

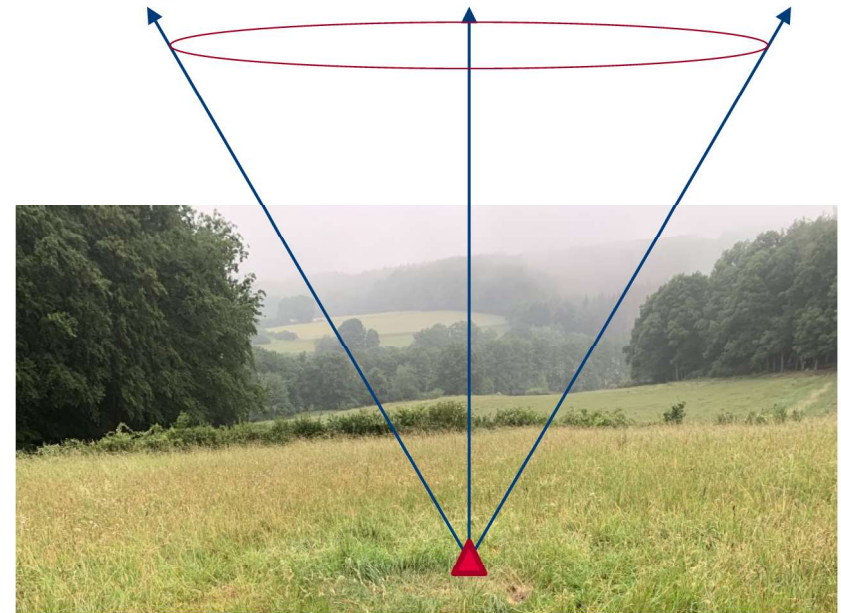
LIDARKORREKTUR IM KOMPLEXEN GELÄNDE

30. WINDENERGIETAGE 2022

09.11.2022 Annette Westerhellweg

Agenda

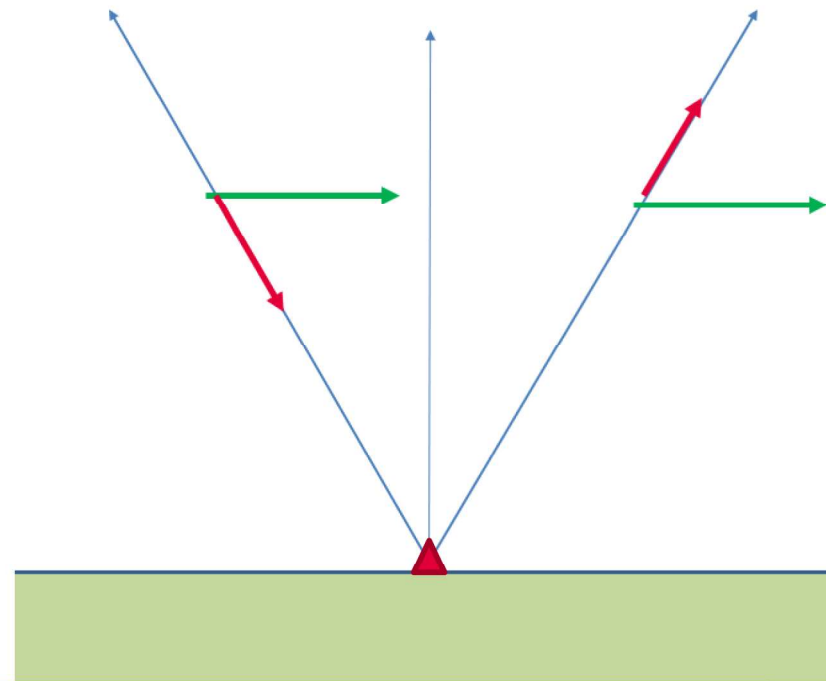
- I. Einleitung
- II. Beschreibung der Korrektur
- III. CFD Modell
- IV. Modellparameter Stabilität u. Wald
- V. Validierung gegen Mastmessung
- VI. Anwendung zur Lidarplatzierung
- VII. Zusammenfassung



Einleitung

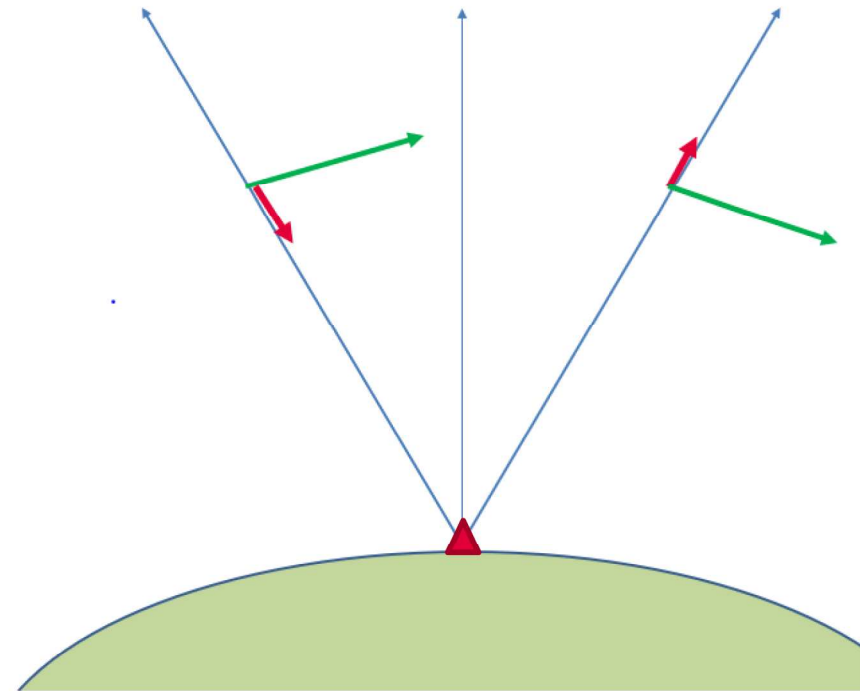
-> Windrekonstruktion aus mindestens 3 LOS (Line of Sight)
Windgeschwindigkeiten

