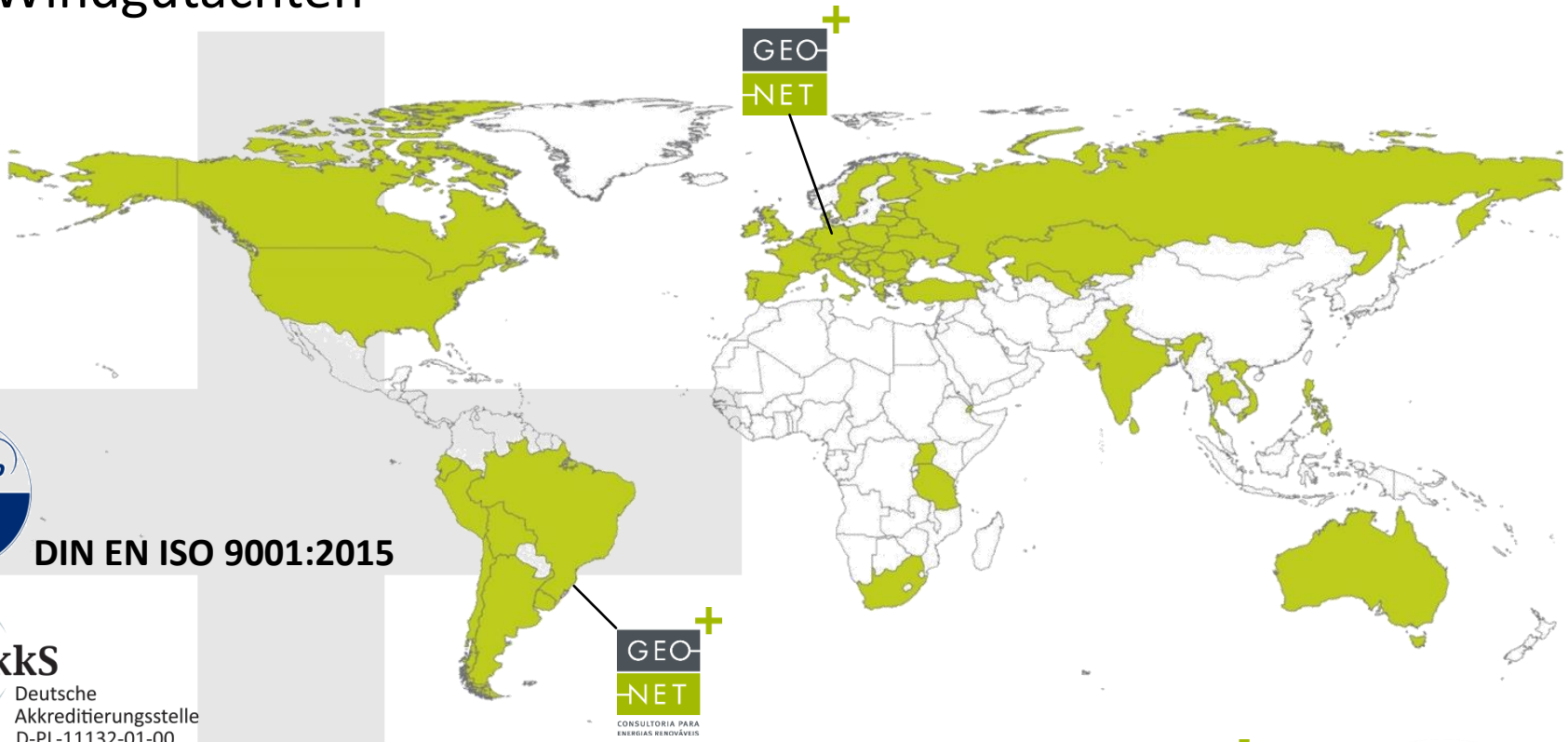
LiDAR-Messung und Fehlerkorrektur in komplexem Gelände mittels FITNAH-3D

Dr. Linda Voß
GEO-NET Umweltconsulting GmbH

GEO-NET

Windmessungen
Windpotentialstudien & Windatlanten
Windgutachten



DIN EN ISO 9001:2015

Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-11132-01-00

DIN EN ISO/IEC 17025:2005

LiDAR Messung

Ergänzung der stationären Windmessung durch mobile Kurzzeitwindmessungen mithilfe von LiDAR zwecks:

+ Messung des Vertikalprofils bis 200m
+ Ermittlung der lokalen Windverhältnisse im Windparkareal
+ Verifizierung des simulierten Windfelds durch räumlich verteilte LiDAR/SoDAR Messungen

Vorteile LiDAR

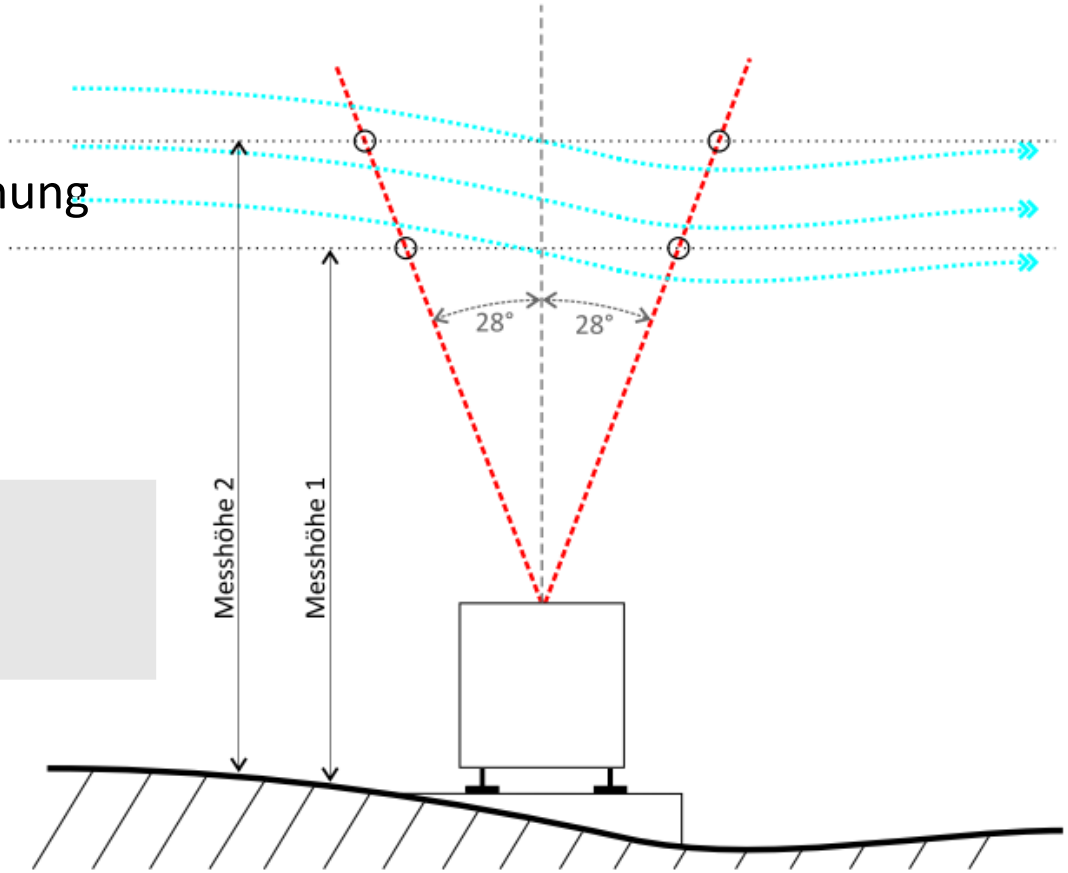
LiDAR Messungen haben **Vorteile** gegenüber Mastmessungen:

+ Kleines, portables Gerät
+ Messung der Windgeschwindigkeit in bis zu 10 Messhöhen bis 200m
+ Kein Aufwand für Baugenehmigung
+ Kein Einsatz von Maschinen notwendig

Nachteile:
+ Höhere Kosten
  > Übergang zu kürzeren Messperioden
+ Unterschiedliches Messprinzip im Vergleich zum Mast

