Spreewindtage 2021

Remote Sensing in komplexem Gelände - neue Einsatzmöglichkeiten

Christiane Montavon, Paul Leask, Wolfgang Winkler

Wolfgang Winkler
Head of Section Project Development & Analytics, Energy Systems, Northern Europe

DNV: Eine globale Beratungsfirma

156	12,000	100,000	100+	5% R&D
Jahre	Mitarbeiter	Kunden	Länder	des Einkommens

Ship and offshore classification and advisory

Energy Systems advisory, certification, verification and monitoring

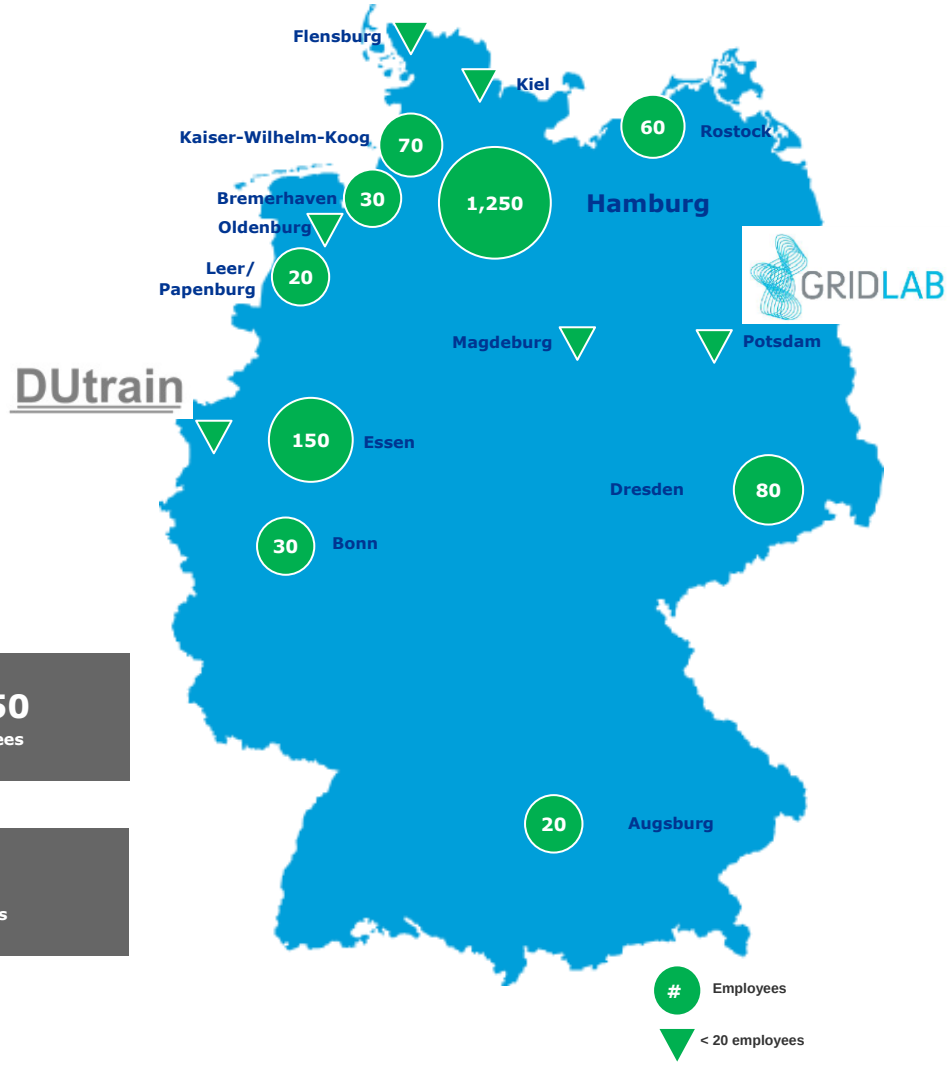
Management system certification, supply chain and product assurance