-> Lidar setzt homogenen Wind voraus



Einleitung

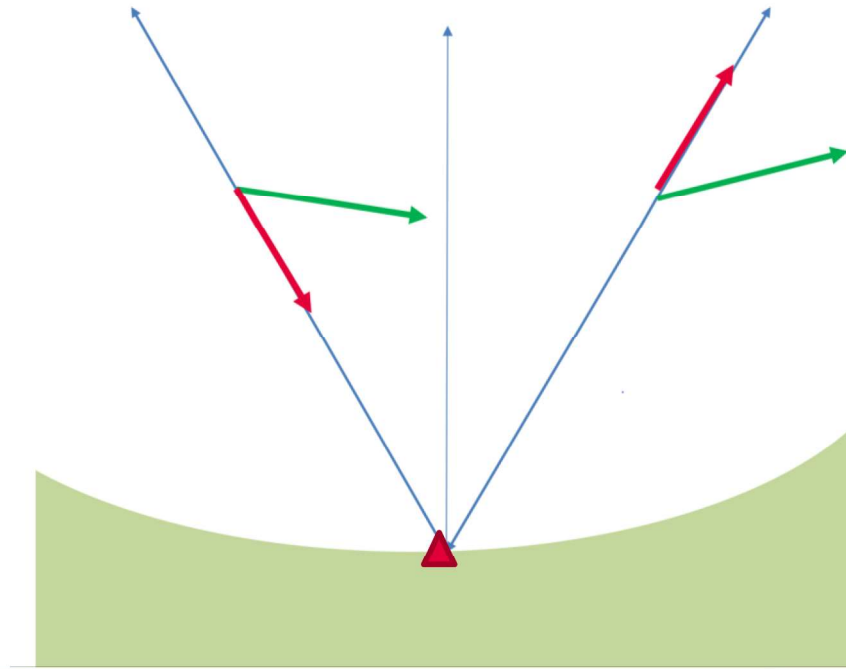
- > Im komplexen Gelände ist eine Korrektur notwendig
- > Zwei Effekte: Schräganströmung + unterschiedlicher Wind



LIDARKORREKTUR IM KOMPLEXEN GELÄNDE

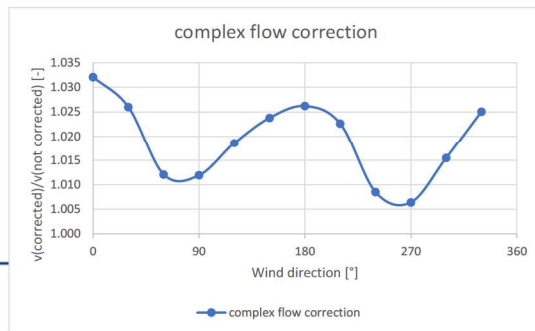
Einleitung

- > Im komplexen Gelände ist eine Korrektur notwendig
- > Zwei Effekte: Schräganströmung + unterschiedlicher Wind



Geländeeinflusskorrektur

- > 3 Berechnungsschritte:
- > Windmodell verwenden um v_{LOS} zu berechnen
- > v_{hor} aus den v_{LOS} berechnen in der gleichen Weise wie das Lidar
- > Mit v_{hor} direkt über dem Lidar vergleichen
- > Richtungsabhängige Korrekturfunktion



-> $v(LOS)$:

$$v_N = u \cdot \sin\theta + w \cdot \cos\theta$$

$$v_E = v \cdot \sin\theta + w \cdot \cos\theta$$

$$v_S = -u \cdot \sin\theta + w \cdot \cos\theta$$

$$v_W = -v \cdot \sin\theta + w \cdot \cos\theta$$

mit θ = Öffnungswinkel

-> Windvektor über dem Lidar:

$$U = \frac{v_N - v_S}{2\sin\theta}$$

$$V = \frac{v_E - v_W}{2\sin\theta}$$

$$W = \frac{v_N + v_E + v_S + v_W}{4\sin\theta}$$

J.-P. Cariou, M. Boquet: Leosphere Pulsed Lidar Principles, Contribution to UpWind WP6 on Remote Sensing Devices.