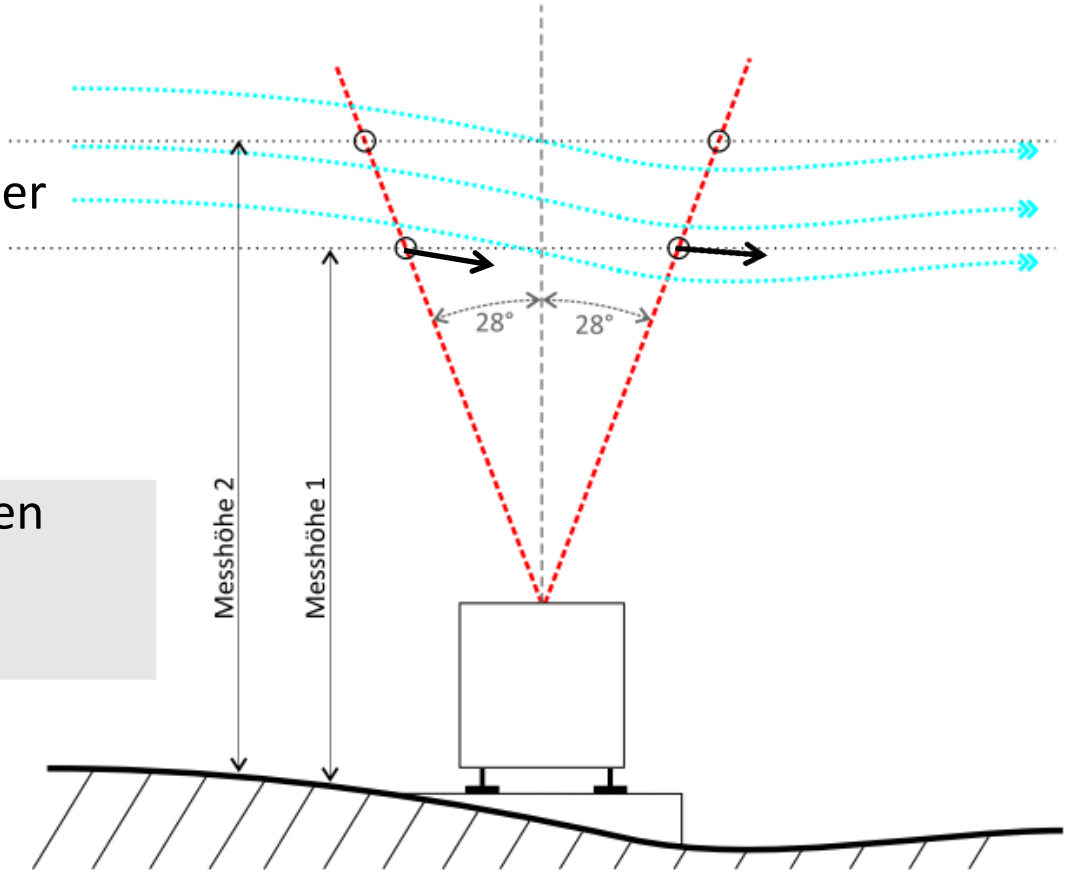
LiDAR Fehler

- Annahme von homogener Strömung in komplexem Terrain verletzt
- Fehler bei der Windgeschwindigkeitsmessung
- Unterschätzung auf Kuppen, Überschätzung in Tallagen



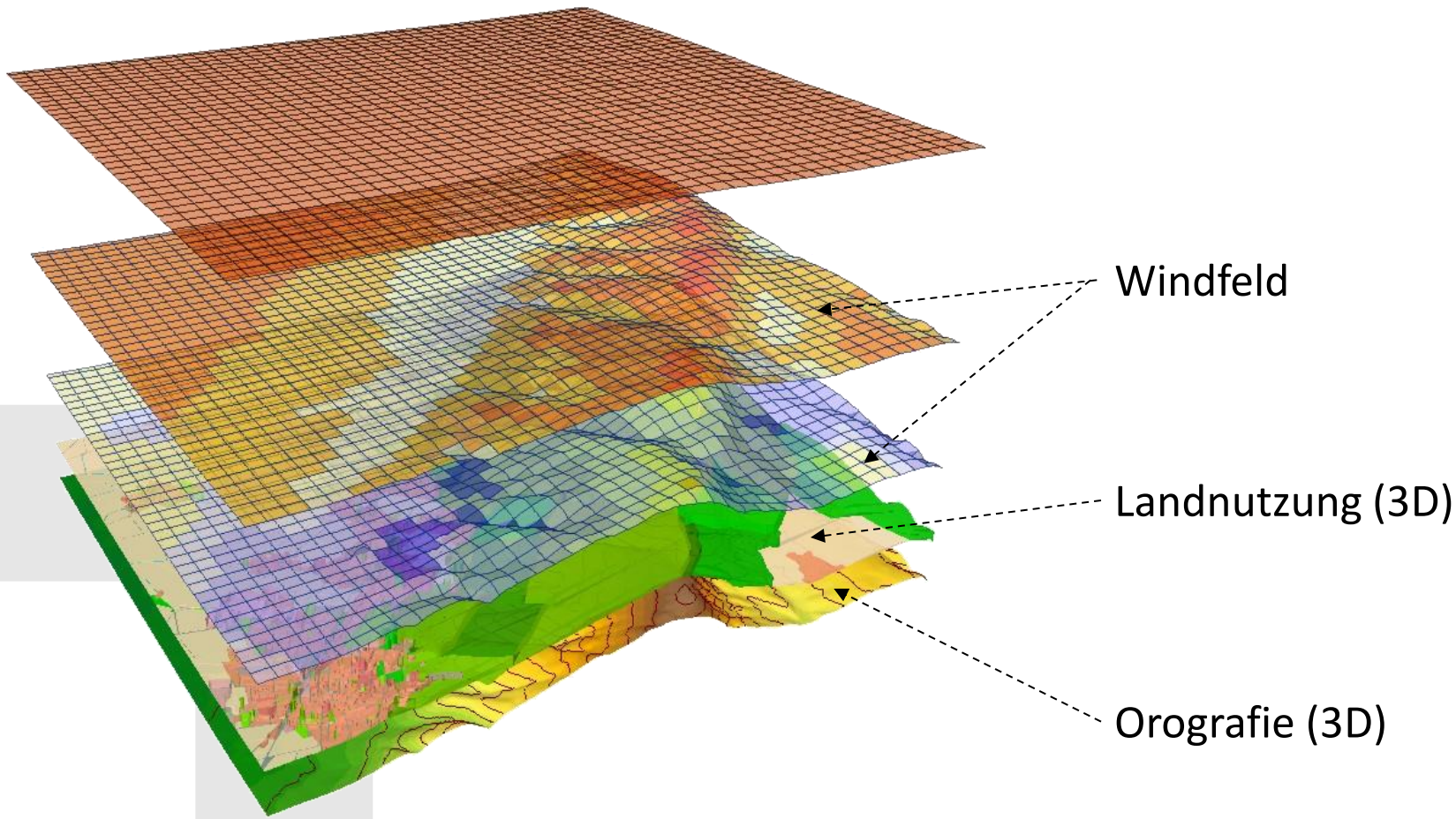
LiDAR Fehler

- Korrektur möglich, wenn Form der Strömung bekannt ist
- Korrektur basiert auf 3D-Strömungsmodellierung
- Verfahren in Literatur beschrieben



LiDAR-Geländefehlerkorrektur

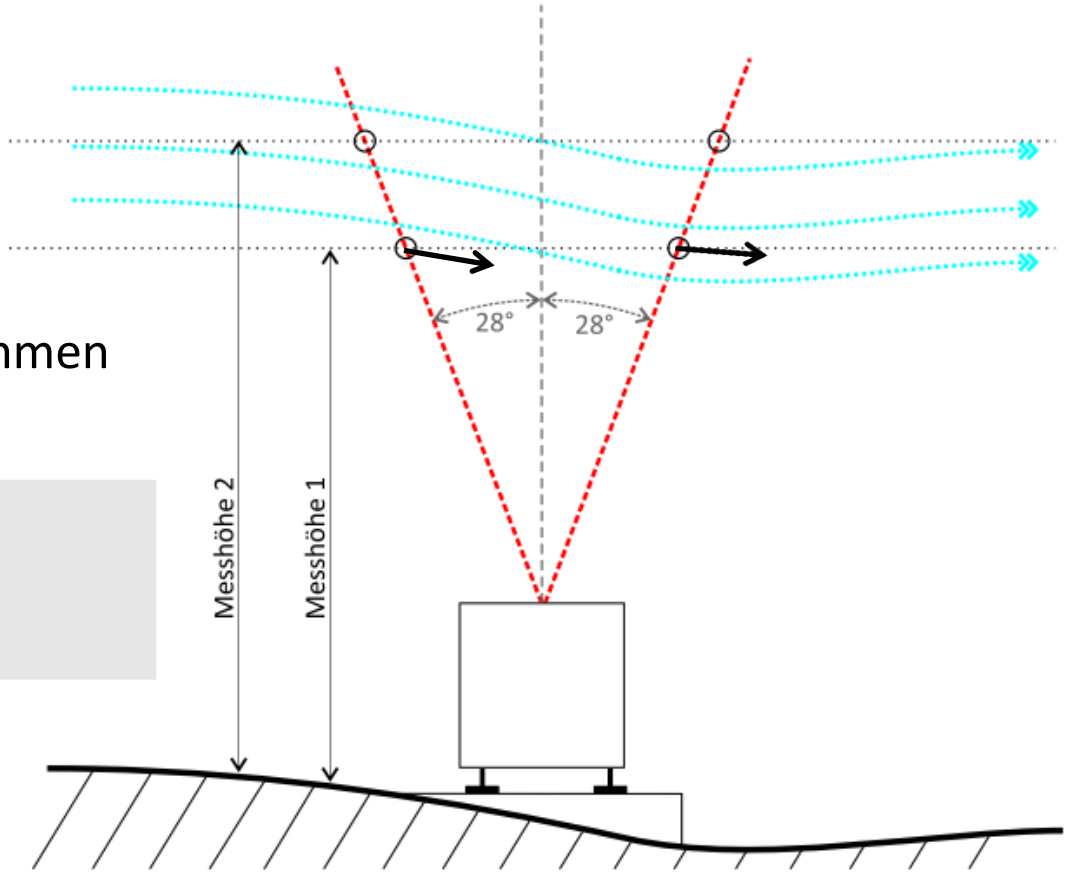
FITNAH-3D



LiDAR-Geländefehlerkorrektur

Vorgehen

- Strömungsfeld für verschiedene Anströmrichtungen bestimmen
- Daraus Korrekturfaktoren bestimmen
- Korrekturfaktoren auf Zeitreihe anwenden