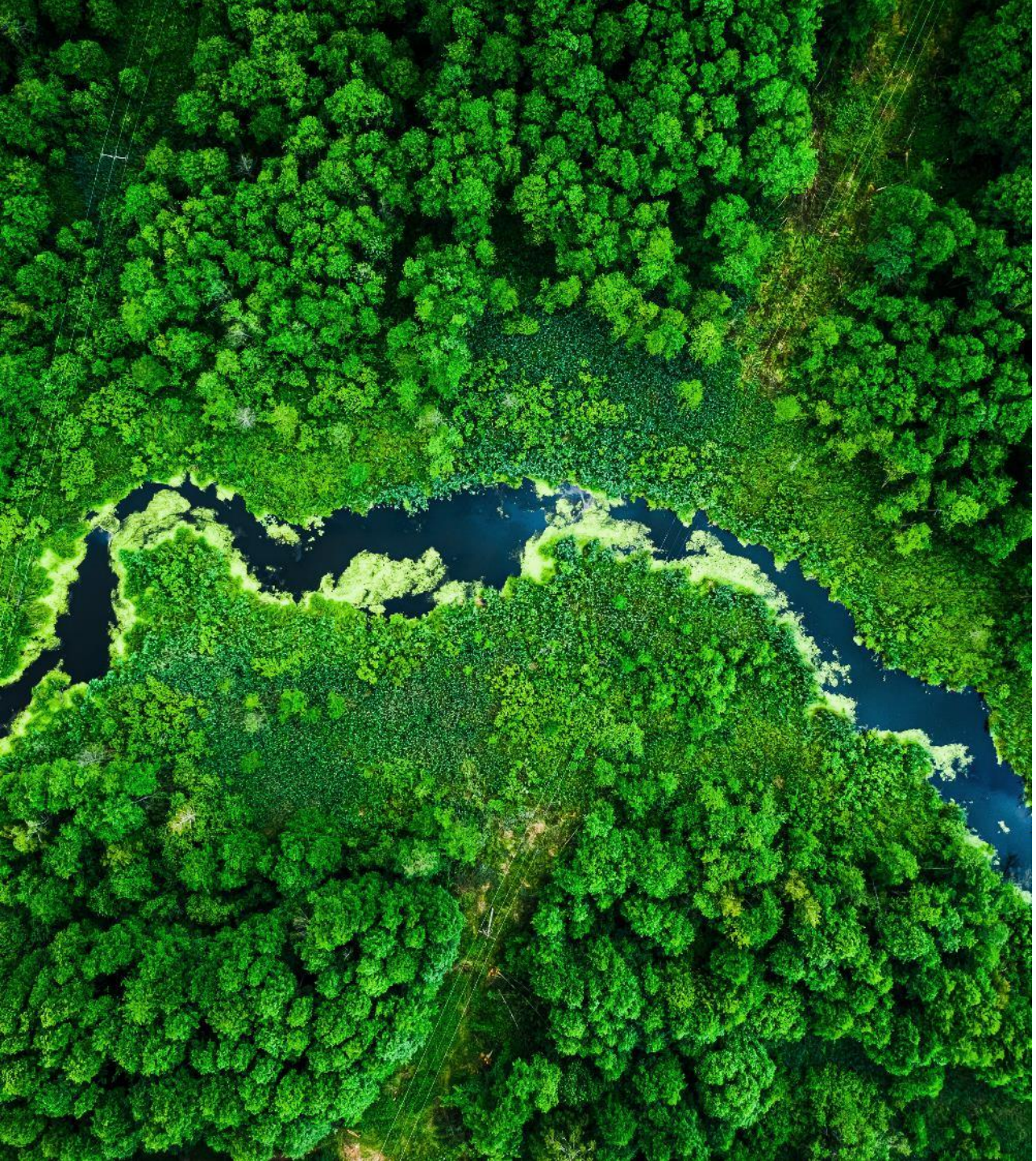
Software and digital solutions

DNV

DNV: Eine globale Beratungsfirma

… mit lokaler Expertise





Eine schnelle Energiewende ermöglichen

- Wir müssen schneller zu einem stark dekarbonisierten Energiesystem übergehen, um die Ziele des Pariser Abkommens zu erreichen
- Dies erfordert technologische und verhaltensbezogene Umwälzungen, enorme Innovationen und Investitionen sowie die Weiterentwicklung von Technologie und Infrastruktur
- Regierungen und Energiewirtschaft müssen erneuerbare Energien auf neue Sektoren ausdehnen und gemeinsam an der Verbreitung von CCS und Wasserstoff arbeiten
- Diese Komplexität erfordert Verständnis und Fachwissen über die gesamte Energiewertschöpfungskette hinweg

DNV

Wir ermöglichen unseren Kunden und ihren Stakeholdern Risiken und Komplexität zu managen

Zertifizieren, verifizieren und testen

anhand von Normen, Spezifikationen und gesetzlichen Anforderungen

Qualifizieren und absichern

neue Technologien, Systeme, Daten, Plattformen, Liefer- und Wertschöpfungsketten

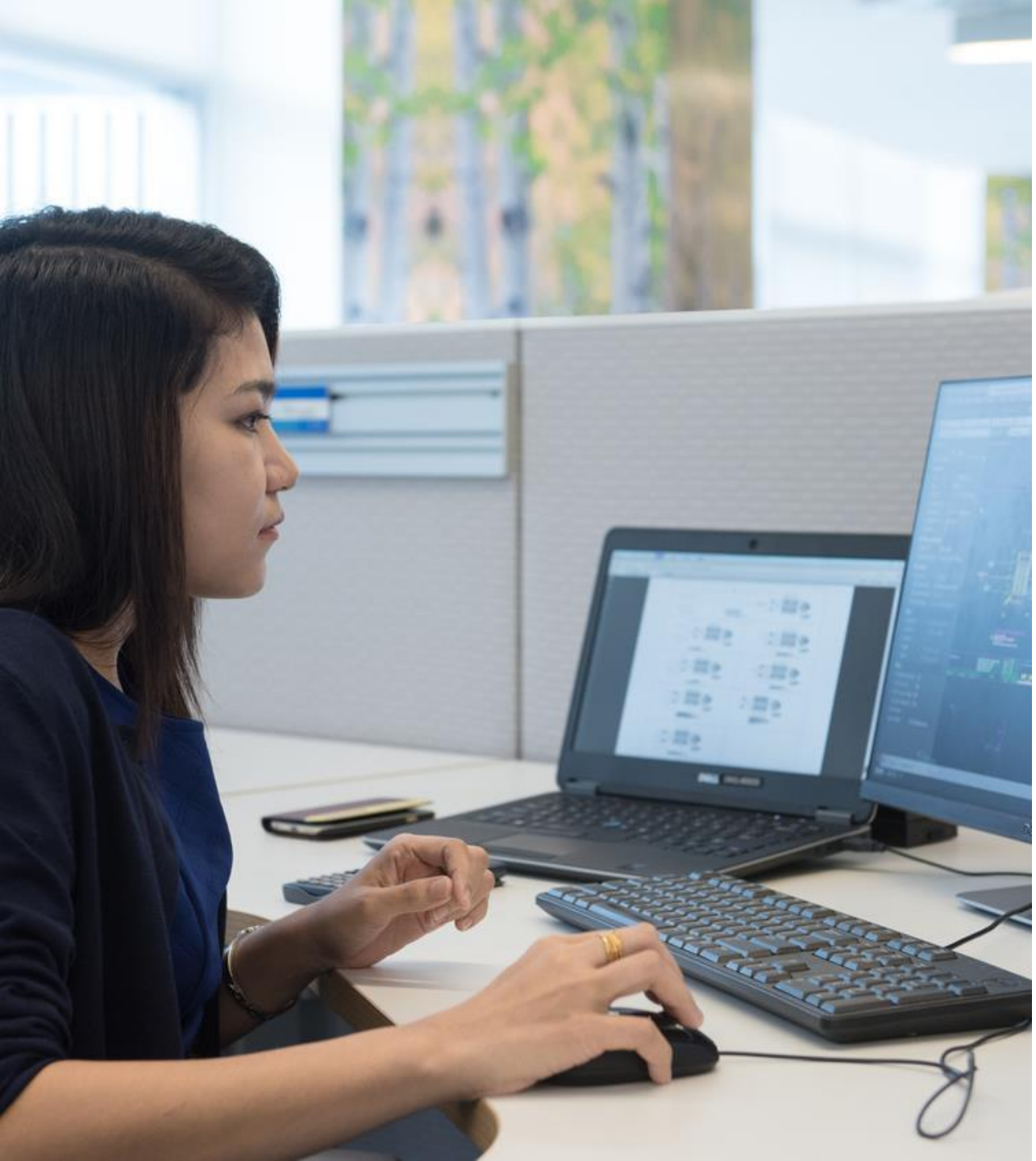
Fachkundigen Rat geben

in Bezug auf Sicherheit, technologische und kommerzielle Risiken und betriebliche Leistung

Mitgestalten und teilen

neue Vorschriften, Normen, Software und empfohlene Verfahren

DNV



Tiefe und breite Expertise

Wind	Solar	Wasserstoff
Energie-speicher	Stromnetze	Energie-nutzung
Öl	Gas	CCS

Renewables Advisory

Analyse, Beratung, Tests, Datenerhebung und zuverlässige Expertenmeinungen für die Märkte der erneuerbaren Energien

- Projektentwicklung
- Projektierung
- Betrieb und Verwaltung von Anlagen
- Messungen
- Unterstützung beim Design von WEA

Kernkompetenzen:

- Onshore-Wind
- Photovoltaik und CSP
- Offshore- und Floating-Wind
- Meeresenergie
- Systeme zur Energiespeicherung
- Regulierung und Marktbeobachtung für erneuerbare Energien
- Datenanalyse
- Prüfung der wichtigsten Solarkomponenten, einschließlich Module, Wechselrichter und Batterien

Unsere Dienstleistungen umfassen:

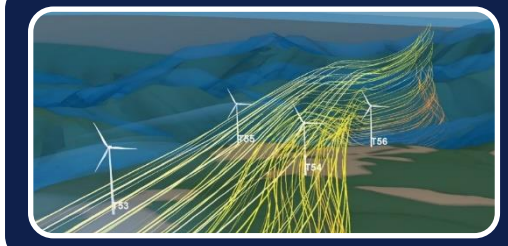
- Energieertragsermittlung für Greenfield und in Betriebe
- Technische Due Diligence
- Kurzzeitvorhersage
- Messungen von (Wind-)Ressourcen- und an WEA
- Unterstützung bei der Entwicklung und Einführung von Technologien
- Software
- Überwachung, Kontrolle, Anlagenverwaltung
- Qualifizierung, Sicherheit und Chargenprüfung

Agenda

01	**DNV CFD Services**
02	Remote Sensing Korrekturen mittels CFD
03	Validierung
04	Zusammenfassung

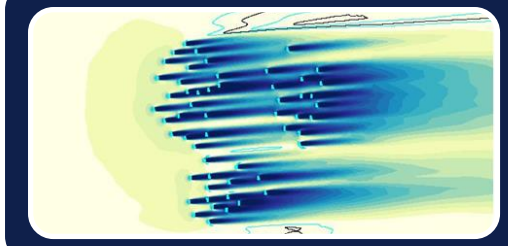
DNV CFD Services

DNV CFD service



Freestream Strömungssimulation→ Räumliche Variation des Windes

- Auswirkung von Gelände/Rauigkeit/Bewaldung
- Berücksichtigung von Stabilitätseffekten



Strömungssimulation im Windpark

- Gesamtverluste der Turbineninteraktion (Blockage und klassischer Windparkeffekt)
- Korrektur für Leistungskurvenmessung

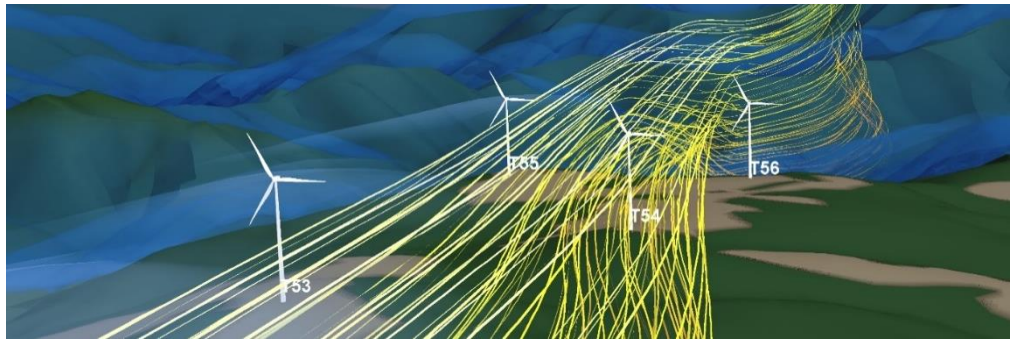
Komplexe Strömungskorrektur für Fernmesssgeräte

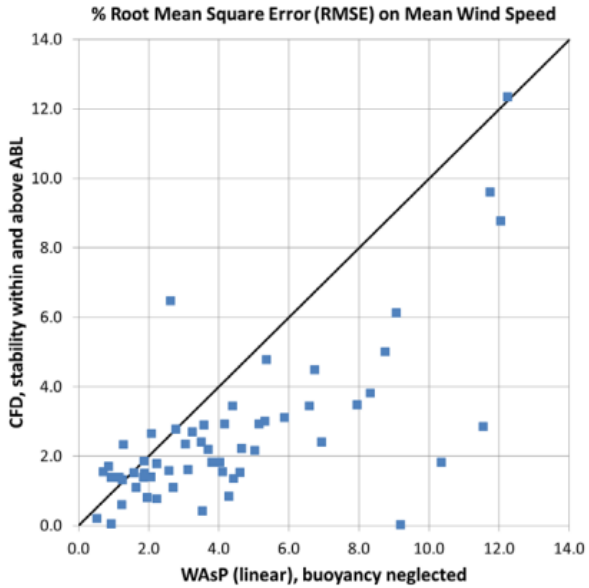
- Technologieunabhängige Korrektur
- Für eine Reihe von vertikalen Lidar/Sodar-Profilern

Gründlich validiert

DNV CFD

- Intern entwickelt bei DNV, basierend auf StarCCM+
  - Modellierung Gelände / Rauigkeit / Waldbestand
  - Berücksichtigung von Stabilitätseffekten in und oberhalb der atmosphärische Grenzschicht
  - HPC Cluster (in der Lage, große Bereiche zu modellieren mit engmaschigem Gitternetz)
- Systematisch validiert
  - An über 200 Standorten mit Mast-Mast Modellierungsvergeichen
  - An über 12 Standorten für RS-Mast Korrekturverfahren -> TR6 Konform





DNV Validierung, externe Blindstudien

- **E.ON 2013: DNV CFD insgesamt am genauesten**
  - Ungefähr 8 Windparks, Dutzende von Cross-Predictions
  - Ungefähr 5 Teilnehmer
  - Alte Version von DNV CFD
- **EDF 2018: DNV CFD insgesamt am genauesten**
  - 4 Windparks, Hunderte von Cross-Predictions
  - Ungefähr 5 Teilnehmer
  - Derzeitige Version von DNV CFD
  - Zwei Fehlermetriken: Directional Speedups und All Direction Speedups (MWS)
  - DNV Erste in MWS.
  - DNV Erste in Directional Speedups, wenn wir Cross-Prediction-Distanzen herausfiltern, die > 30 km sind (wo mesoskalige Effekte zunehmend signifikant werden)

Remote Sensing Korrekturen mittels CFD

Remote Sensing (RS) / Fernmessverfahren – LiDAR und SoDAR

Vorteile

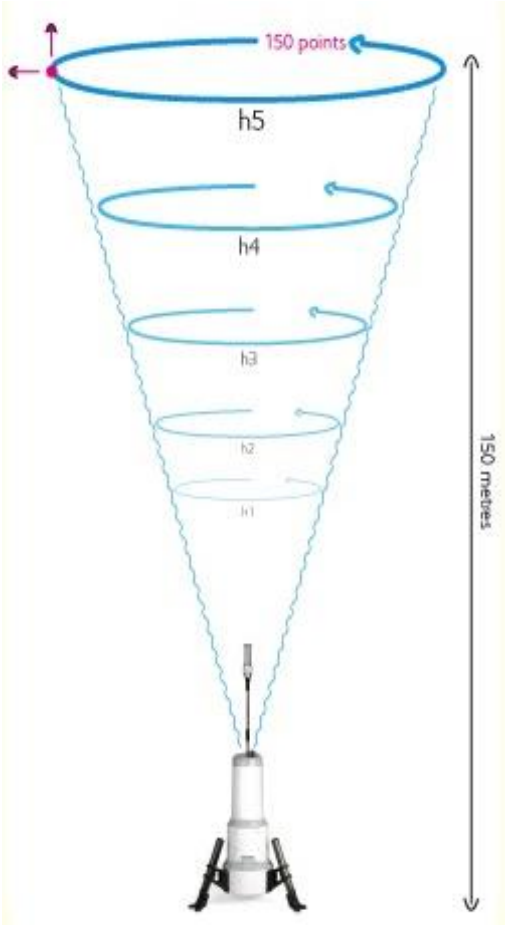
- Genaue Vorhersagen bei Energieertragsermittlungen
- Einfacher Installation und Flexibilität
- Messungen sind in großen Höhen möglich
- Geringeres Unfallrisiko im Vergleich zu Windmessmasten