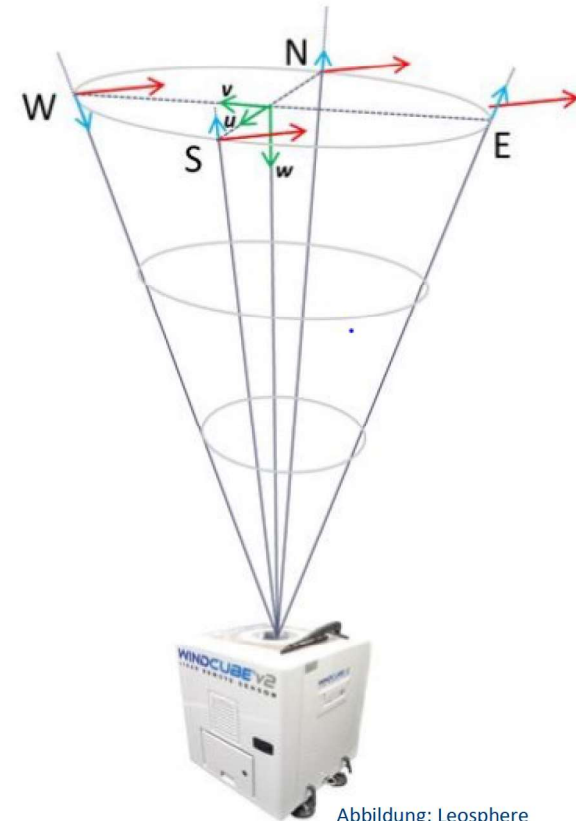
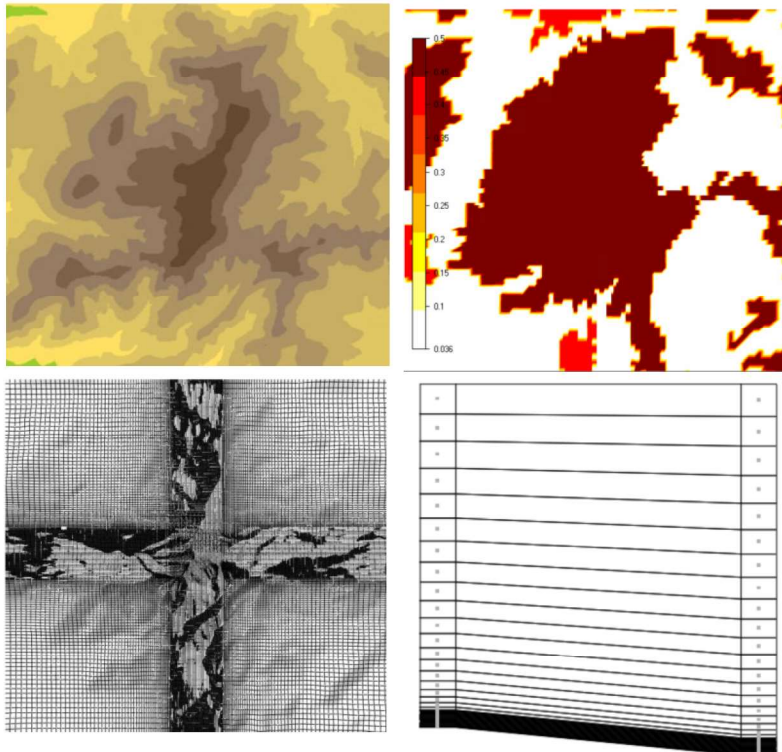


Abbildung: Leosphere

CFD Modell Settings, CFD-Modell: Windsim



Eingangsdaten

Höhendaten:	DGM5
Rauigkeitsdaten:	Corine Land Cover Europe 2018

Gebiet

Größe des inneren Simulationsgebiets:	1000 x 1000 m
Höchste Auflösung:	10 m
Größe des gesamten Gebietes:	8 km x 8 km
Niedrigste Auflösung am Rand:	119 m
Anzahl der vertikalen Schichten:	40
Höchste vertikale Auflösung:	10 m
Niedrigste vertikale Auflösung am oberen Rand:	119 m
Anzahl der Gitterzellen:	1.8 Mio

Modelleinstellungen

Windrichtungsauflösung:	10°
Turbulenzmodell:	k-ε Modell
Stabilität:	variable
Wald:	variable

Einflussfaktoren

-> Einflussflussfaktoren:

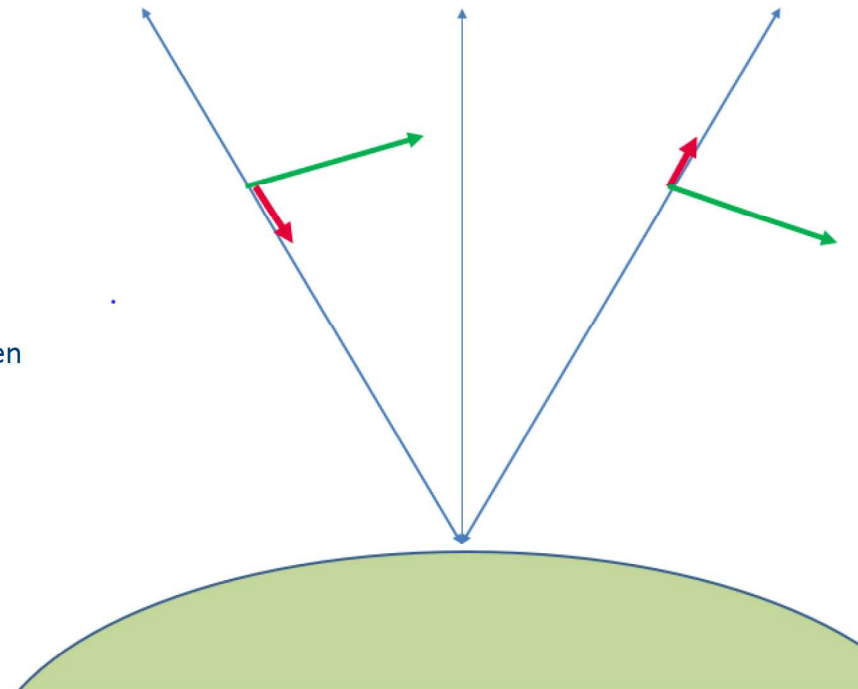
- > Orographie
- > Messhöhe
- > Rauigkeit und **Wald**
- > **Stabilität**
- > Öffnungswinkel

-> Studie von Klaas, Emeis an einem gauß-förmigen Berg, neben anderen

Ergebnissen:

- > Höhere Stabilität -> Korrektur ↓
- > Höherer Wald -> Korrektur ↓

T. Klaas, S. Emeis: The five main influencing factors on lidar errors in complex terrain, eawe WES Discussions 2021

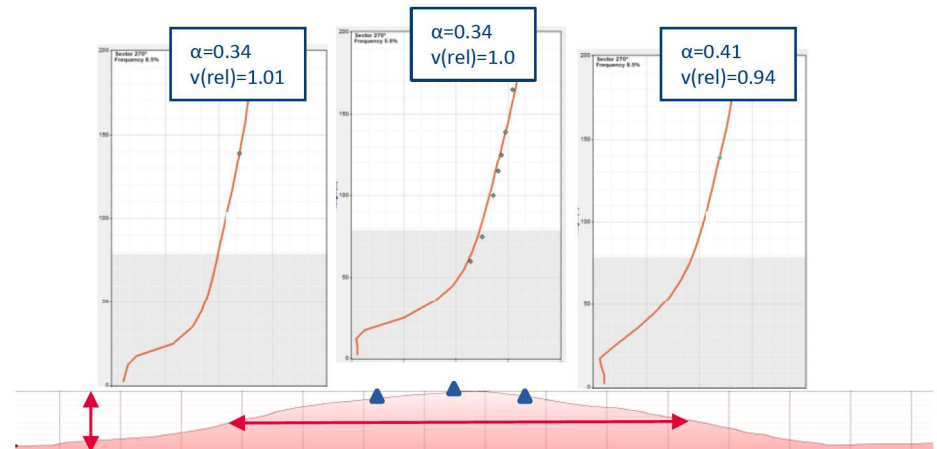


LIDARKORREKTUR IM KOMPLEXEN GELÄNDE

Einflussfaktoren

- > Soll an einem realen Beispiel getestet werden
- > Standort 2: Moderat komplex, Steigung: 11% bzw. 6.5° , Wald 20m

Windprofile bei Windrichtung aus 270° :



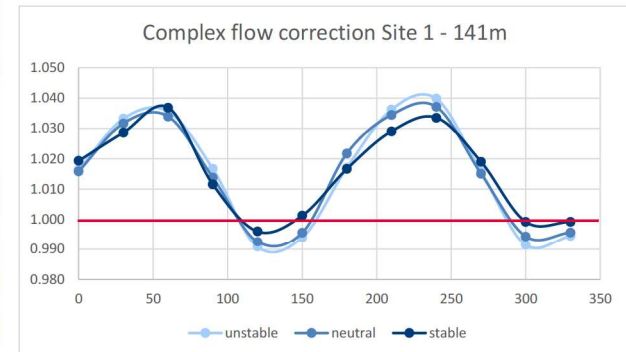
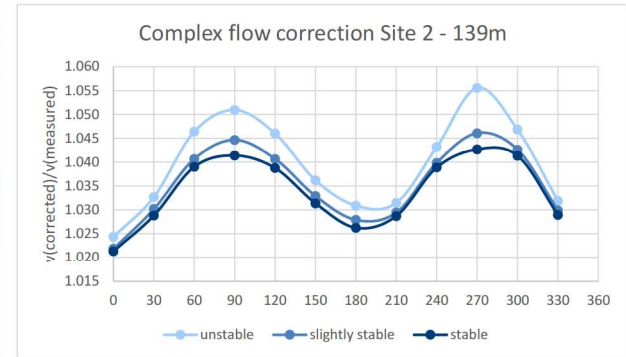
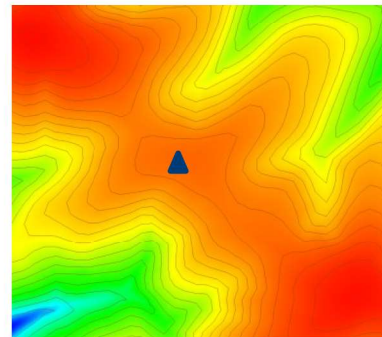
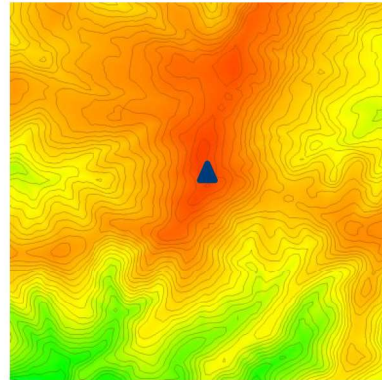
Halbe Breite=700m, Höhe=100 m, Steigung: 11% oder 6.5°