LiDAR-Geländefehlerkorrektur

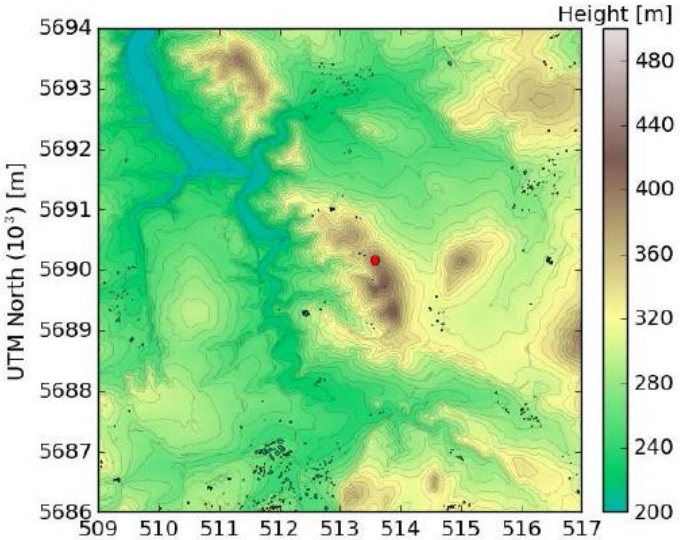
Validierung

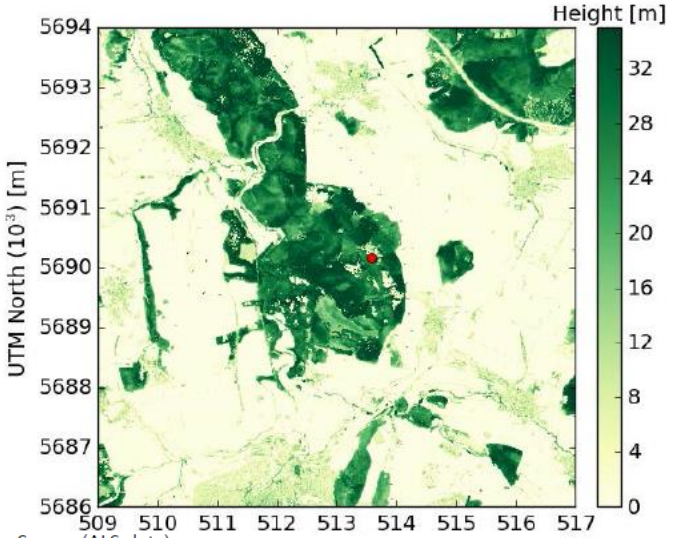
- Rückführbarkeit der Messung auf kalibrierte Anemometermessung
- Anhand von parallelen Mast- und LiDAR-Messungen an typischen Mittelgebirgsstandorten
- Veröffentlichter Vergleich zwischen Mast und LiDAR-Messung des Fraunhofer IEE Kassel

LiDAR-Geländefehlerkorrektur

Validierung

- Rückführbarkeit der Messung auf kalibrierte Anemometermessung
- Anhand von parallelen Mast- und LiDAR-Messungen an typischen Mittelgebirgsstandorten
- Veröffentlichter Vergleich zwischen Mast und LiDAR-Messung des Fraunhofer IEE Kassel





Data Source (ALS data):
Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation

LiDAR-Geländefehlerkorrektur

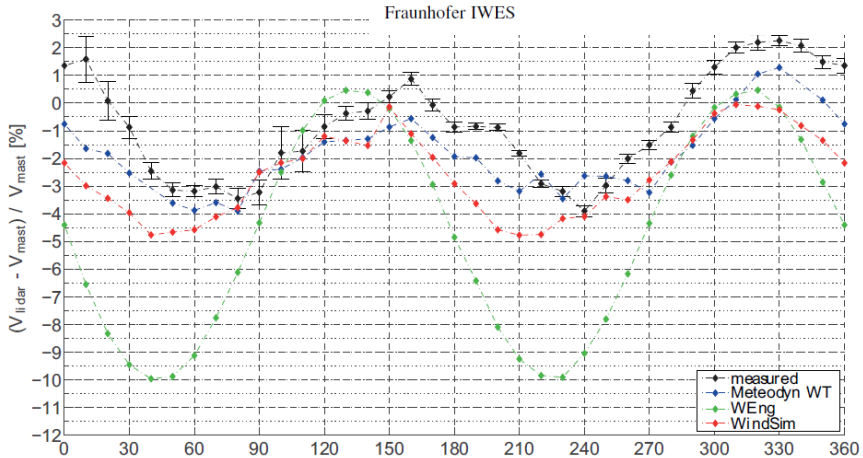
Validierung

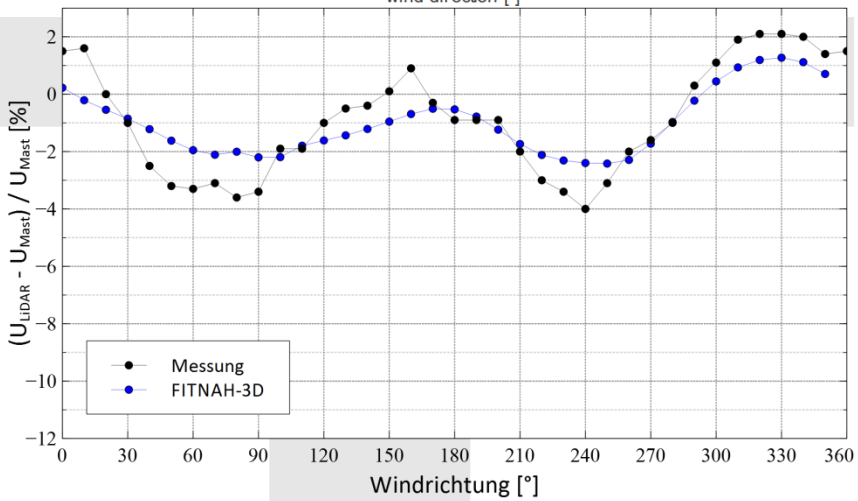
Meteorologische Zeitschrift, Vol. 24, No. 6, 591–603 (published online July 16, 2015)
© 2015 The authors

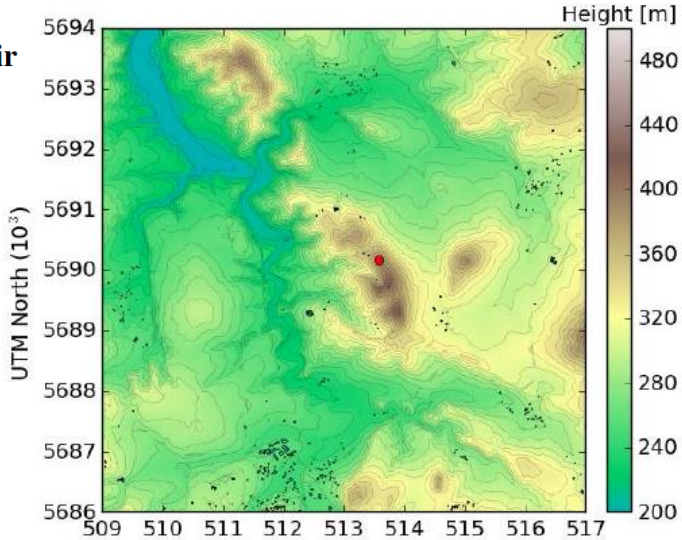
LiDAR-mast deviations in complex terrain and their simulation using CFD

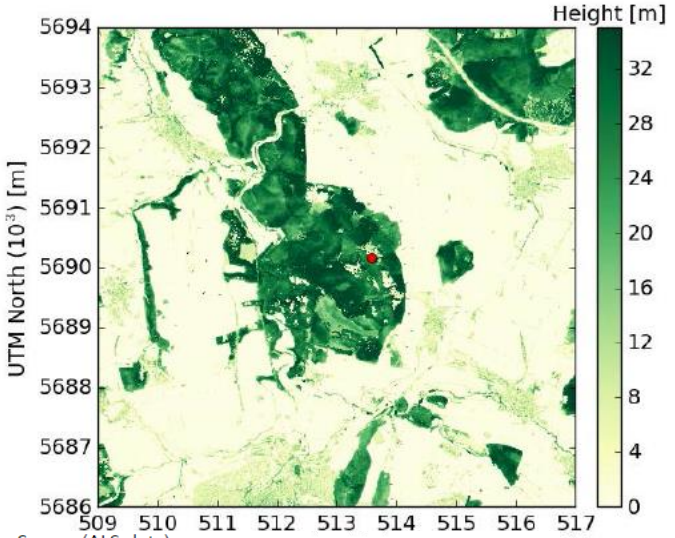
Tobias Klaas*, Lukas Pauscher and Doron Callies

