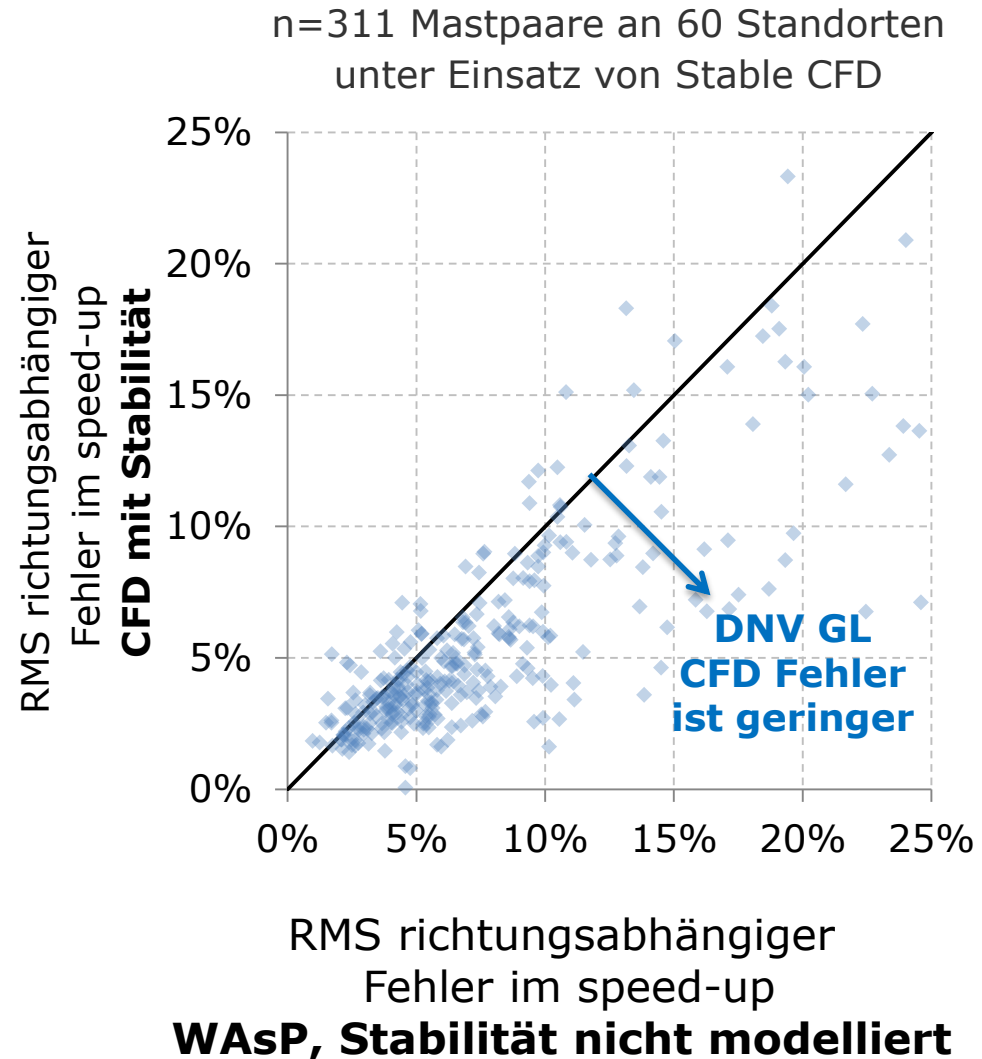
Indikator für CFD: Große Windgeschwindigkeitsvariationen

- Große Windgeschwindigkeitsdifferenzen = Schwierige Modellierung
- Deutlicher Trend (n=3000 Mastpaare, $p \ll 0.01$ bei über 3% Differenz)
 - Bei Standorten, die eine Differenz der Windgeschwindigkeiten über einige Prozent hinaus aufweisen, sollte CFD angewendet werden