Einfluss von Stabilität

-> An verschiedenen Standorten getestet

-> Studie von Klaas, Emeis:

-> Höhere Stabilität -> Korrektur ↓



Einfluss von Wald

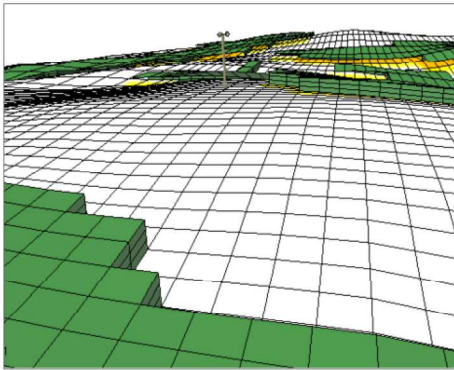
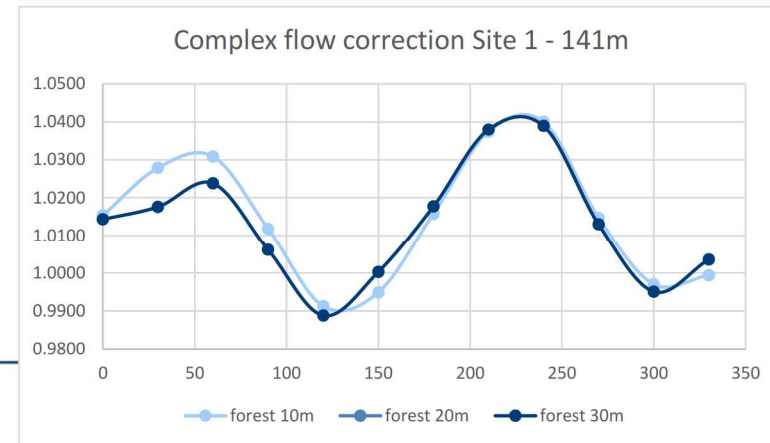
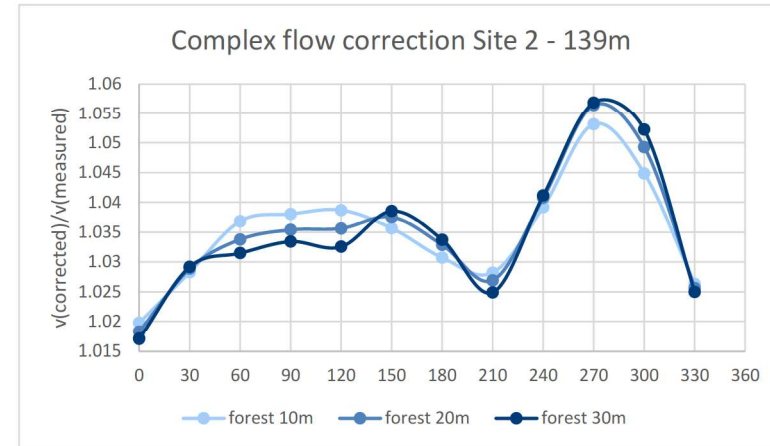


Abbildung: Windsim

-> Testrechnungen zeigen unterschiedliche Ergebnisse

-> Studie von Klaas, Emeis

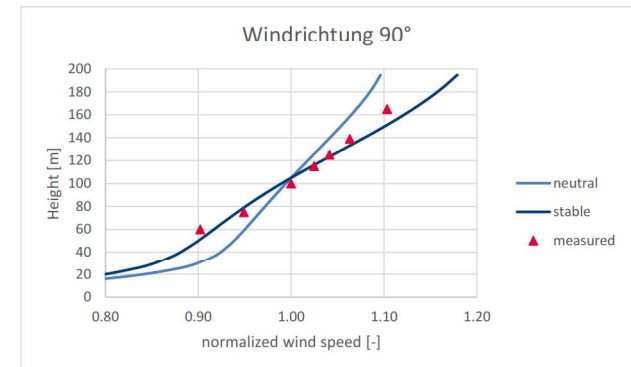
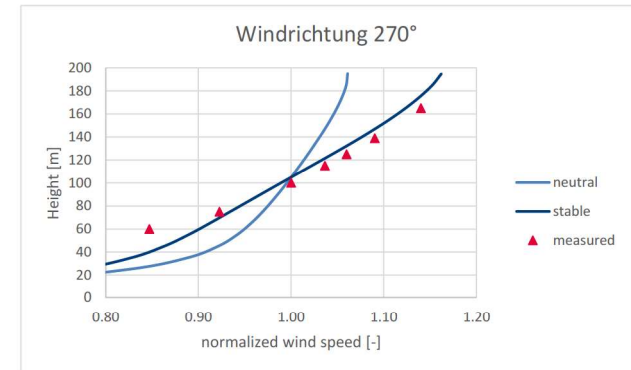
-> Höherer Wald -> Korrektur ↓ (?)



