

Modellgestützte Ermittlung der Umgebungsturbulenz



Potsdam,
11.11.2021

Carsten Albrecht



Überblick

- ✓ Motivation Standsicherheitsnachweis in Deutschland
 - ✓ Beispiele für gemessene Umgebungsturbulenzen
 - ✓ Modellierungsansätze
- ✓ Umgebungsturbulenz in meteodyn WT
 - ✓ Bisheriger Ansatz bei AL-PRO
 - ✓ Neue Möglichkeiten durch neue Eingangsdaten
 - ✓ Neue Möglichkeiten durch Verbesserungen in WT
 - ✓ Neuer Ansatz bei AL-PRO
- ✓ Ergebnisse
- ✓ Zusammenfassung



DIN EN ISO 9001
REG.-NR. 01 0116050

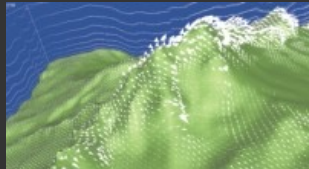


Deutsche
Akkreditierungsstelle

Akkreditierungsstelle
DEUTSCHES

AL-PRO

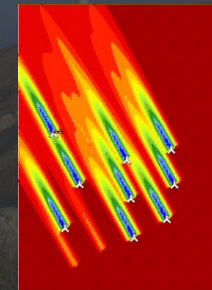
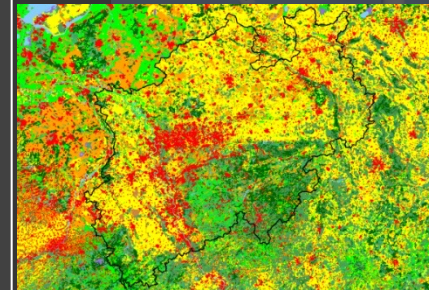
- Gegründet in 2001
- Consulting in mehr als 1000 Windprojekten – Weltweit
- Spezialisiert auf meso- und mikroskalige 3D-Strömungsmodellierung
- Akkreditierte LiDAR Wind



Akkreditierte
Windgutachten
Erlösgutachten
Potenzialstudien
Auswertung von
Windmessungen
Turbulenzbestimmung

D
Rü
Schall- und Schattenwurfgutachten
Visualisierungen
GWS® - GLOBAL WINDMAPPING SERVICE
GMS Kurzzeitprognosen für
Windparks