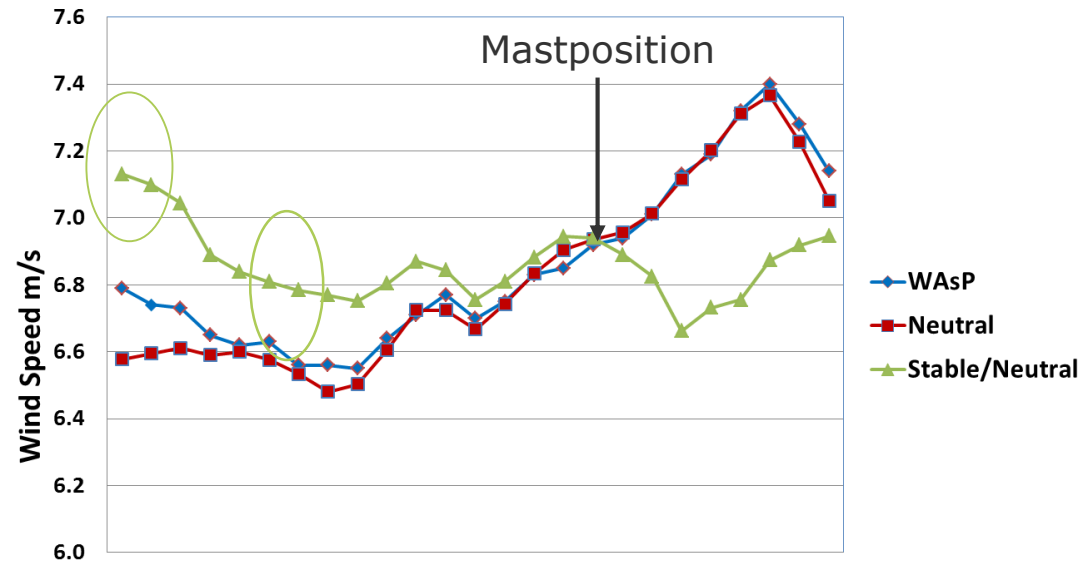


Indikator für CFD: Atmosphärische Stabilität

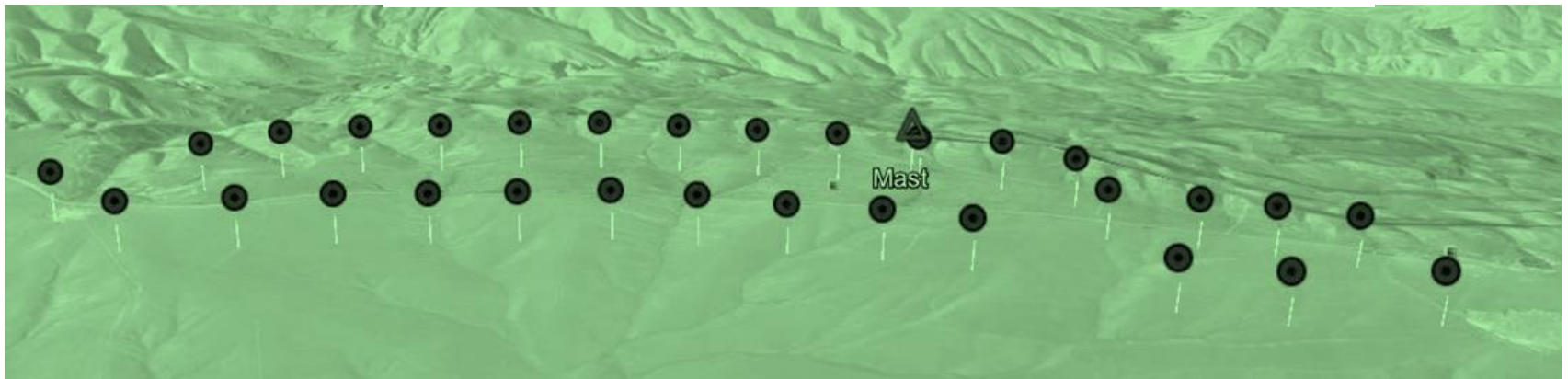
- „Stable CFD“: Modellierung unter Beachtung der Stabilität + Gewichtung
- Typischerweise Standorte, die
 - eher flach waren,
 - eine geringere Variation der mittleren Windgeschwindigkeit aufwiesen.
- Man könnte erwarten, dass CFD weniger Nutzen hat, allerdings...
 - Nahezu immer eine Verbesserung gegenüber Modellen, welche die Stabilität nicht berücksichtigen.
 - Stable CFD erfasst reale Atmosphärenphysik. Dies fehlt bei neutralen Modellen.