Herausforderungen

- Windgeschwindigkeitsunterschiede zu Schalensternanemometern, besonders in komplexem Gelände
- Turbulenz unterschiedlich zu Schalenanemometern

SODAR
Triton Sodar, courtesy Second Wind Inc

LIDAR
ZephIR Z300, courtesy Natural Power



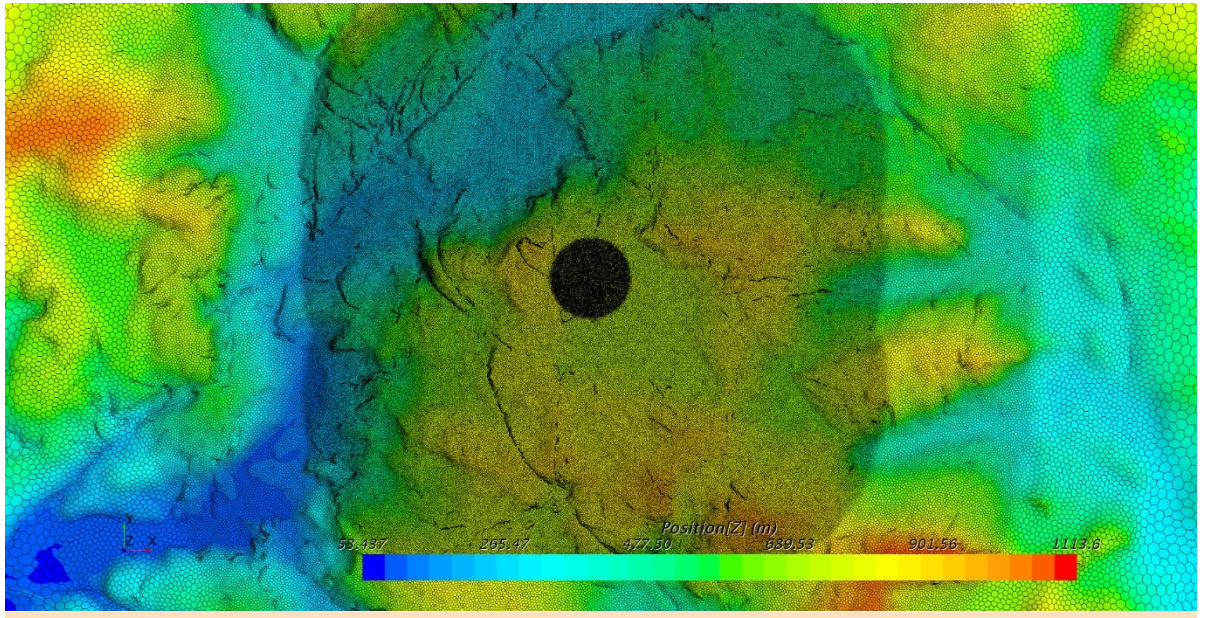
LIDAR

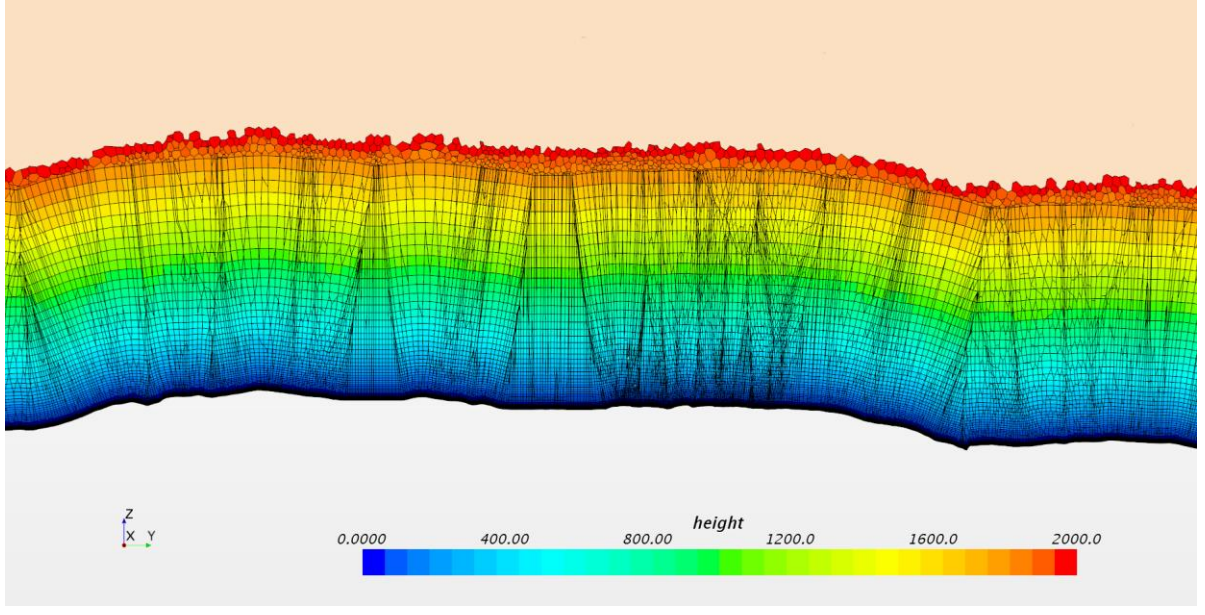
Beispielhafte Simulation Set Up

- Topographische Eingangsdaten (typisch 12,5 x 12,5 m)
  - Höhenprofil
  - Rauigkeit
  - Wald

- Auflösung in Simulation:
  - variabel, mit 10m horizontaler Auflösung in Mastnähe/Lidar, dann progressive Vergröberung (Regionen mit 25m, 50m , 100m Auflösung, Hintergrund Auflösung 200m)

  - Erste Zellenhöhe: 2m
  - Simulation in der gesamten Grenzschicht





Remote Sensing in komplexem Gelände - Korrektur Mittels CFD

- Was wird geliefert:
  - Windrichtungsabhängige Korrekturfaktoren aus der CFD-Simulationen
  - Abschätzung der Messunsicherheit vor und nach der Korrektur

