Schnelle und genaue Ertragsberechnungen mit dem 1 km Windatlas – Qualitätsverbesserung durch TI-Zeitreihen

Spreewindtage
13.11.2025

Philine Podein

anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH
www.anemos.de

Projektverbund

Fraunhofer IEE (Projektleitung)
anemos
MesH Engineering

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Laufzeit:

Jan. 2024 – Dez. 2026

OTELLO:

Technische Betriebsstrategien zur ökonomischen Last- und Lebensdaueroptimierung von Windenergieparks

anemos Teilprojekt:

Sensitivität und Qualität der Turbulenzintensität aus mesoskaligen Modellen

Wissenschaftliche Arbeitsziele

- Untersuchung der Qualität der mesoskaligen Turbulenzintensität (TI) Zeitreihen an ausgewählten Messstandorten

- Entwicklung eines Optimierungs-verfahrens für die TI-Zeitreihen mithilfe von Mastmessungen

- Sensitivitätsanalyse der TI für verschiedene horizontale Auflösungen

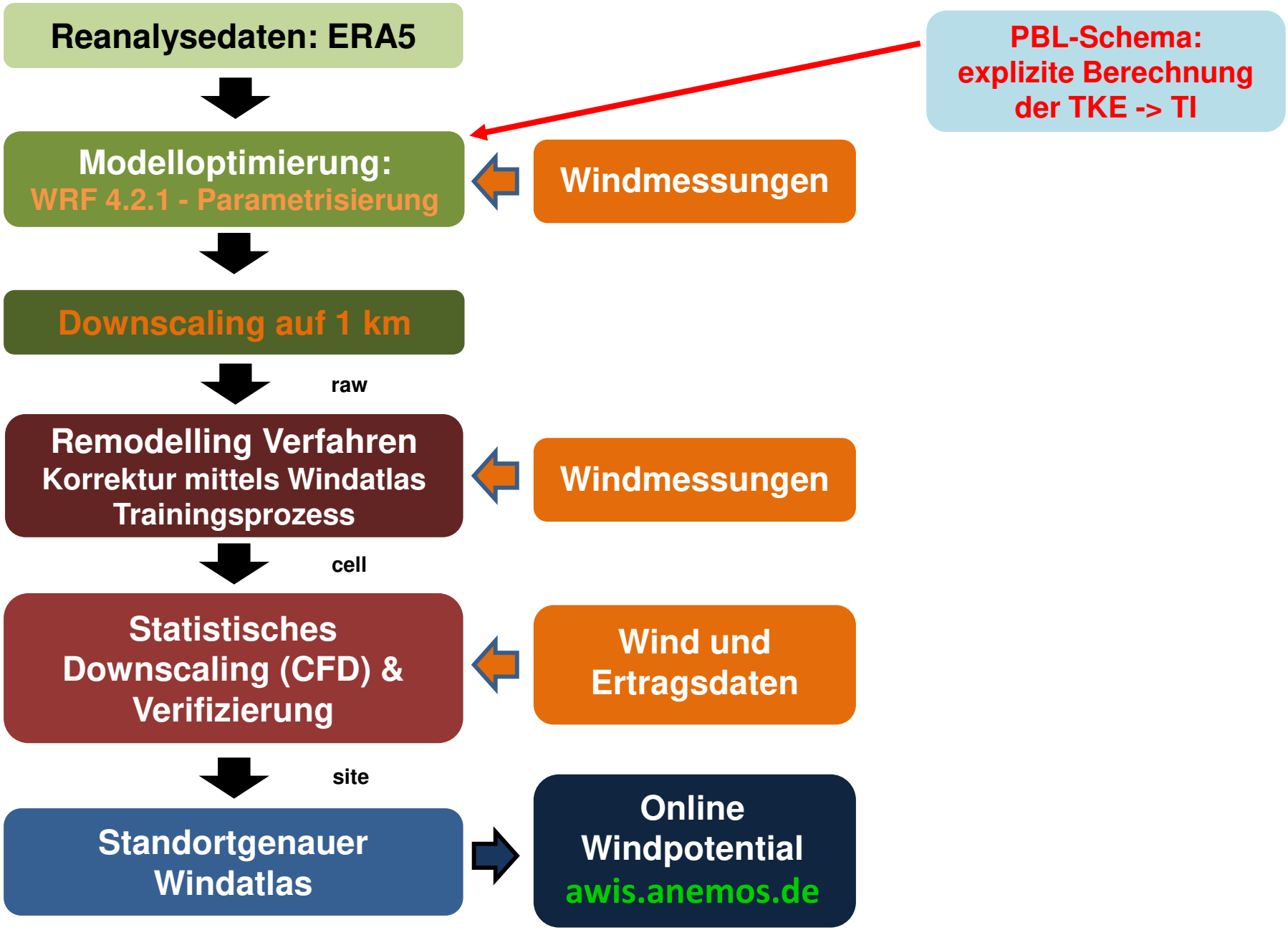
Wissenschaftliche Arbeitsziele

- Untersuchung der Qualität der mesoskaligen Turbulenzintensität (TI) Zeitreihen an ausgewählten Messstandorten
- Entwicklung eines Optimierungs-verfahrens für die TI-Zeitreihen mithilfe von Mastmessungen
- Sensitivitätsanalyse der TI für verschiedene horizontale Auflösungen

TI-Zeitreihen

- Verbesserung der Ertragsberechnung (TI-Korrektur der Leistungskennlinie)
- Relevant für die Wake Modellierung
- Standorteignung (z.B. sektorielle Umgebungsturbulenzen)

Modellkette

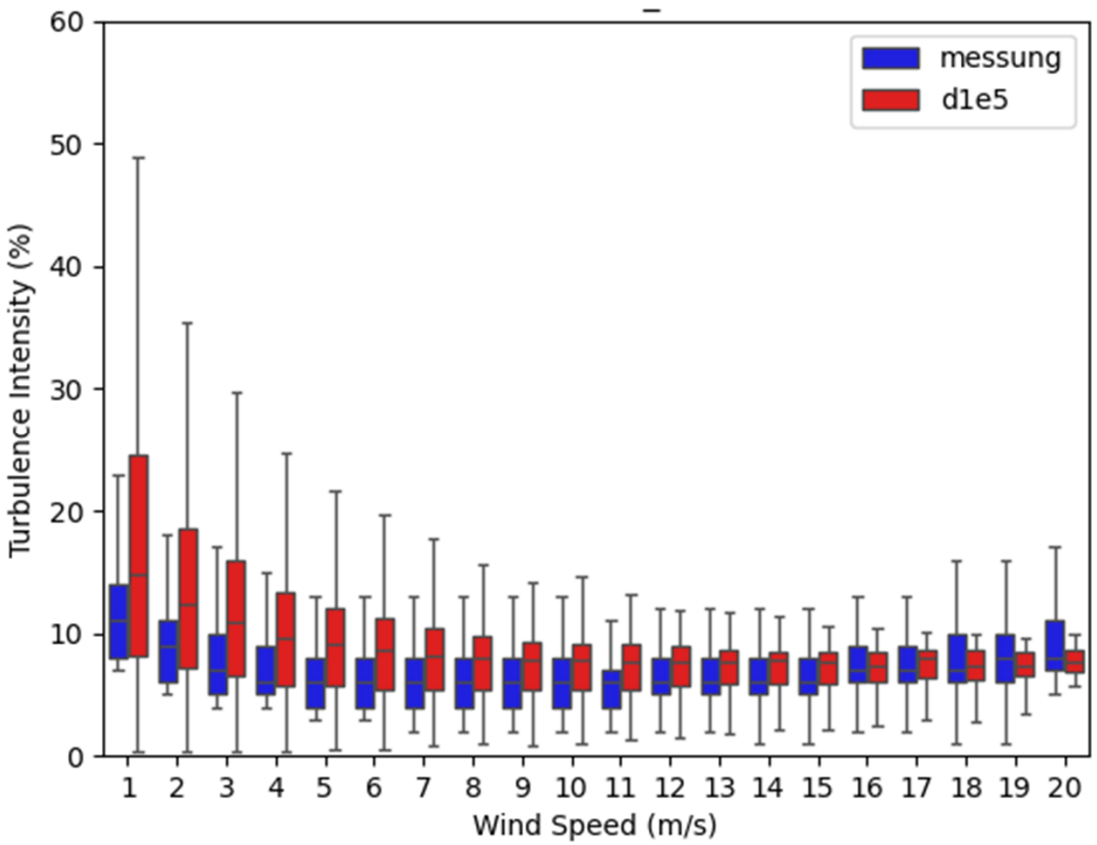


Untersuchung der Turbulenzintensität mittels Mast u. LiDAR Messungen

Messungen	Anzahl (Kalibrierung / Validierung)	Höhen
Mast Onshore	27 (14/13) & 17 (14/3)	100 m & 120 m
Mast Offshore	2 (0/2)	100 m
LiDAR Onshore	5 (0/5)	140 m bis 200 m