ferienwetter24.de

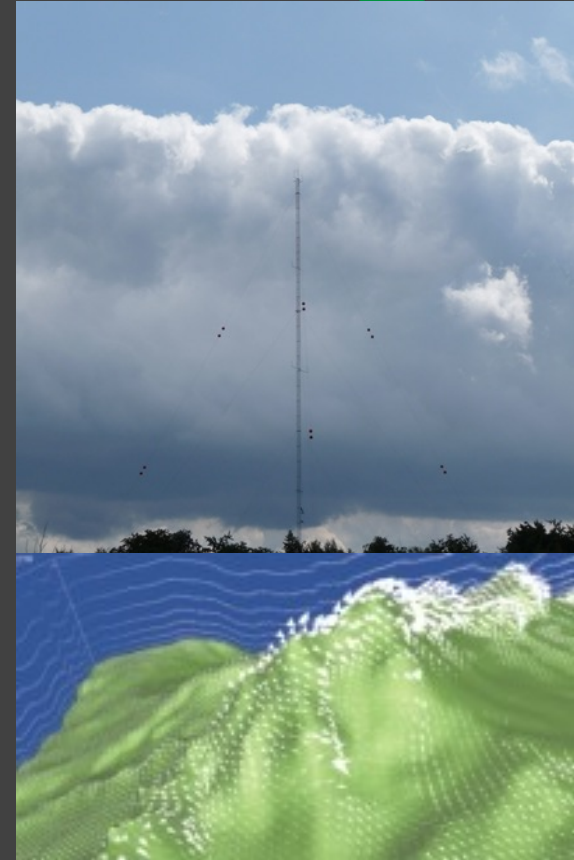


Deutsche
Akkreditierungsstelle

Akkreditierungsstelle
DEUTSCHE

Standortsicherheitsnachweise in Deutschland

- ✓ Im Gegensatz zu Projekten im Ausland stehen in Deutschland üblicherweise keine Messungen zur Verfügung, erst recht keine für die Turbulenzbestimmung geeigneten.
- ✓ Umgebungsturbulenz muss über Modellansätze bestimmt werden
- ✓ Im Gegensatz zur Nachlaufturbulenz erfolgt die Bestimmung der Umgebungsturbulenz oft immer noch einfachsten Ansätzen (mittlere Rauigkeit etc.)
- ✓ CFD modelliert die Turbulenz und bietet folglich einen Ansatz zur Verbesserung der Bestimmung der Umgebungsturbulenz



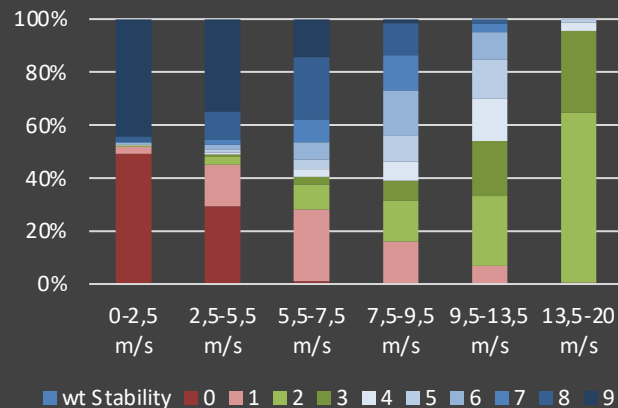
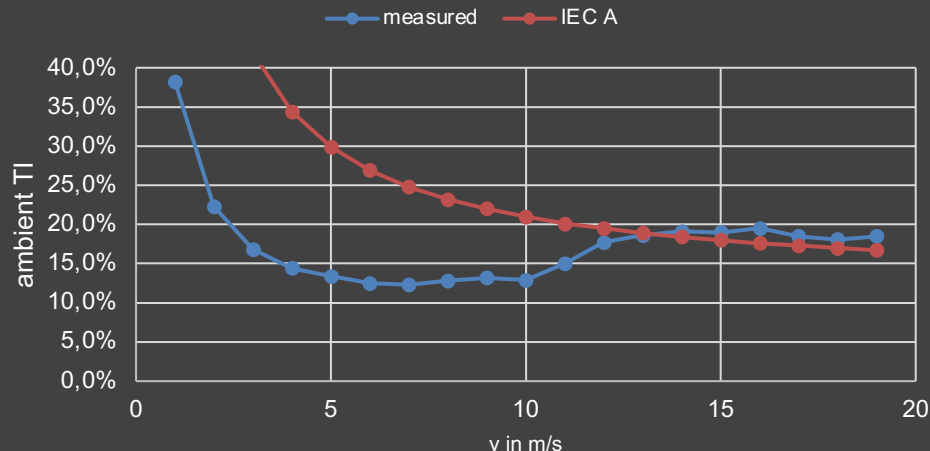
Deutsche
Akkreditierungsstelle

Akkreditierungsstelle
DEUTSCHE

Beispiel gemessene Turbulenz

- ✓ Oft zeigt die gemessene Turbulenz im mittleren Geschwindigkeitsbereich ein Minimum, um dann wieder anzusteigen.
- ✓ Die IEC Turbulenzkurven (NTM) geben dies nicht wieder.
- ✓ Der Verlauf korrespondiert mit den Stabilitätsverteilungen in den verschiedenen Windgeschwindigkeitsbereichen.