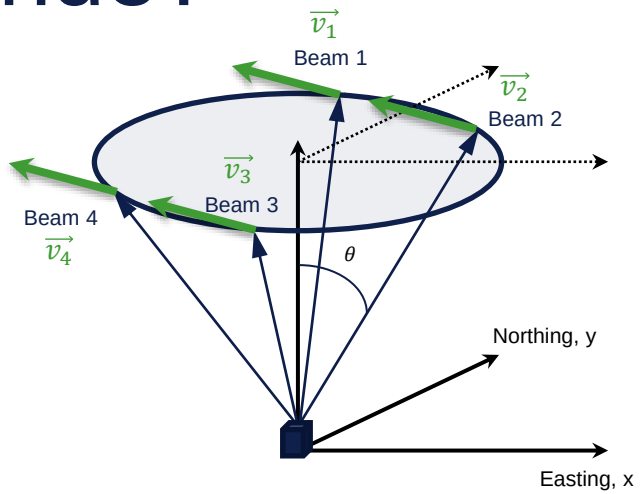
- Die Korrekturfaktoren werden mit gerätespezifischer Rekonstruktionsmethode berechnet

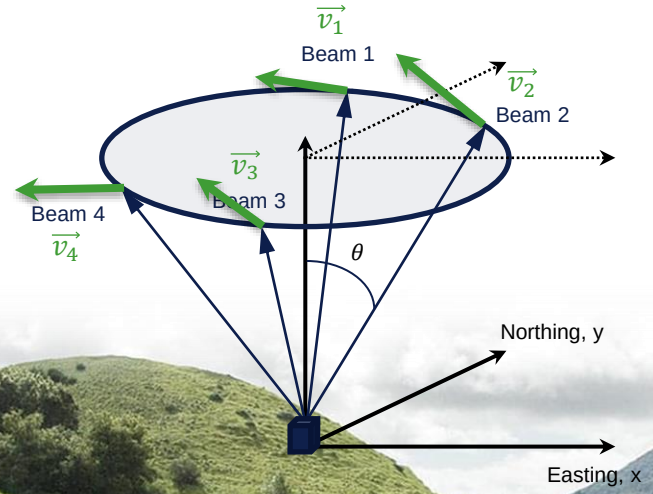
- Die folgende Remote Sensing Rekonstruktionsmethoden sind implementiert und validiert:
  - LiDARs (WindCube, ZX, Diabrezza)
  - Sodars (Triton, Fulcrum 3D, in Vorbereitung: AQS 500/510)

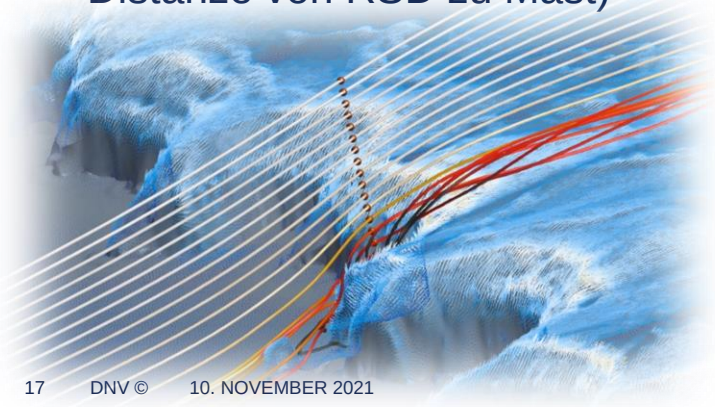
Kontaktieren Sie uns bitte, wenn Sie andere Gerätetypen haben!

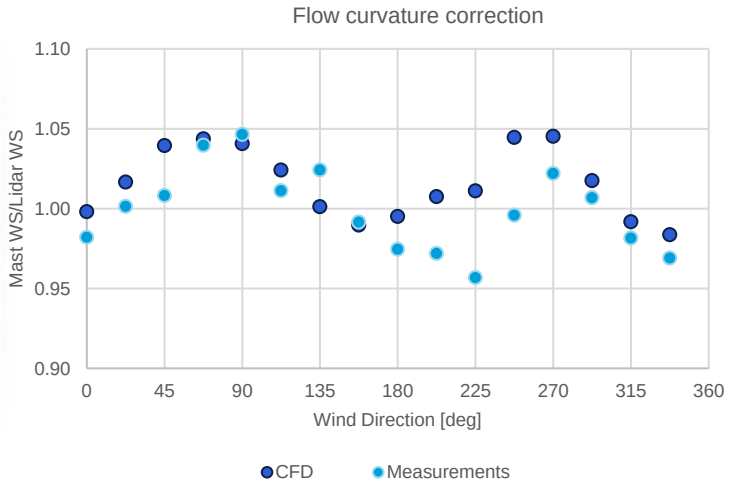
Remote sensing bei komplexem Gelände?

- Messprinzip: Annahme: homogene Strömungsverhältnisse bei gegebener Höhe
- Realität im komplexen Gelände: Änderung im Messvolumen (über den Kegel und entlang des Strahls, Strömung gekrümmt)
  - ➢Fehler aus Homogenitätsannahme
- CFD wird zur Korrektur für diese Effekte verwendet
  - ➢Windrichtungsabhängige flow curvature correction factors (FCC) from CFD simulations
  - ➢Windrichtungsabhängigen RSD / Mast Speedups (wenn relevante Distanze von RSD zu Mast)









Validierung

Validierung an mehrere Standorten

- Abgeschlossene Validierung:
  - ZX - 6 Standorte (alle Europa)
  - WindCube – 3 Standorte (2 Japan, 1 Australien)
  - Diabrezza – 1 Standort (Japan)
  - Sodar – 2 Standorte (Australien)