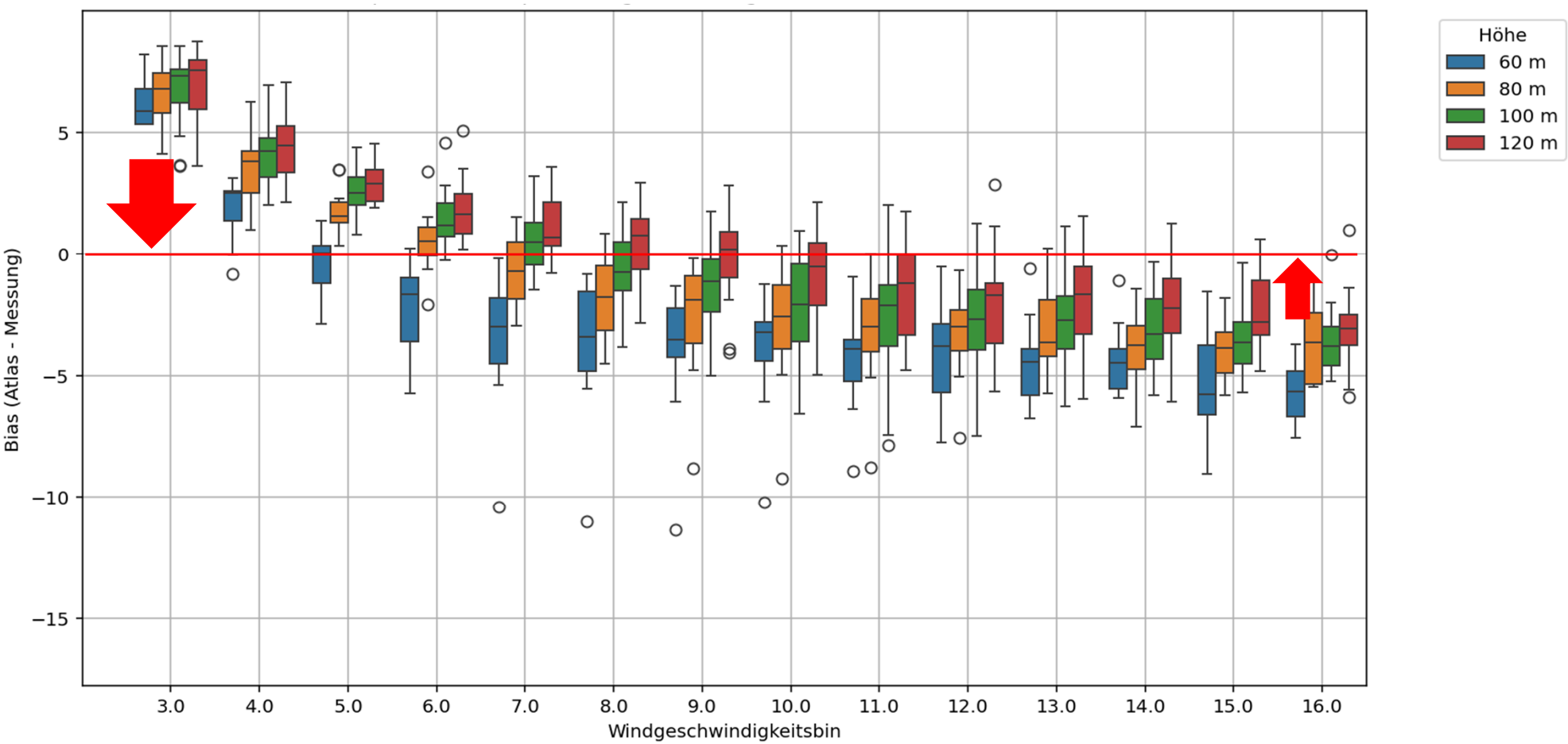
Vergleich der TI

Einteilung der TI in Windgeschwindigkeit-Bins. Beispiel: Standort 01

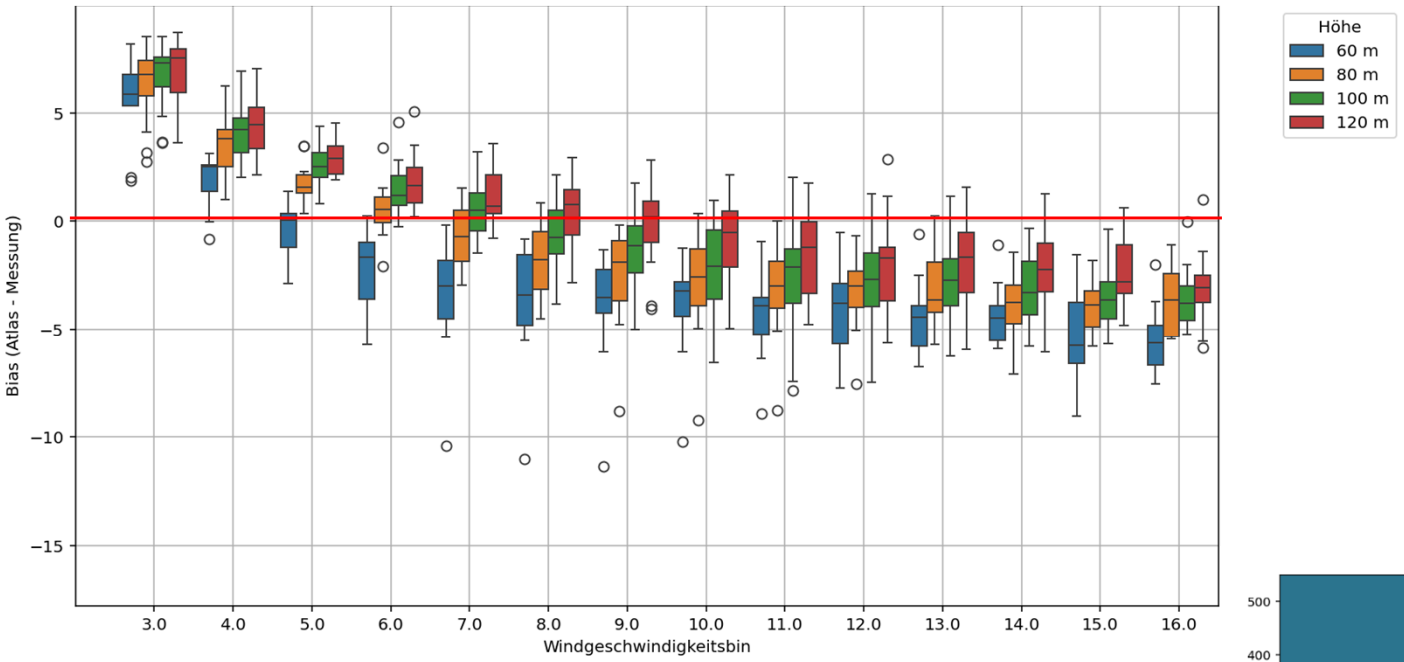