Mean ambient turbulence Beispielstandort 120m



Deutsche Akkreditierungsstelle

Akkreditierungsstelle
Deutschland

Ansätze zur Umgebungsturbulenzmodellierung

- ✓ Mittlere Rauigkeit pro Sektor, mittlere Turbulenz, Anwendung NTM
- ✓ Zusätzliche Berücksichtigung der sektoriellen Orographie (WAsP Engineering)
- ✓ CFD Turbulenz, oft bei neutraler Stabilität, Anwendung NTM
 - ✓ Auch in WT so implementiert, wenn nur eine Stabilität simuliert wird
 - ✓ Entspricht im wesentlichen der „alten“ Vorgehensweise bei AL-PRO



Deutsche
Akkreditierungsstelle

Akkreditierungsstelle
DEUTSCHE

Verbesserungspotenzial

- ✓ Nutzung der mittlerweile verfügbaren Eingangsdatensätze
 - ✓ Detaillierte Waldhöhen
 - ✓ Walddichte
 - ✓ Stabilitäten aus neuen Reanalysedatensätzen (z.B. EMDWRF ERA5)
- ✓ Nutzung des Potenzials von meteodyn WT zur zeitreihenscharfen Multi-Stabilitätsmodellierung
 - ✓ Zusätzliche Stabilitätsklassen 7 bis 9
 - ✓ Zeitreihenmodellierung
 - ✓ Übernahme des Migal-Solvers, Codeoptimierung, interne Parallelisierung.
- ✓ Nutzung der verbesserten, verfügbaren Hardwarekapazitäten



DIN EN ISO 9001
REG.-NR. 01 0116050



Deutsche
Akkreditierungsstelle

Akkreditierungsstelle
Deutschland

Vorgehen alt

Auswertung von verfügbaren Referenzmessungen

Nachmodellierung mit WT, Justierung der Modellierung (z.B. Stabilitätsklasse)

Direkte Verwendung der Modellturbulenzen + NTF
Unterschiedliche Modellierungen für WRA und Turbulenz

Zielparameter konsistente Abweichung

Zielparameter gemessene Turbulenz

Vorgehen neu ✓

Auswertung von viel mehr verfügbaren Referenzmessungen

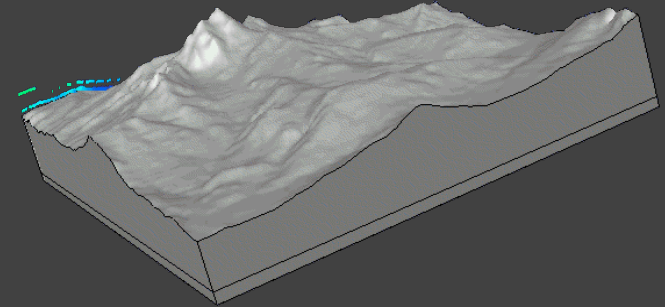
Nachmodellierung mit WT, Justierung der Modellierung

Entwicklung Korrekturfunktion

Verwendung der korrigierten Turbulenzen.
Identische Modellierung für WRA und Turbulenz