Fraunhofer IWES







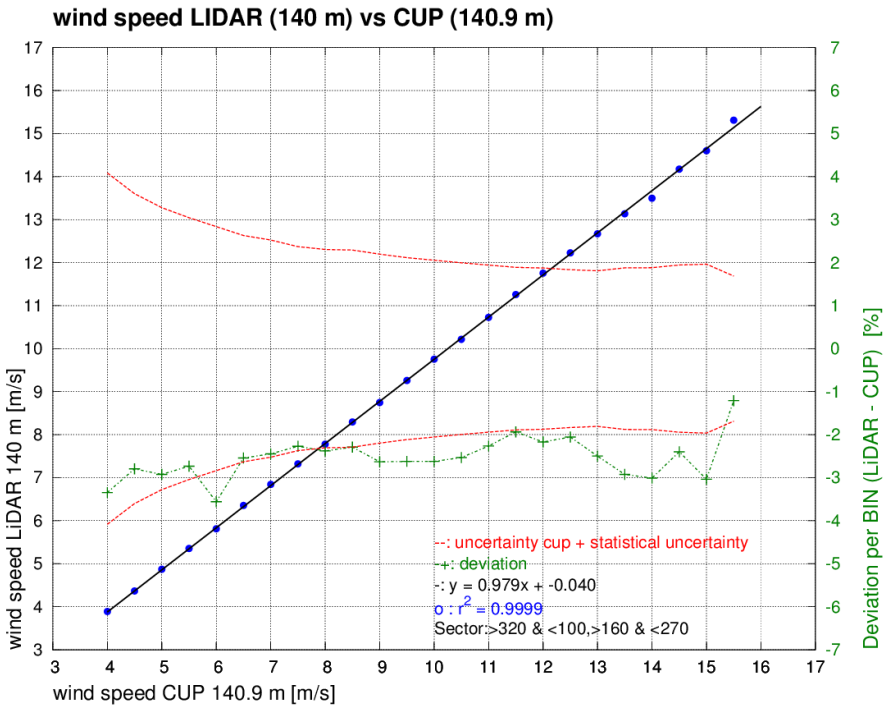


Data Source (ALS data):
Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation

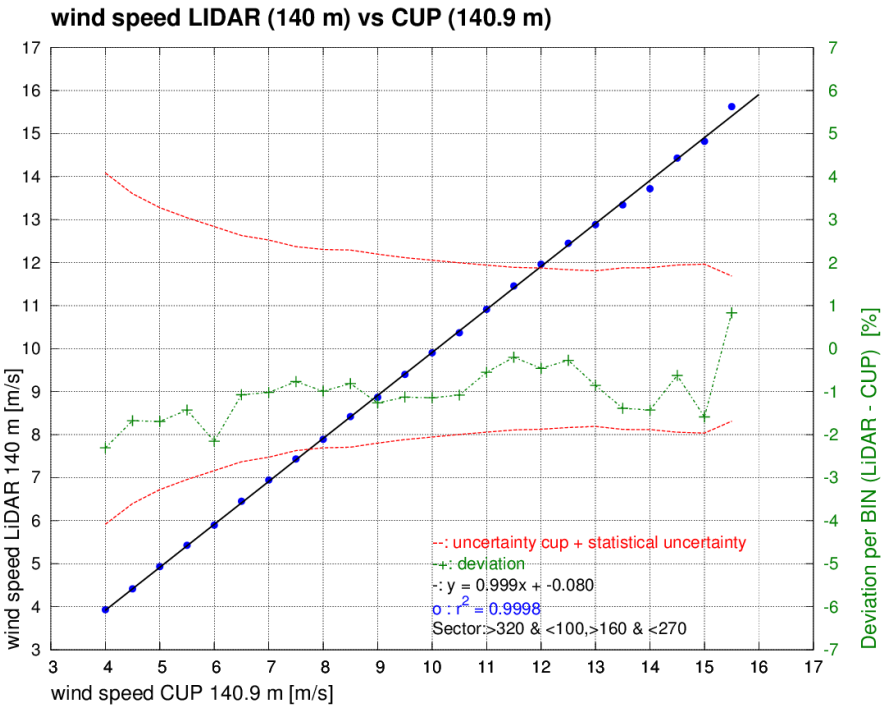
LiDAR-Geländefehlerkorrektur

Validierung

LiDAR – WMM



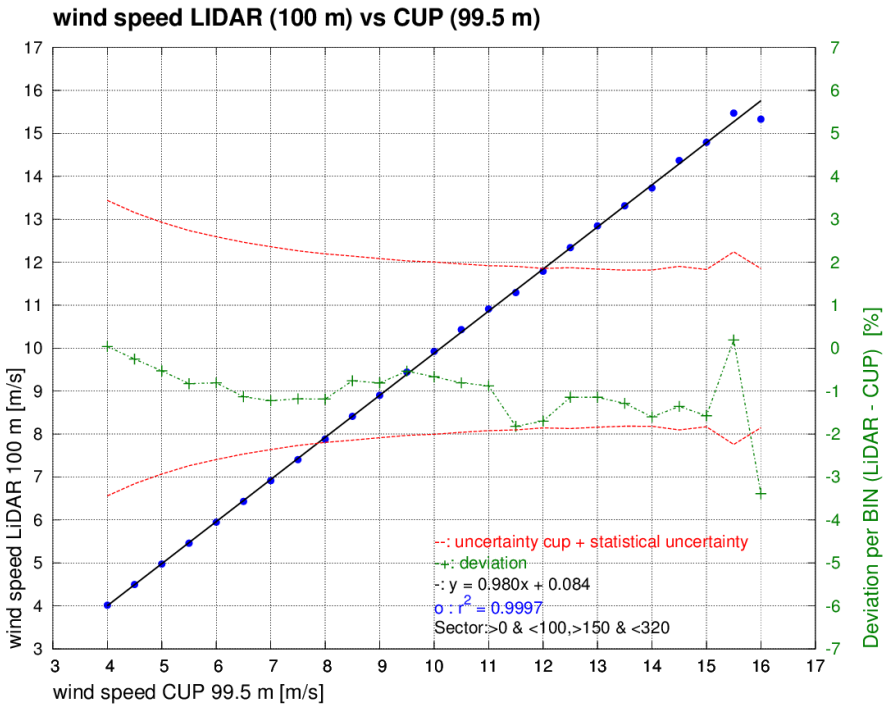
$LiDAR_{korrigiert}$ – WMM



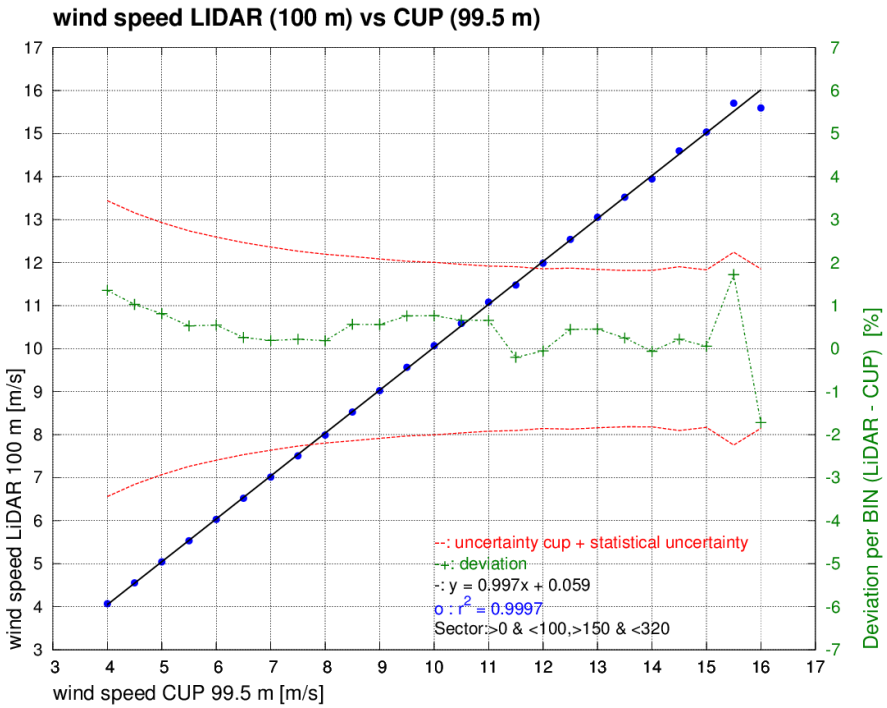
LiDAR-Geländefehlerkorrektur

Validierung

LiDAR – WMM

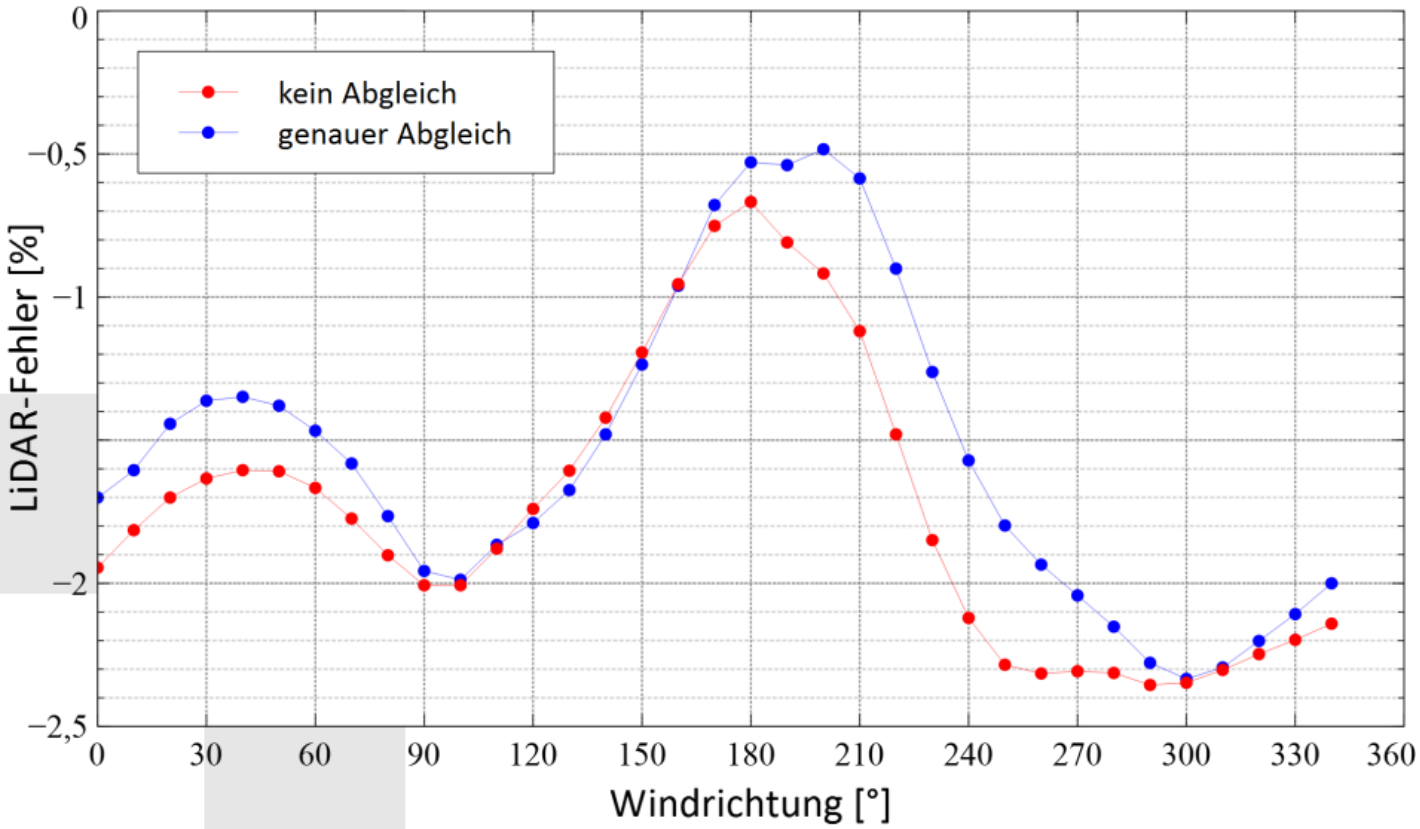


$LiDAR_{korrigiert}$ – WMM



LiDAR-Geländefehlerkorrektur

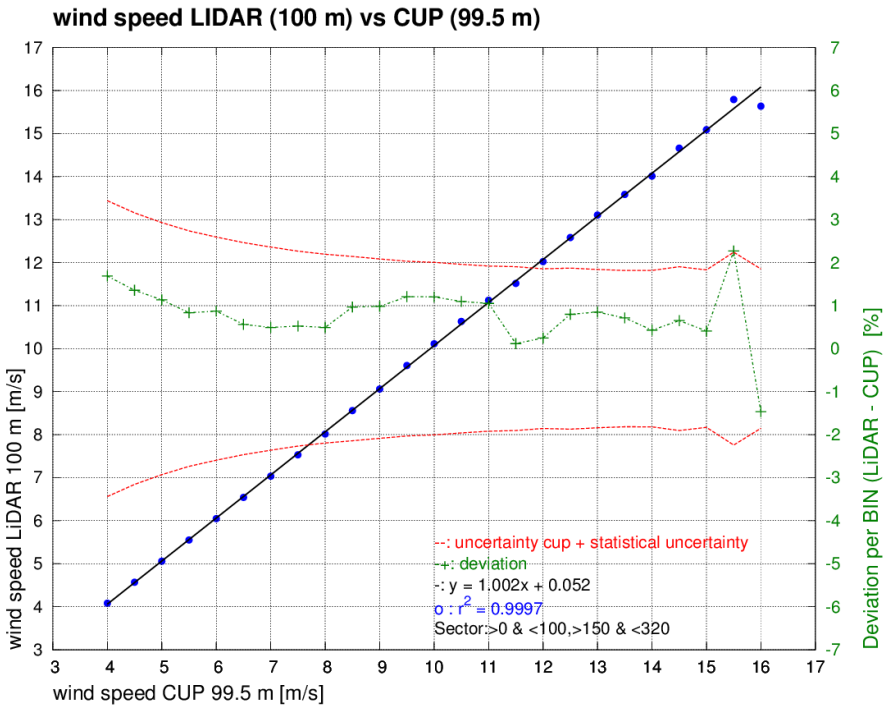
Validierung



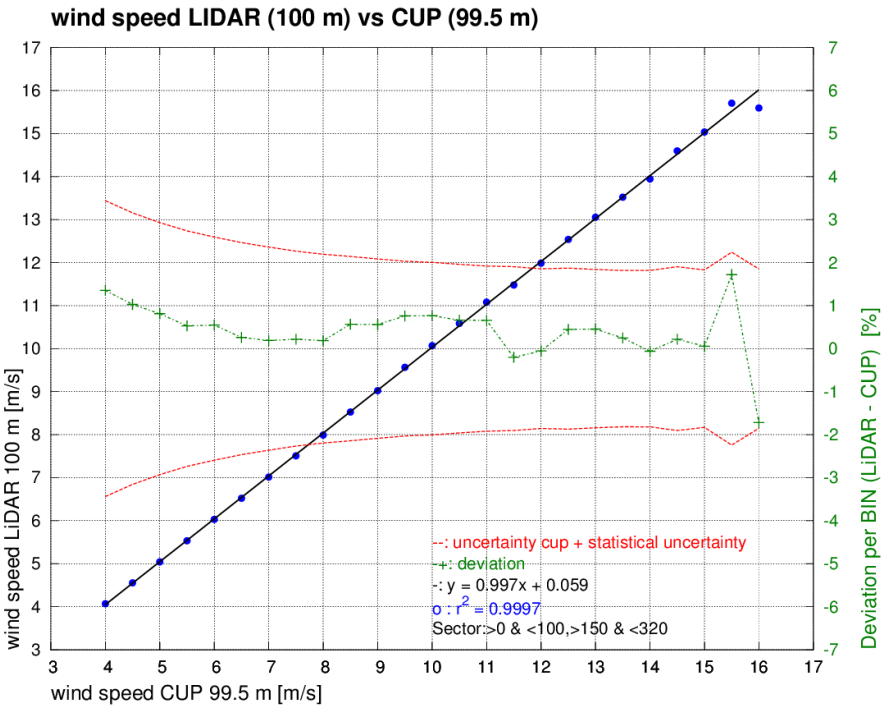
LiDAR-Geländefehlerkorrektur

Validierung

$LiDAR_{korrigiert}$ – WMM (ohne Abgleich)



$LiDAR_{korrigiert}$ – WMM (mit Abgleich)