Einfluss von Stabilität

- → Stabilität ist ein wesentlicher Parameter

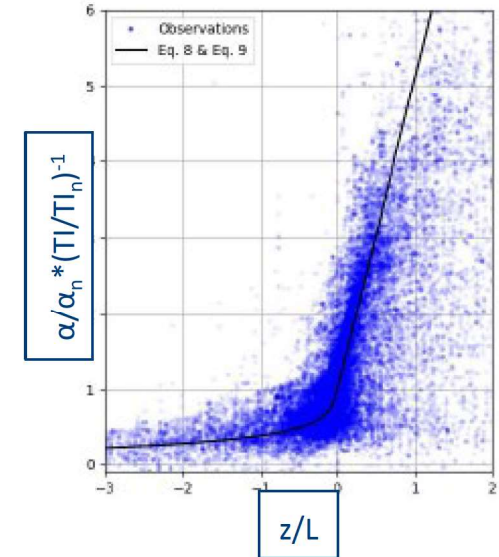
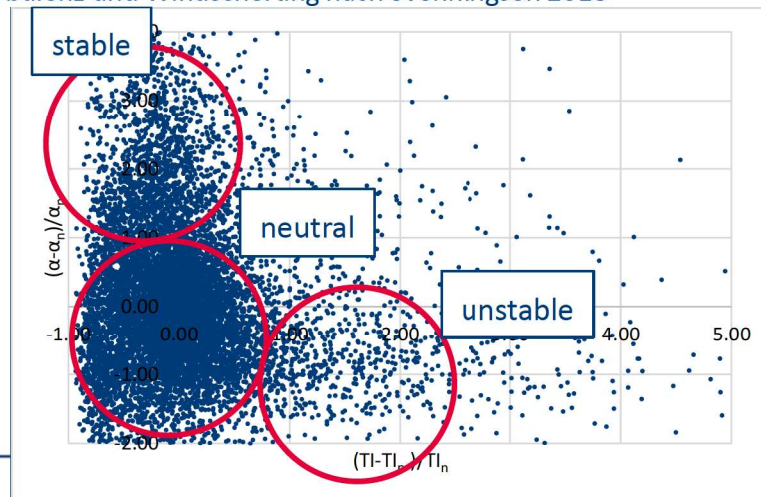
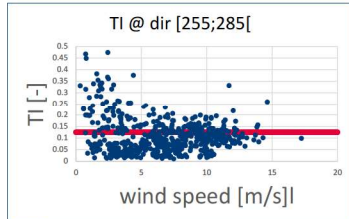
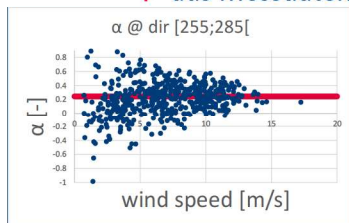
Monin-Obukhov length	Thermal stratification
-80	very unstable
-500	unstable
10'000	neutral
1500	stable
800	...
500	...
300	...
200	...
60	very stable



Einfluss von Stabilität

-> Quelle für Stabilitätsdaten

- > Try and Error anhand des gemessenen Windprofiles
- > ERA5
- > EMD-WRF
- > aus Messdaten: z. B. Turbulenz und Windscherung nach Svenningsen 2018



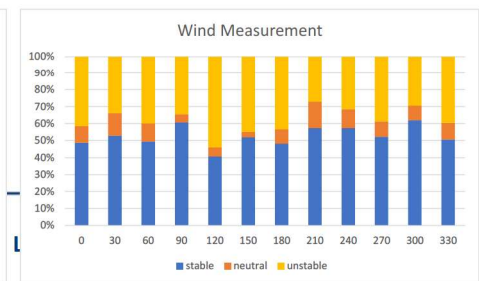
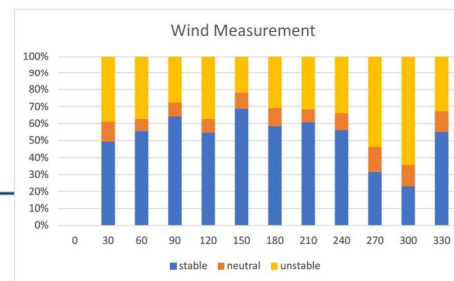
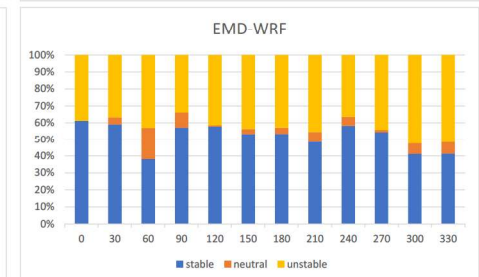
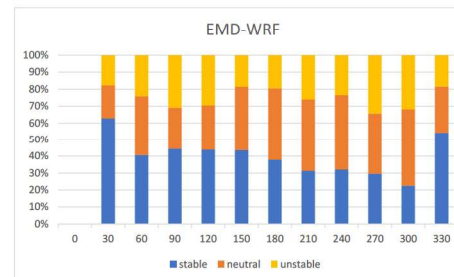
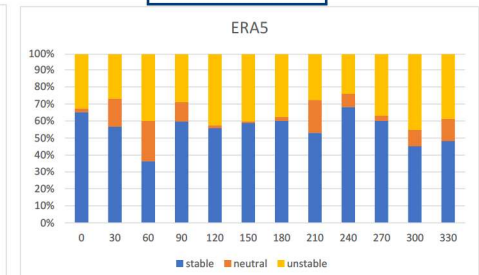
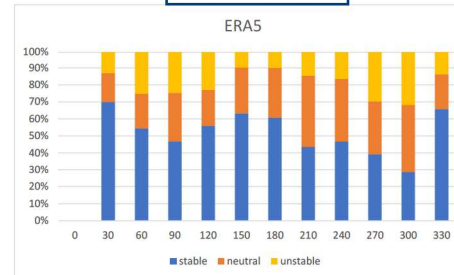
Quelle: L. Svenningsen et al: A novel method to quantify atmospheric stability, J. Phys.: Conf. Ser. 2018