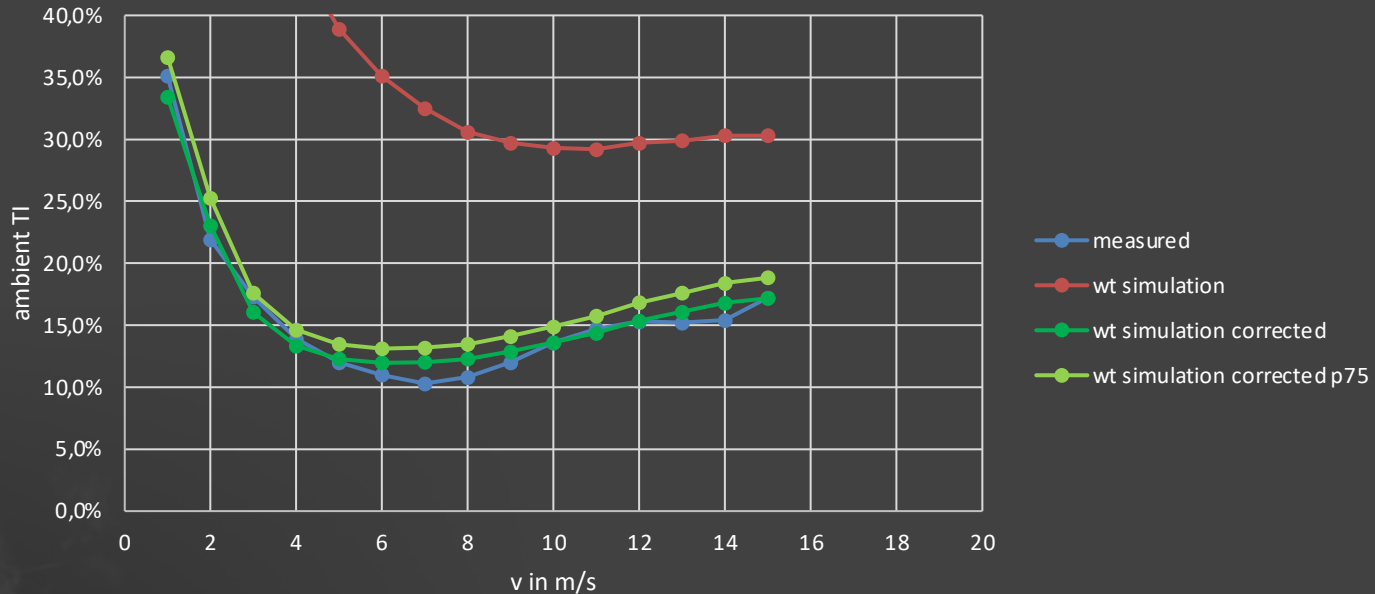
Das neue Verfahren

- ✓ CFD Setup für Windmodellierung am besten
geeignet auch für Turbulenzmodellierung
 - ✓ Simulation nahezu aller Stabilitätsklassen in WT
 - ✓ Sehr gut korrelierende Turbulenzergebnisse, aber
 - ✓ Große absolute Abweichung (BIAS)
- ✓ Entwicklung Korrekturfunktion
 - ✓ Vortest mehrerer Prototypen
 - ✓ Machine Learning Techniken zur Optimierung der Funktionsparameter
 - ✓ Einteilung der Messungen (insgesamt 36) in Trainings- und Validierungsgruppe
 - ✓ Machine Learning automatisierte Parameteroptimierung
 - ✓ Mehrere Iterationsschritte