Richtlinien

IEA Wind Task 32 LiDAR

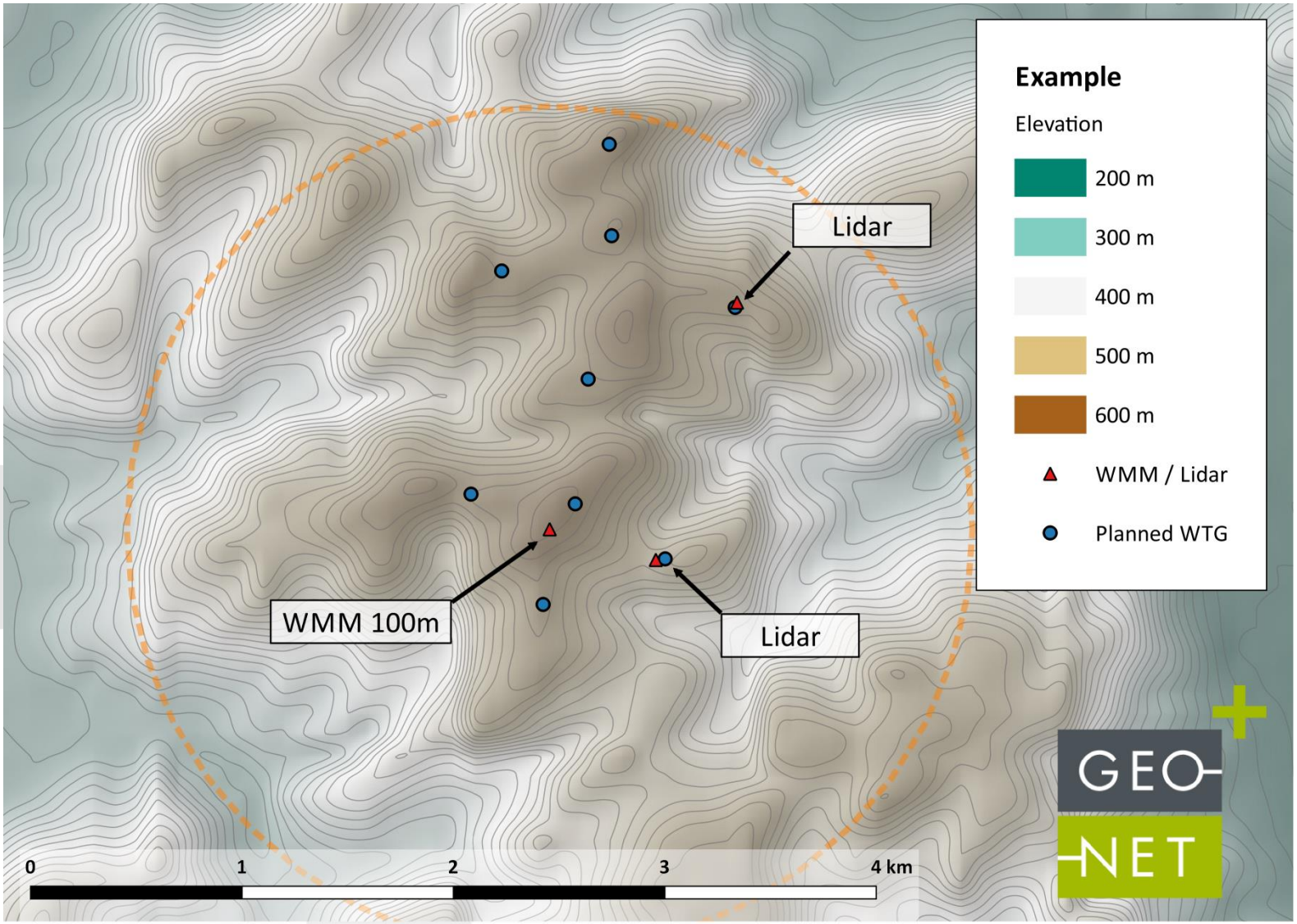
- Recommended Practice 15: Ground-Based Vertically-Profiling Remote Sensing For Wind Resource Assessment
- Remote Sensing of Complex Flows by Doppler Wind Lidar: Issues and Preliminary Recommendations

TR6

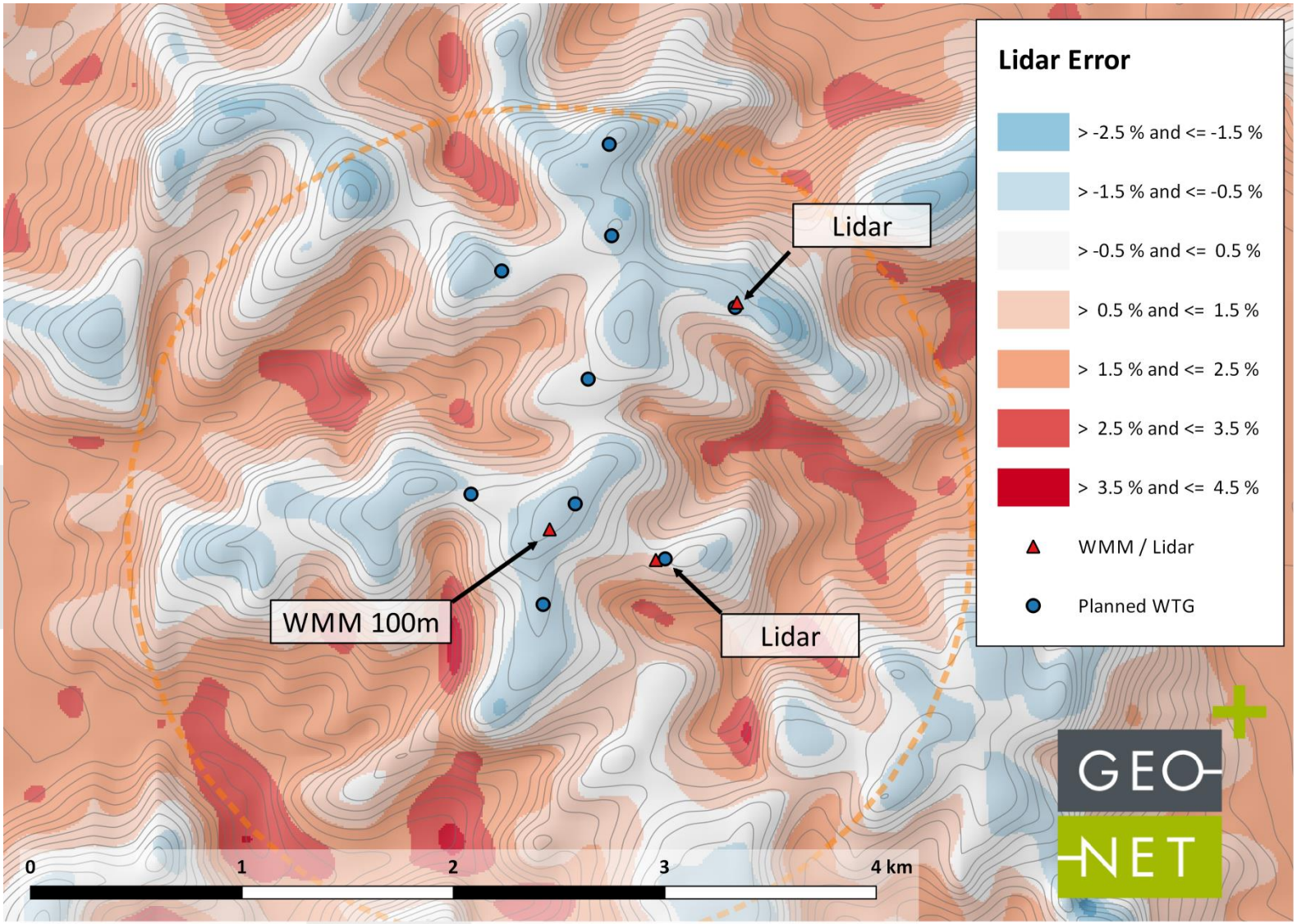
- mindestens Hälfte der Korrektur als Unsicherheit