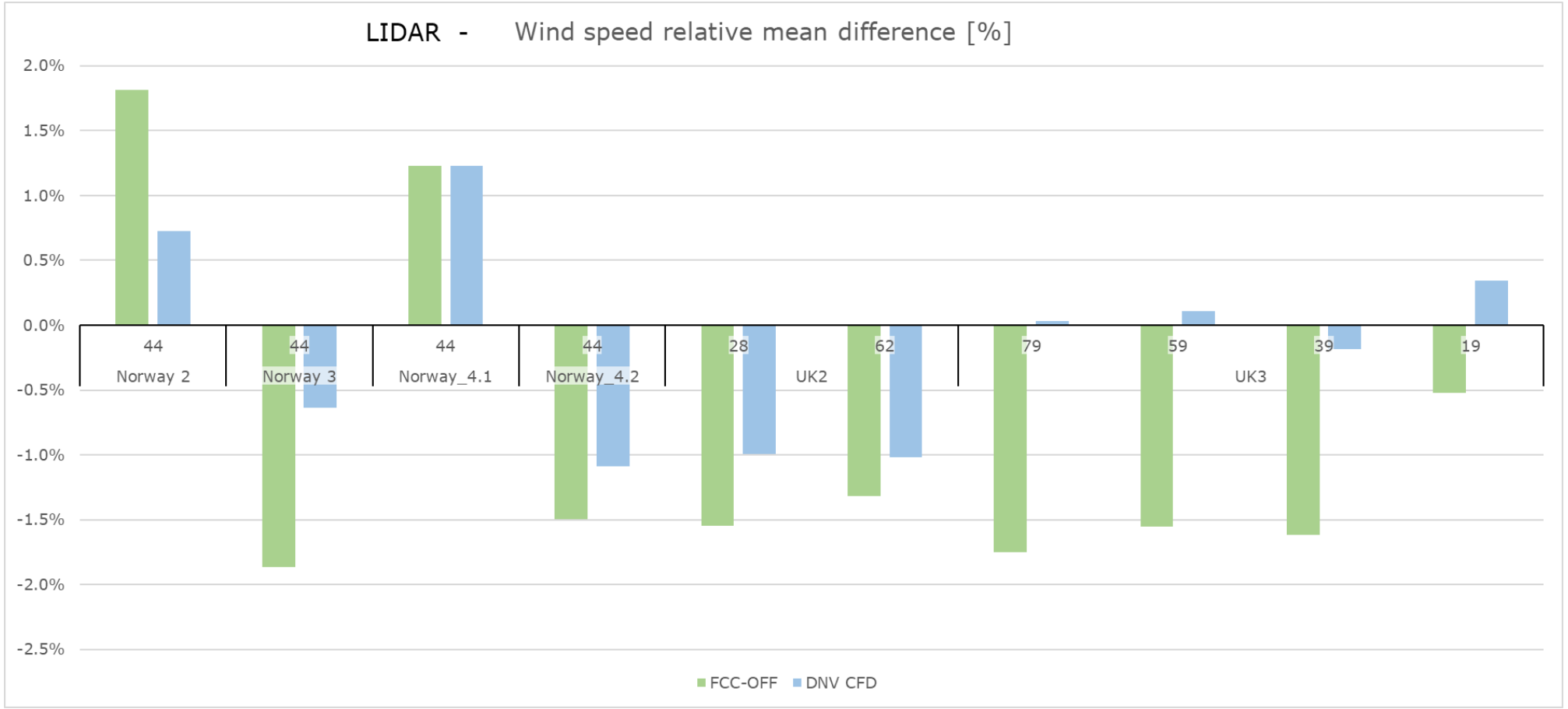
Eine Validierung an mehreren Standorten ist wichtig um sicherzustellen, dass das Modell unter verschiedenen Windbedingungen funktioniert

- Laufende Validierung:
  - ZX – 1 weiterer Standort (Spanien)
  - WindCube – 5 Standorte (3 Europa, 1 USA, 1 China)
  - AQS 500 / 510
- Weitere folgen…

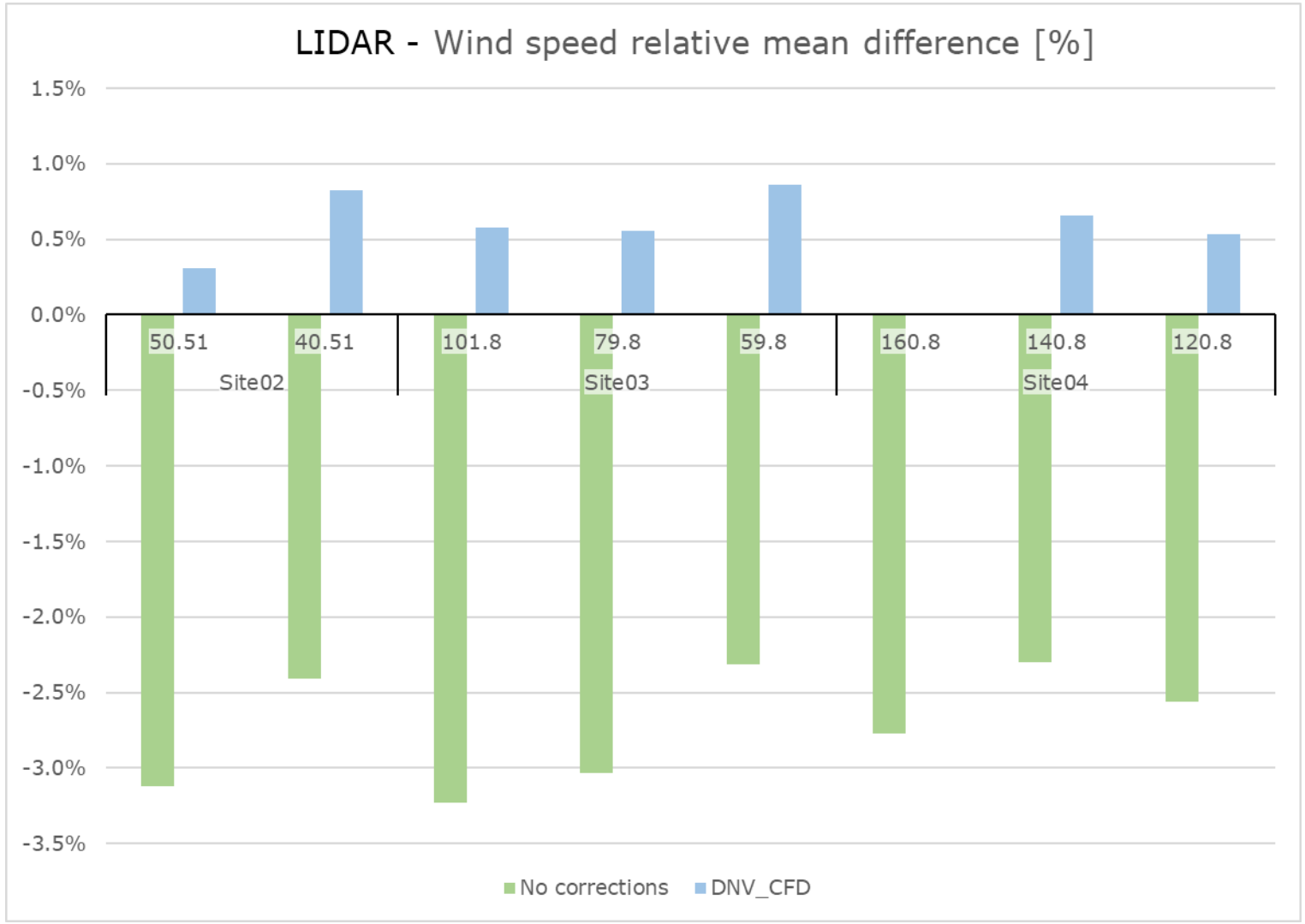
- **Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeitsdifferenz**
- Abweichung der Steigung von 1
- Korrelationskoeffizienz R^2 des Vergleichs