Ergebnisse

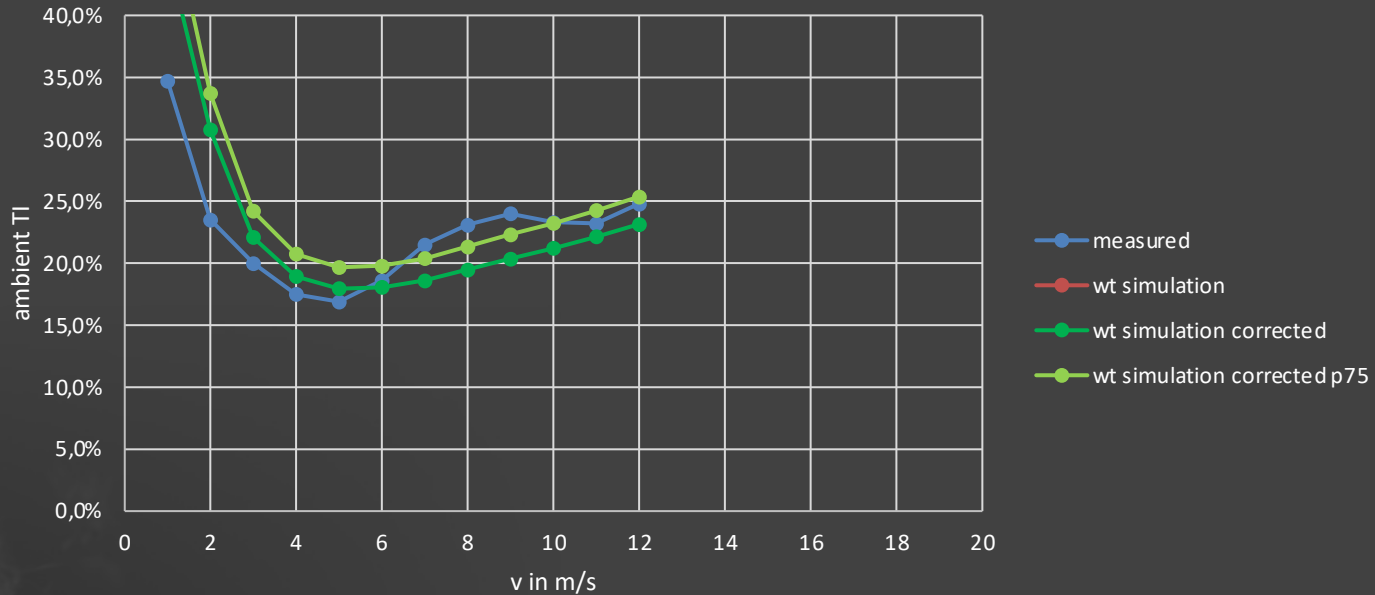
Mean ambient turbulence Standort 1 102m



Deutsche
Akkreditierungsstelle
Akkreditierungsstelle
Deutschland

Ergebnisse

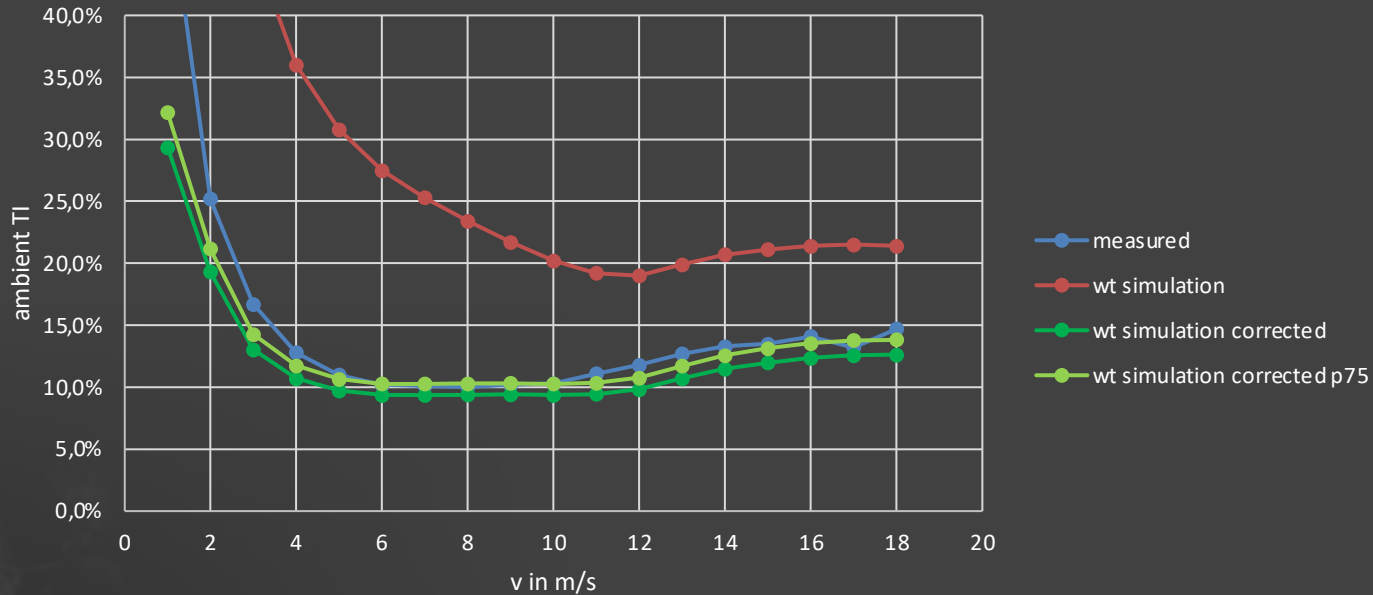
Mean ambient turbulence Standort 1 62m



Deutsche
Akkreditierungsstelle
Akkreditierungsstelle
DEUTSCHES

Ergebnisse

Mean ambient turbulence Standort 2 141m

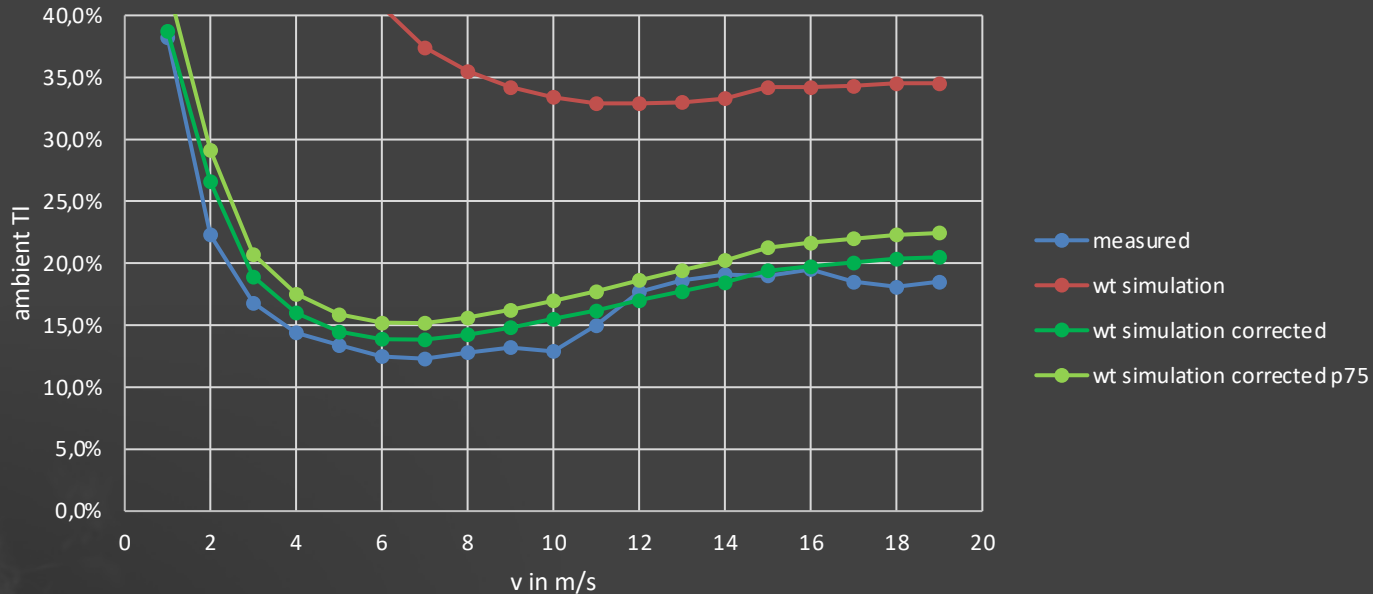


Deutsche
Akkreditierungsstelle

Akkreditierungsstelle
Deutschland

Ergebnisse