➢ Ziel: Minimieren der Unsicherheit

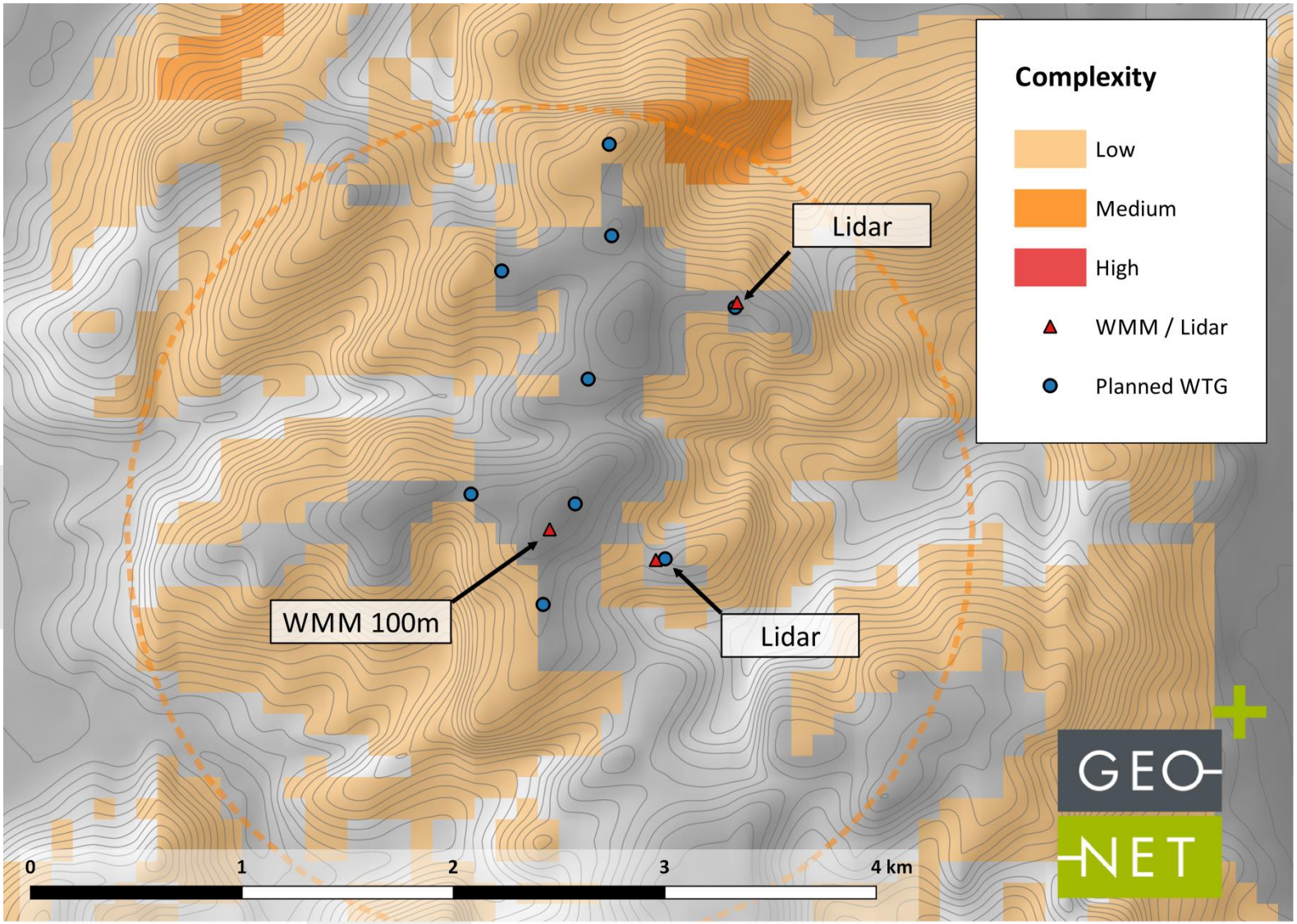
Optimiertes Messkonzept



Optimiertes Messkonzept



Optimiertes Messkonzept



Fazit

- LiDAR-Fehler können durch 3D-Strömungsmodelle vorhergesagt/bestimmt und korrigiert werden
- Zum geeigneten Modell gehören geprüfte Eingangsdaten und richtige Modelleinstellungen
- Einsatz LiDAR bestimmt durch Geländefehler, Komplexität und Anforderungen Richtlinie

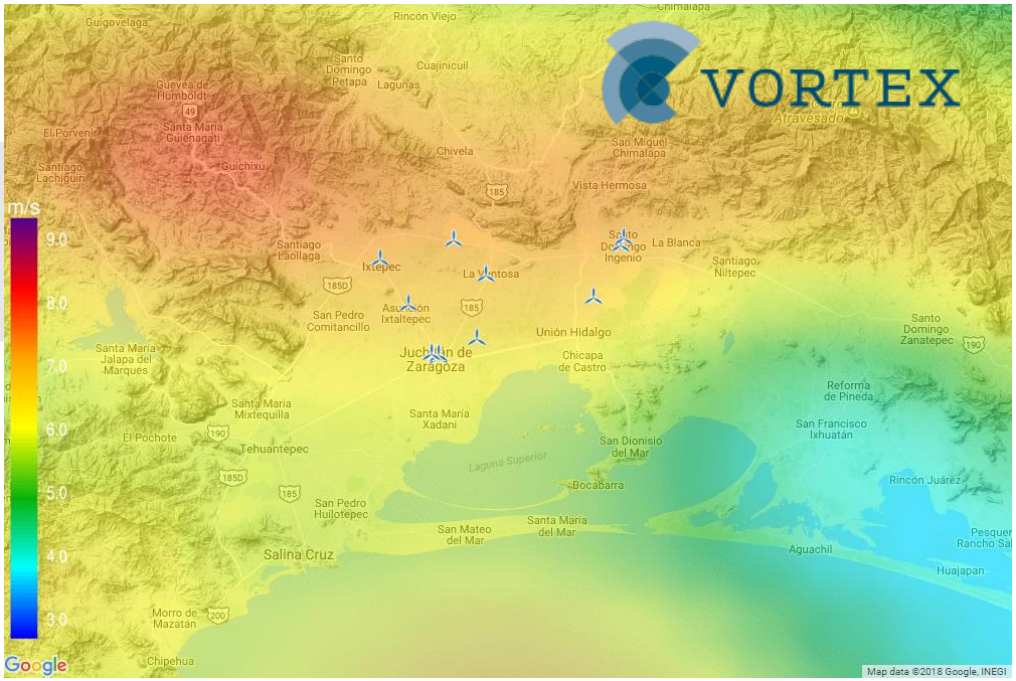
VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

Komplexe Strömung

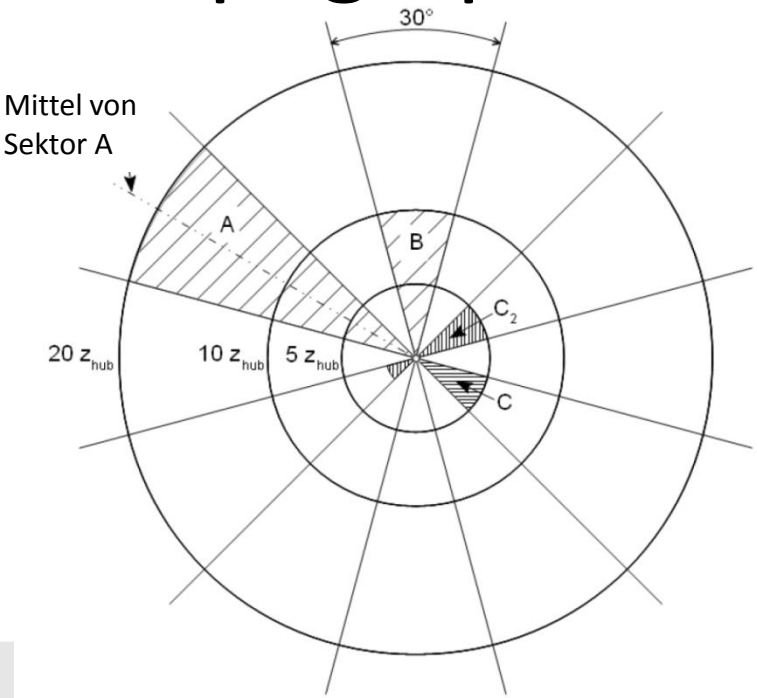
- Gute Windbedingungen, aber komplexes Terrain
- Komplexes Terrain = komplexe Strömung
- Komplexe Strömung = erhöhte Unsicherheit

Indikatoren für komplexe Strömung:

- Ruggedness Index RIX
- Geländeneigung
- Topographische Komplexität (IEC 61400-1 Ed.3 + Ed.4)
- Topographic variation (IEC 61400-12-1)
- Modellierter LiDAR Fehler