Validierung für ZX

- Vergleich der Windgeschwindigkeitsdifferenz vor und nach der CFD-Korrektur

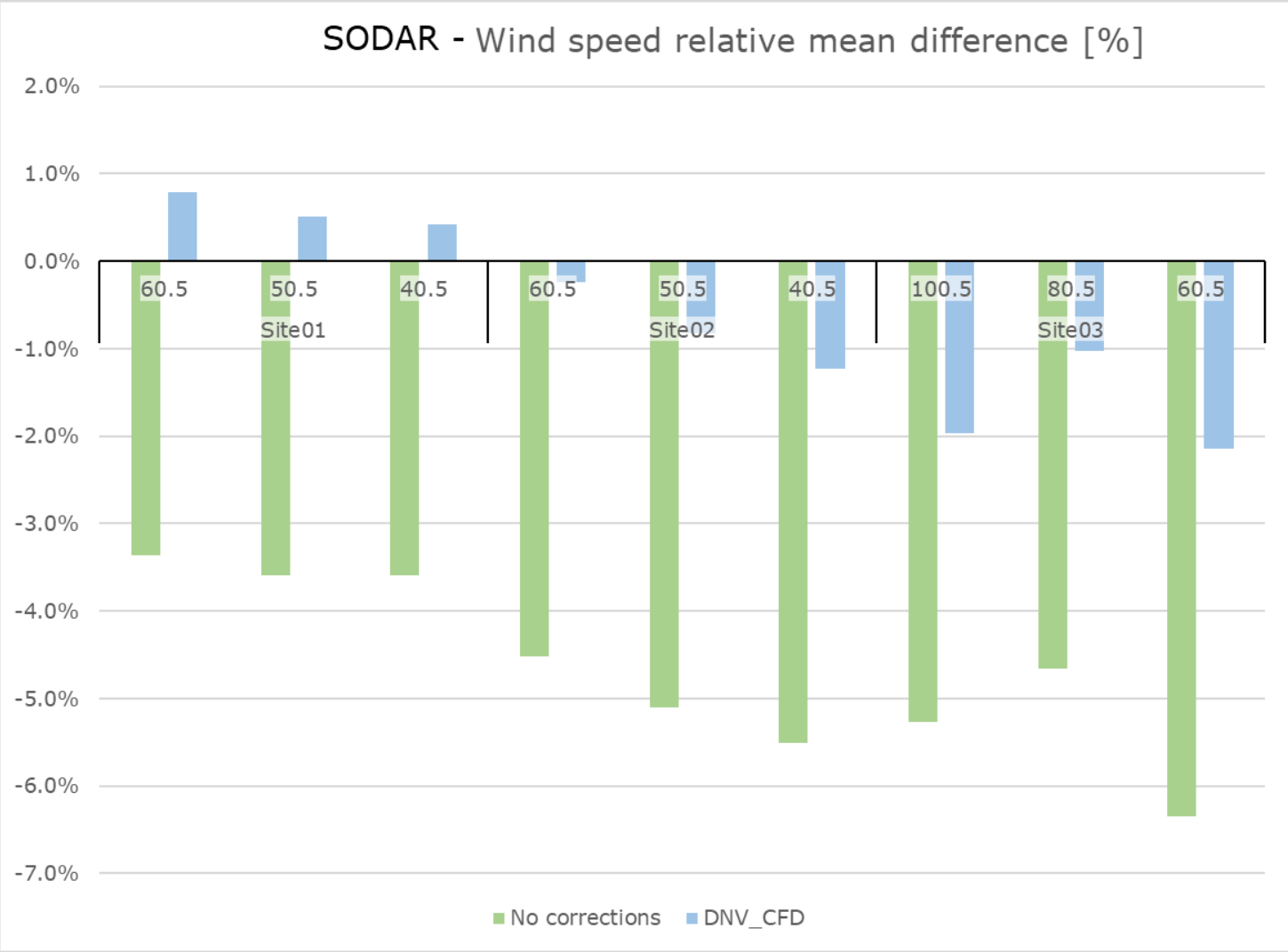


Validierung für WindCube



- Die WindCube unterschätzt die Windgeschwindigkeiten an diesen Standorten deutlich
- Die CFD-Korrektur überschätz tendenziell die Korrektur leicht (ca. 0.5%)
- Alle Ergebnisse nach der Korrektur sind innerhalb der Messunsicherheit von Schalensternanemometer

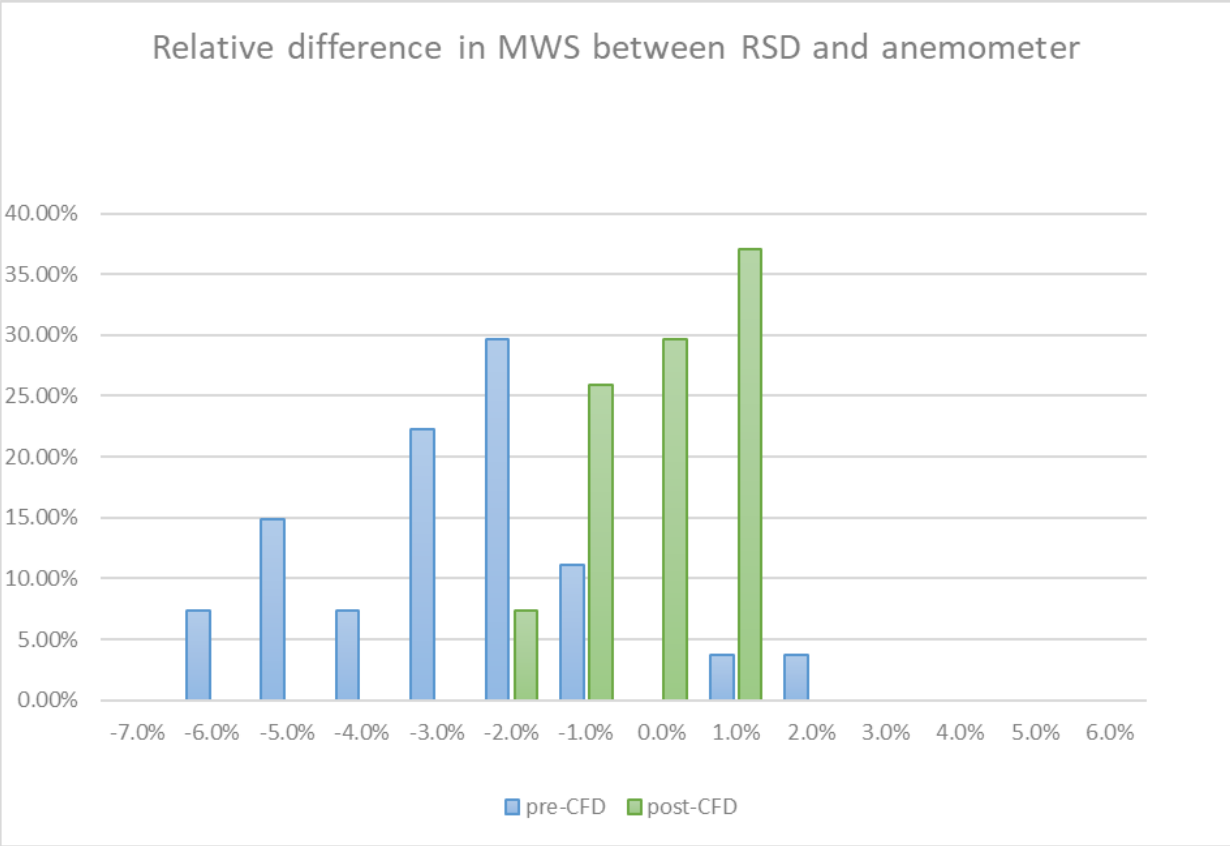
Validierung für SODAR



- Große Unterschätzung der Windgeschwindigkeiten (im Durchschnitt 4.7%) bei SoDAR-Geräten
- Mit CFD Korrektur Ergebnisse deutlich verbesserte Übereinstimung.