Einfluss von Stabilität

- → Vergleich von Stabilität aus ERA5,
EMD-WRF und aus Messdaten

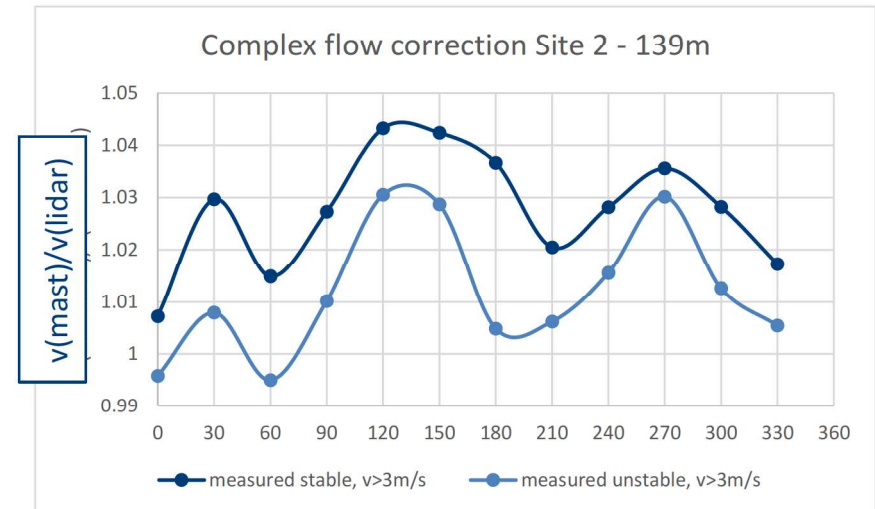
bei Husum

Standort 2



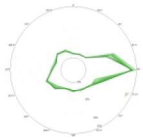
Validierung mit Mastmessung

- > Messung Standort 2, Vergleich nach stabil/labil:
- > höhere Korrektur bei stabiler Schichtung!
- > Widerspruch zum CFD-Ergebnis
 - > Möglicherweise durch Sensitivität der Lidarmessung auf Turbulenz begründet (skalare Mittelung des V2)

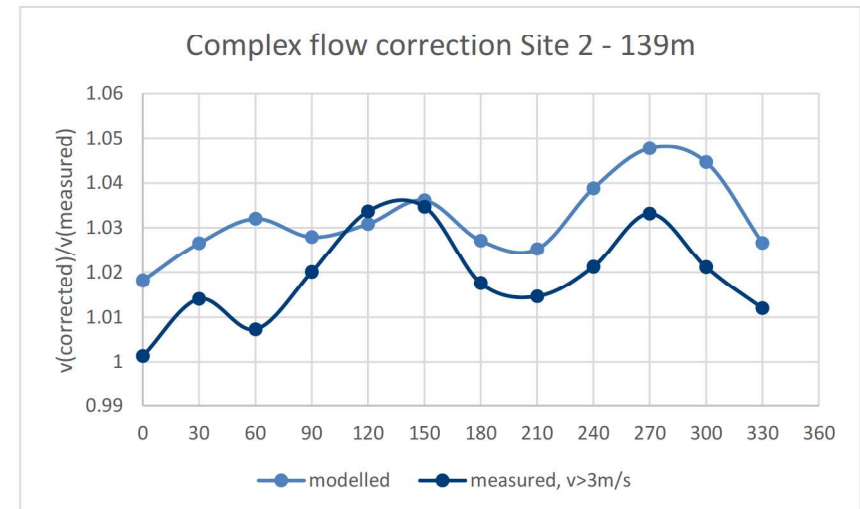


Validierung mit Mastmessung

- → Standort 2:

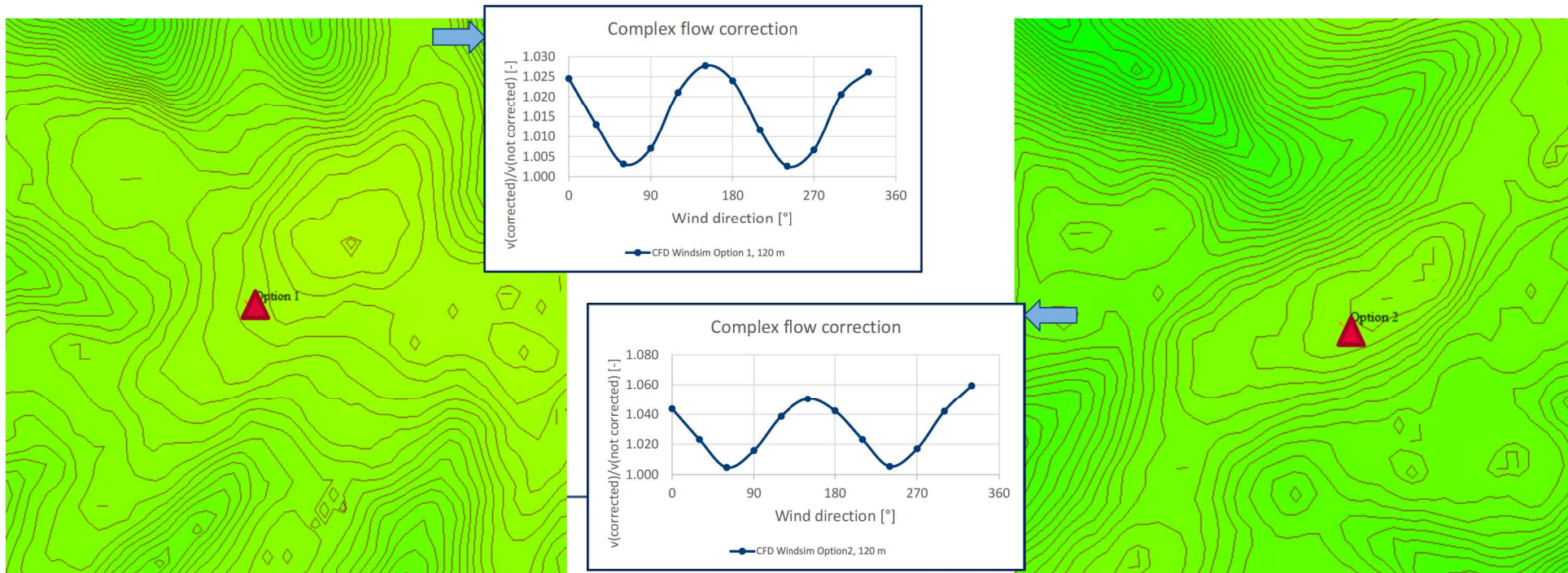


	Lidar before correction	Lidar after correction
RMSE	0.31	0.31
MAE	0.23	0.18
Difference mean wind speed	-1.8%	1.4%



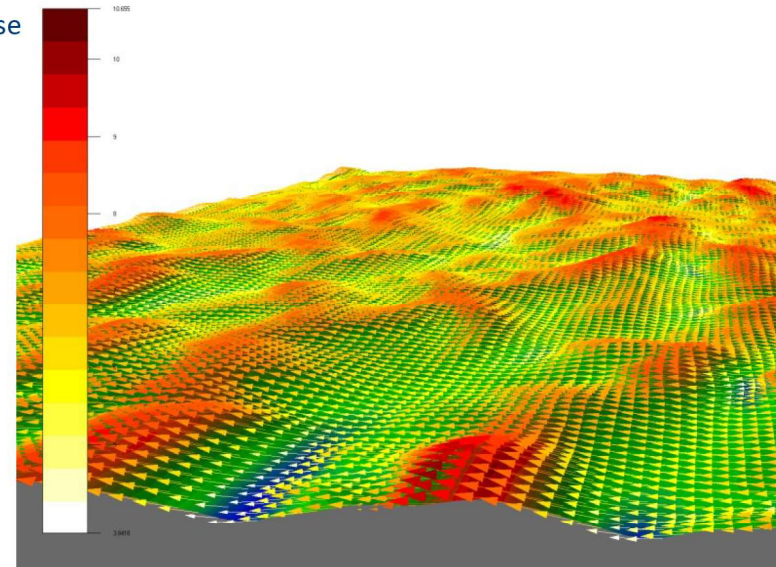
Analyse vor der LiDAR-Installation

- → Optimierung des LiDAR-Standortes basierend auf Lidar-Fehler
- Lidarkorrektur + Anwendung auf die vermutete Windstatistik



Zusammenfassung

- → Einfluss von atmosphärischer Schichtung und Wald
 - höhere Stabilität -> niedrigere Korrektur, für Wald unterschiedliche Ergebnisse
- → Stabilität aus Messdaten (TI und α) vergleichbar anderen Quellen
- → Fazit:
 - Variation der Modellparameter -> sinnvoll zur Abschätzung der Unsicherheiten, Unsicherheiten können aber höher sein.
 - Im moderat komplexen Gelände ist die Lidarkorrektur gut machbar
- → Ausblick: Validierung der CFD Simulationen anhand von Windmessungen



Vielen Dank für Ihr Interesse!

Fragen & Kontakt



Annette Westerhellweg

SENIOR WIND & SITES

✉ westerhellweg@pavana-wind.com

☎ +49 4841 8944 209