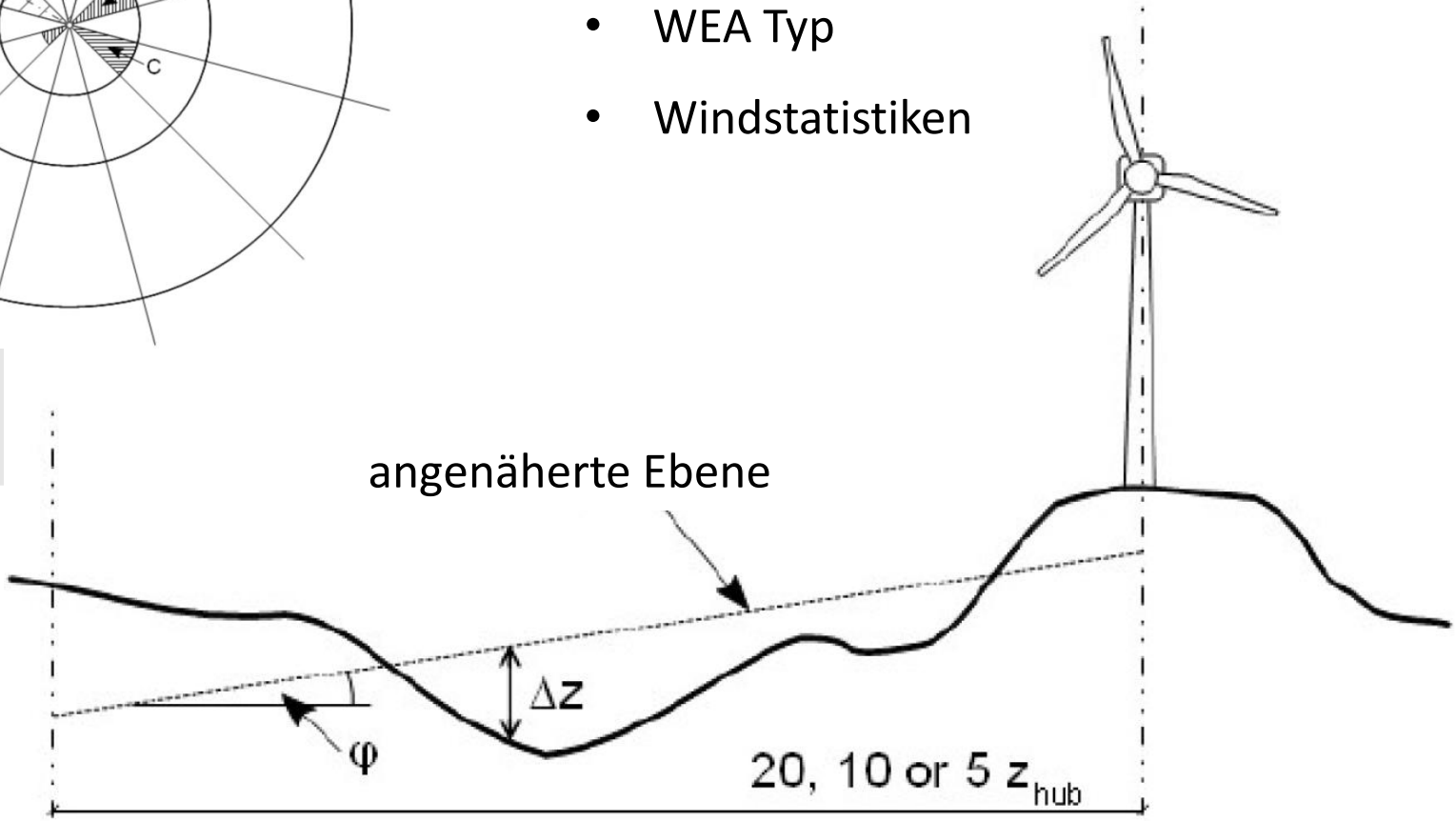


Topographische Komplexität



Input:

- Geländedaten
- Nabenhöhe
- WEA Typ
- Windstatistiken



Topographische Komplexität

$$TSI_{30} = \sum_{i=1}^{12} f_{Energy}(i) \cdot |\theta(i)|$$

$$TVI_{30} = \sum_{i=1}^{12} f_{Energy}(i) \cdot \frac{D_{TV}(i)}{R}$$

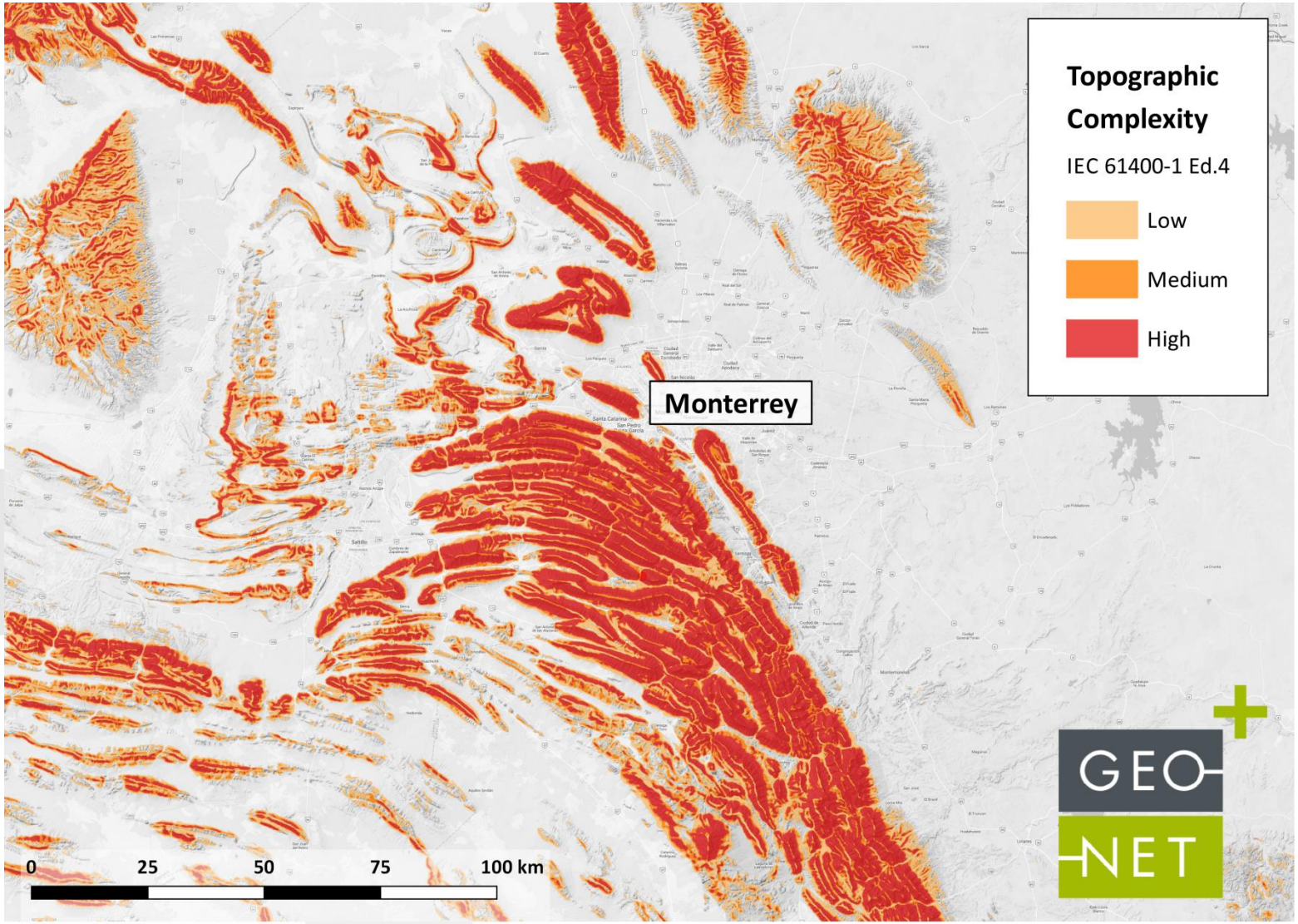
$$TSI_{360} = k_1 \cdot \theta_{360}$$

$$TVI_{360} = \frac{D_{TV360}}{k_2 \cdot R}$$

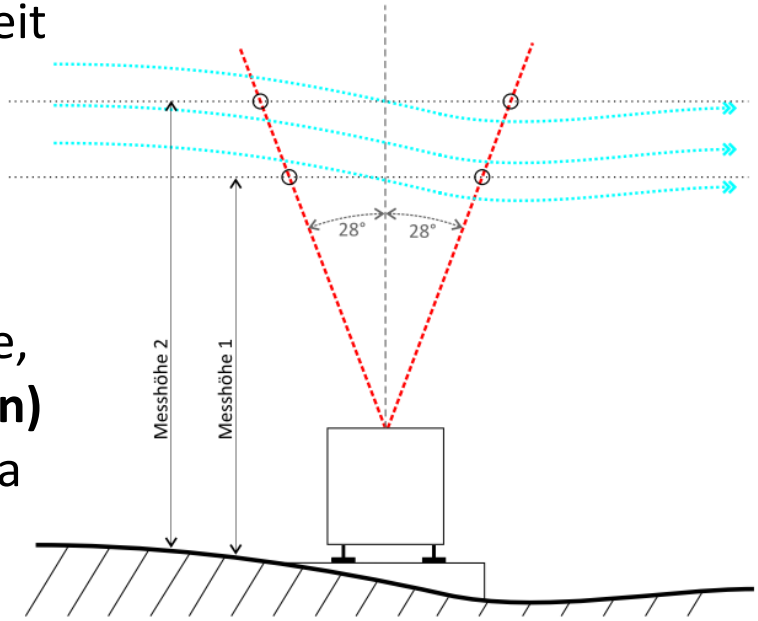
Radius of circle area	Sector amplitude of fitted plane	Threshold values (Lower limit)					
		Terrain slope index (TSI)			Terrain variation index (TVI)		
		L	M	H	L	M	H
5 z_{hub}	360°	10°	15°	20°	2 %	4 %	6 %
5 z_{hub}	30°						
10 z_{hub}							
20 z_{hub}							

IEC 61400-1: Wind energy generation systems – Part 1: Design Requirements Ed.4
Forecast publication date 2018-06-27

Topographische Komplexität



KURZER EXKURS: MESSPRINZIP LIDAR

Laserbasierte Messung der Windgeschwindigkeit

+ Angewiesen auf **Partikel** in der Luft
+ Messung der Windgeschwindigkeit über **Dopplereffekt**
+ Berechnung der Windrichtung durch mehrere, räumlich verteilte Messpunkte **(Messvolumen)**
+ Im **einfachem Gelände** i.d.R. kein Problem, da kaum Unterschiede im Windfeld über das vermessene Volumen auftreten