Zusammenfassung

Zusammenfassung – Verteilung der Unterschiede vor CFD und nach CFD



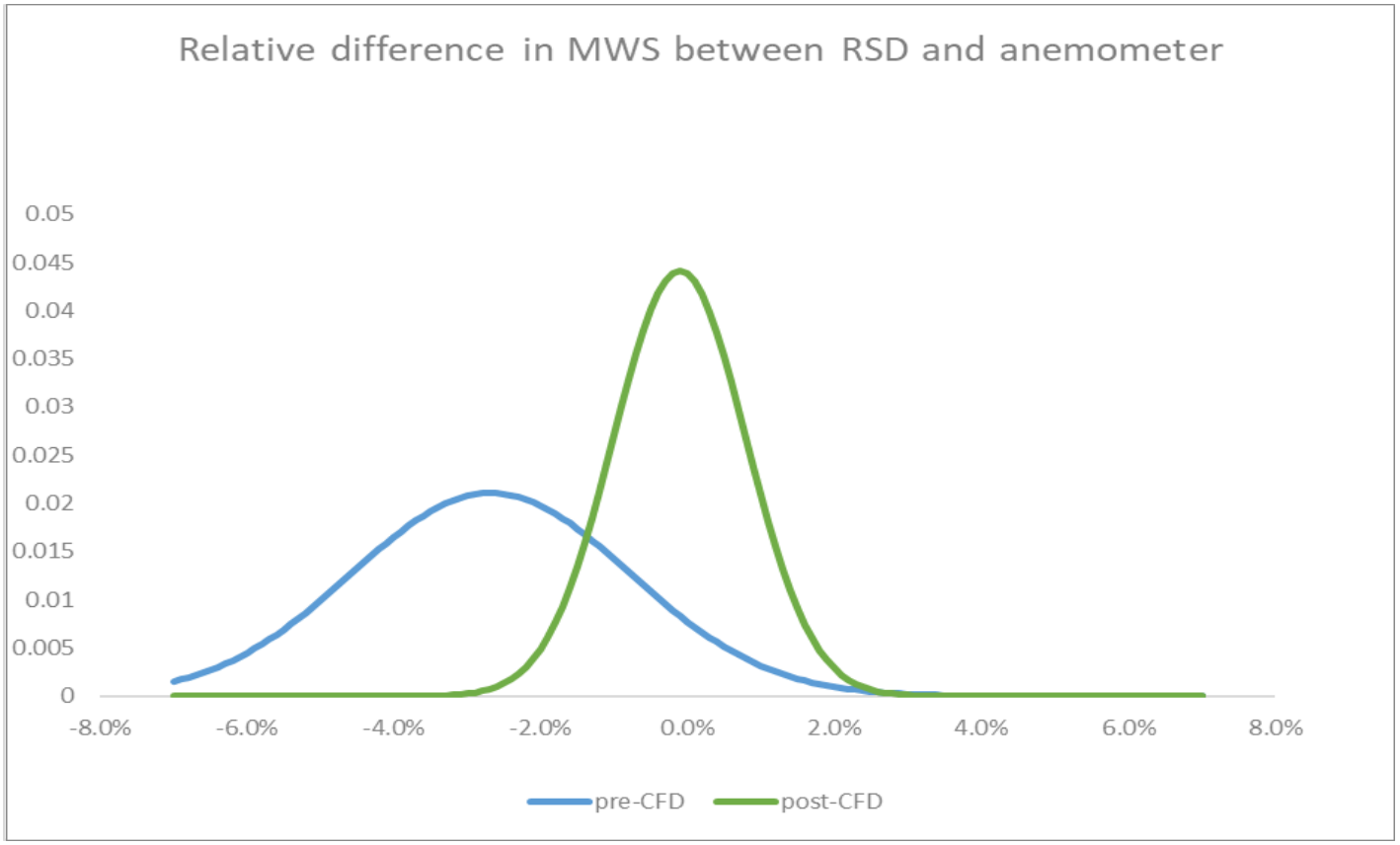
CFD-Korrektur:

- Verringert deutlich die Tendenz zu Unterschätzung der Windgeschwindigkeiten zwischen Remote Sensing Gerät im Vergleich zu Schalensternanemometern
- Verringert die Standardabweichung der Verteilung

Vorbehalt:

1. **Kleiner Datensatz!** Verteilung wird sich wahrscheinlich mit zunehmender Größe des Datensatzes verändern.
2. Die Tatsache, dass Remote Sensing vor der Korrektur, im Durchschnitt, niedrigere Windgeschwindigkeiten als die Anemometer aufweist, ist auch beeinfluss davon, dass die Sodargeräte in der Validierungsdatensatz tendenizell auf Anhöhen angebracht wurden.

Zusammenfassung – Verteilung der Unterschiede vor CFD und nach CFD



	pre CFD	post CFD
Mittelwert	-2.7%	-0.1%
Standardabweichung	1.9%	0.9%

CFD-Korrektur:

- Verringert deutlich die Tendenz zu Unterschätzung der Windgeschwindigkeiten zwischen Remote Sensing Gerät im Vergleich zu Schalensternanemometern
- Verringert die Standardabweichung der Verteilung

Vorbehalt:

1. **Kleiner Datensatz!** Verteilung wird sich wahrscheinlich mit zunehmender Größe des Datensatzes verändern.
2. Die Tatsache, dass Remote Sensing vor der Korrektur, im Durchschnitt, niedrigere Windgeschwindigkeiten als die Anemometer aufweist, ist auch beeinfluss davon, dass die Sodargeräte in der Validierungsdatensatz tendenzell auf Anhöhen angebracht wurden.

Ergebnisse

- Von 37 Vergleiche, zeigten
  - 34 eine verbesserte Übereinstimmung zwischen den Remote Sensing Gerät und Anemometer
  - 2 eine vernachlässigbare Änderung
  - 1 eine verschlechterte Übereinstimmung

- Im Durchschnitt wurde die Abweichung zwischen Remote Sensing Gerät und Anemometer um 75% reduziert

➢ **die Einsatzmöglichkeiten für RS im komplexen Terrain werden deutlich erweitert bzw. Unsicherheiten reduziert.**

Siehe auch: DNV website

Vielen Dank!

Wolfgang.Winkler@dnv.com
Christiane.Montavon@dnv.com
Paul.Leask@dnv.com

Details werden auch auf der DNV website gezeigt.

www.dnv.com