Stabilität - Ein Beispiel

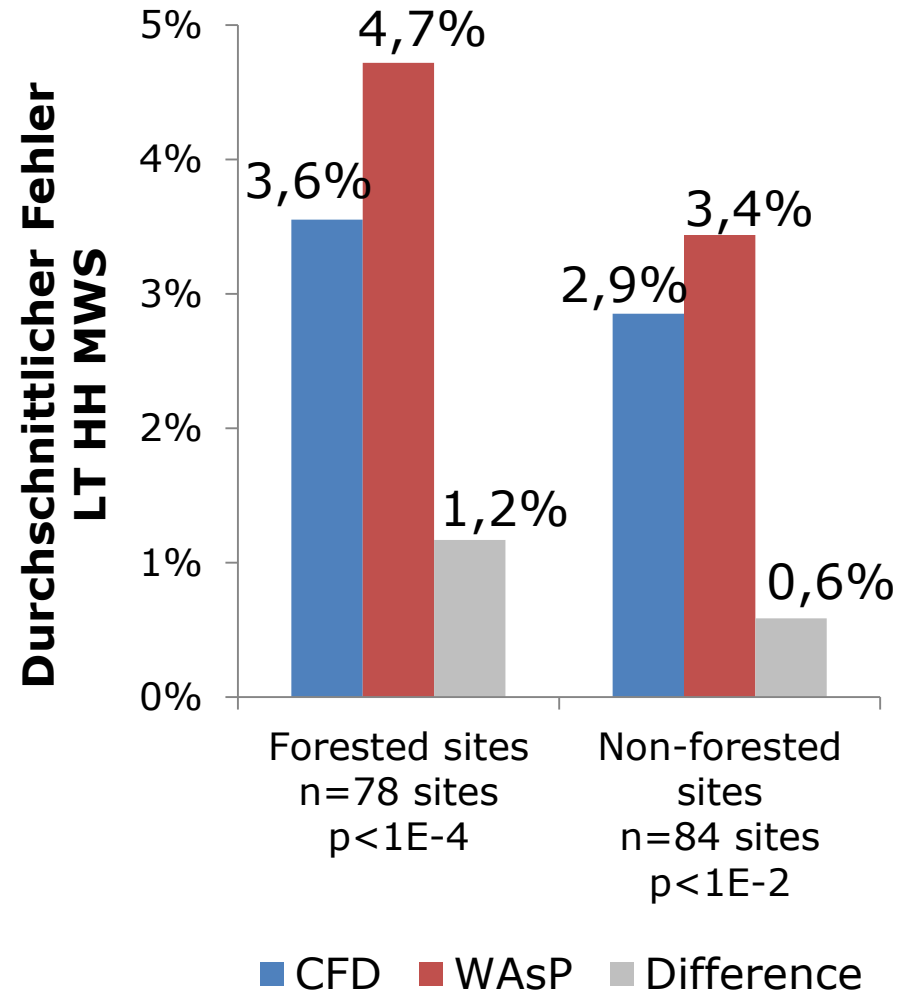


WEA - Hintere Reihe



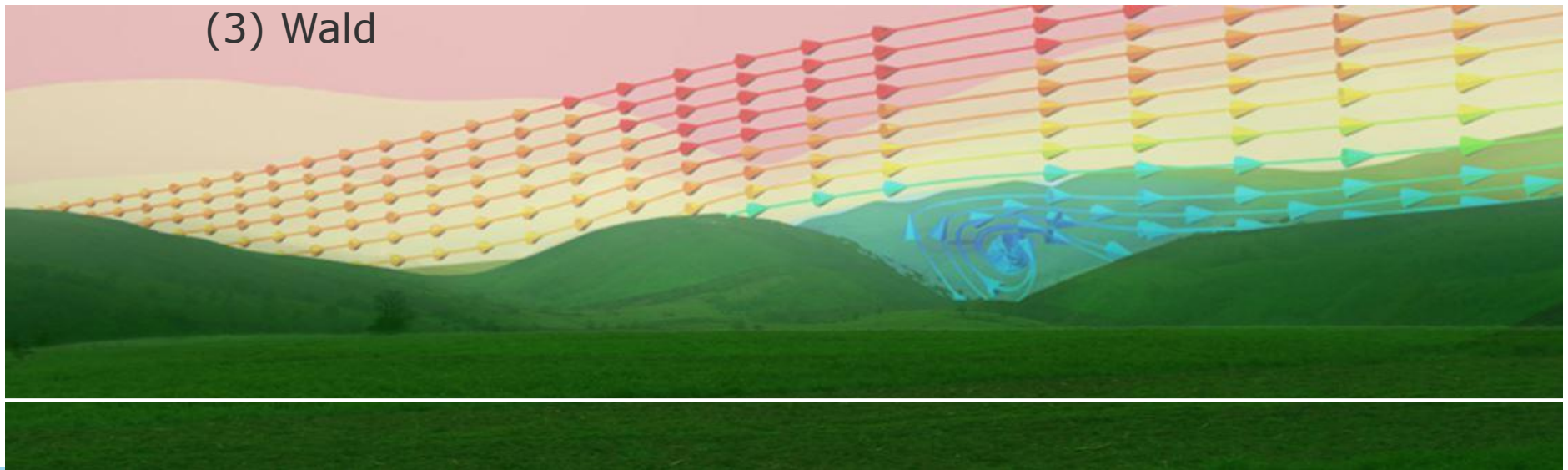
Indikator für CFD: Bewaldete Standorte

- Bewaldete Flächen sind ein bedeutender Faktor, der die Fehler in allen Modelle erhöht
- Aber:
Für das DNV GL CFD stellt es ein geringeres Problem dar als für WAsP (letzteres mit Height Displacement Methode)



Fazit

- DNV GL CFD kann Fehler in der Strömungsmodellierung signifikant reduzieren
- DNV GL CFD wird besser
- Indikatoren für CFD:
 - (1) Variation der Windgeschwindigkeiten über einige Prozent,
 - (2) Stabilität und
 - (3) Wald



Die Zukunft

- CFD steht seit langer Zeit für das Versprechen einer Verbesserung der Ergebnisse der Strömungsmodelle
- Aus Sicht von DNV GL ist dies in 2015 tatsächlich möglich
- **WENN** folgende Bedingungen zutreffen:
 - Strikte Einhaltung der Methodik unter Vermeidung der CFD-Fallstricke, die zu irreführenden Ergebnissen führen können
 - Empirische, systematische und kontinuierliche Validierung der Leistungsfähigkeit von CFD
 - Die Validierungen sind öffentlich zugänglich, um eine kritische Überprüfung durch die Industrie zu ermöglichen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Wolfgang Winkler

Renewables Advisory

DNV GL – Energy

Email: wolfgang.winkler@dnvgl.com

Direct: +49 441 361 16 887

Mobile: +49 172 408 50 29

Marie-Curie-Straße 1

26129 Oldenburg / Deutschland

www.dnvgl.com

SAFER, SMARTER, GREENER