Mean ambient turbulence Standort 3 120m



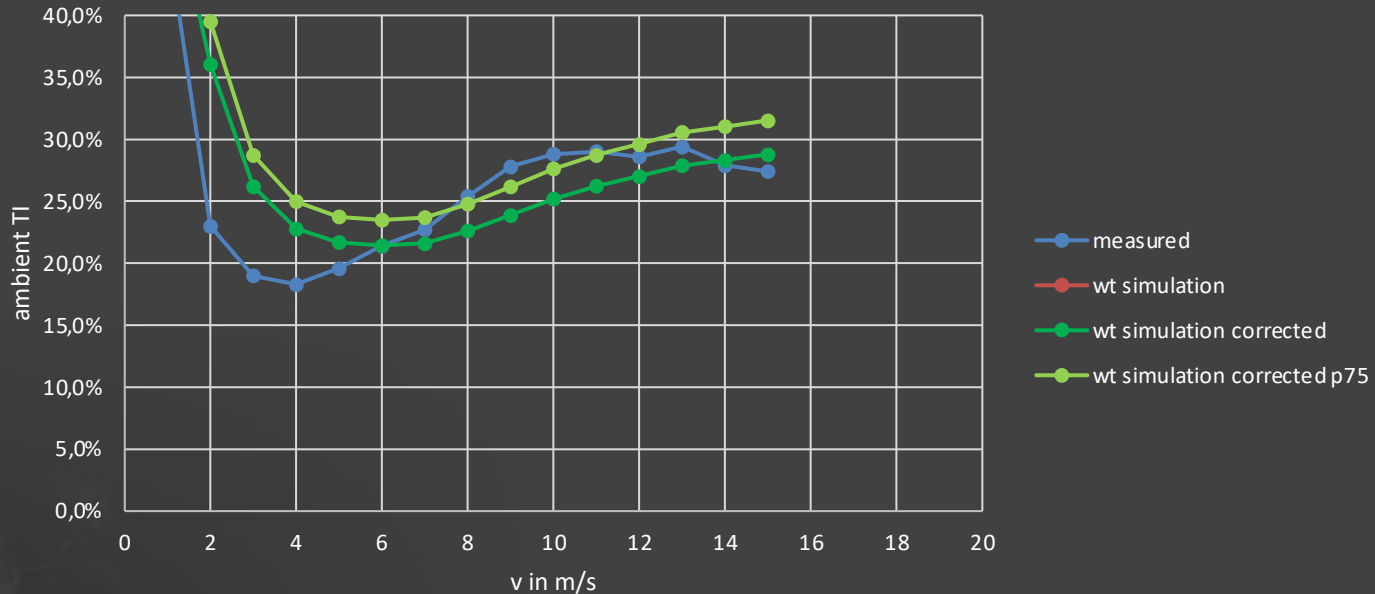
Deutsche
Akkreditierungsstelle



Akkreditierungsstelle
Deutschland

Ergebnisse

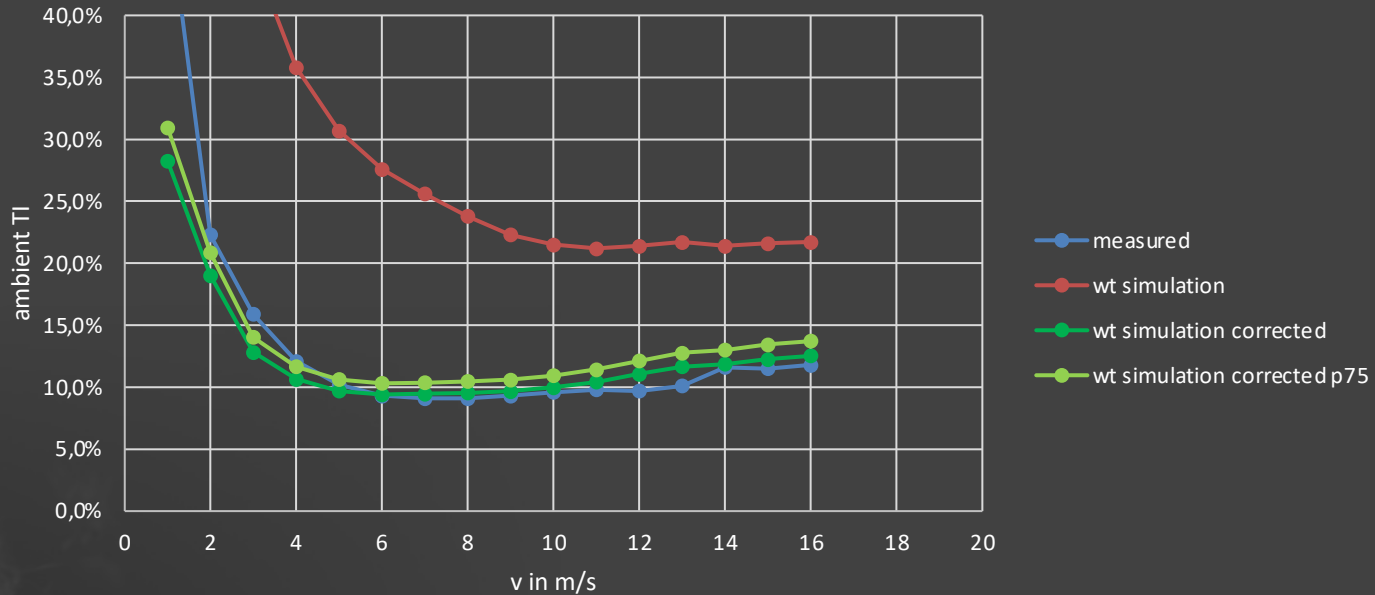
Mean ambient turbulence Standort 3 60m



Deutsche
Akkreditierungsstelle
Akkreditierungsstelle
DEUTSCHES

Ergebnisse

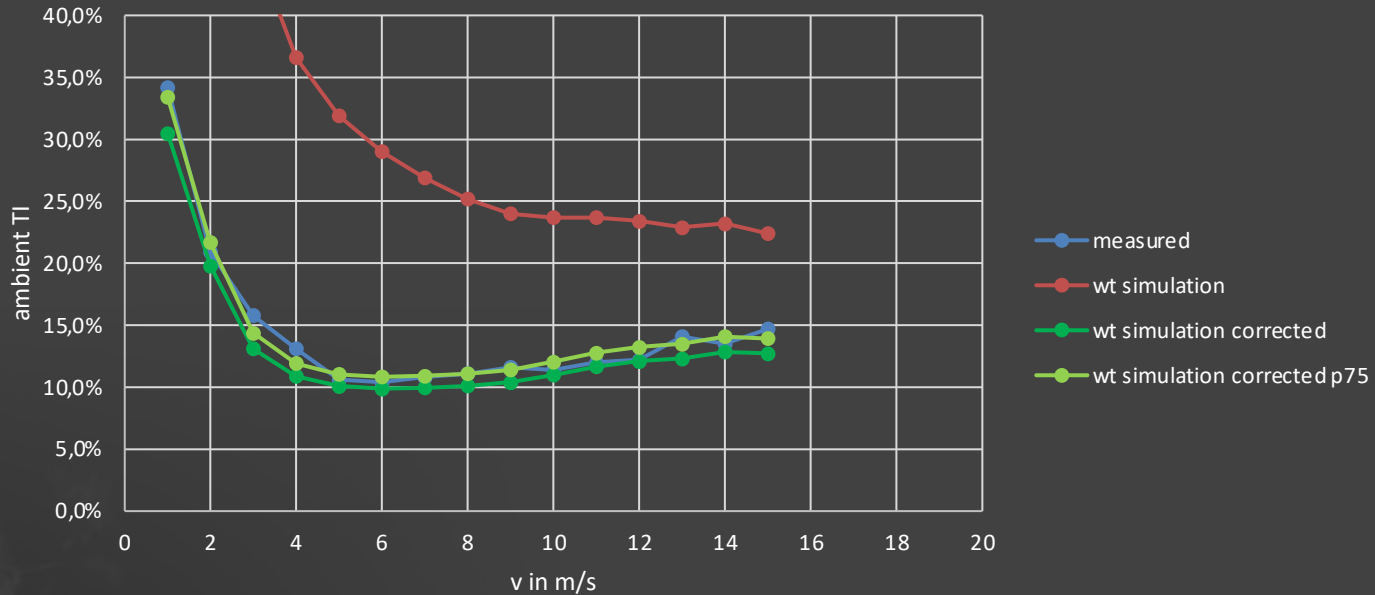
Mean ambient turbulence Standort 4 120m



Deutsche
Akkreditierungsstelle
Akkreditierungsstelle
Deutschland

Ergebnisse

Mean ambient turbulence Standort 4 80m



Deutsche
Akkreditierungsstelle
Akkreditierungsstelle
Deutschs

Zusammenfassung Ergebnisse

Ergebnisse Validierungsgruppe (bin-weise, 1 m/s Bins)	
Mittlerer Fehler	1,2%
Standardabweichung	11,6%
Relative Anzahl Unterschätzungen	49,5%
Größte Unterschätzung	-23,4%



Deutsche
Akkreditierungsstelle

Akkreditierungsstelle
DEUTSCHE

Zusammenfassung

- ✓ Turbulenzverhalten an unterschiedlichen Standorten kann mit methoden in WT hervorragend nachgebildet werden.
- ✓ Modelleinstellungen in WT entsprechen denen für windberechnungen bei AL-PRO
- ✓ Mindestens etwa 84 Simulationsläufe erforderlich (30° Richtungen, div. Stabilitätsklassen). Dauer ~2 Tage auf der vorhandenen Hardware
- ✓ Absolute Turbulenzhöhe muss angepasst werden.
- ✓ Eine Korrekturfunktion hierfür wurde entwickelt.
- ✓ Umgebungsturbulenz kann auch ohne standardbezogene Windmessung mit hoher Genauigkeit bestimmt werden.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!!!