Bias der mittleren TI pro Bin (Rohdaten vs. Mastmessungen)

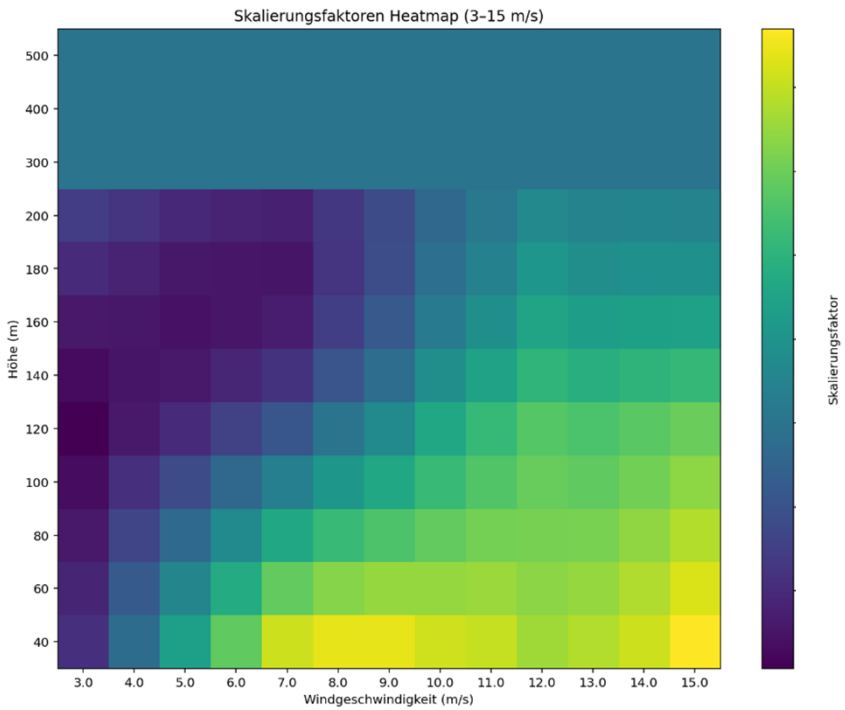
Validierung der mesoskaligen Turbulenzintensität
anhand von 14 Onshore Mastmessungen



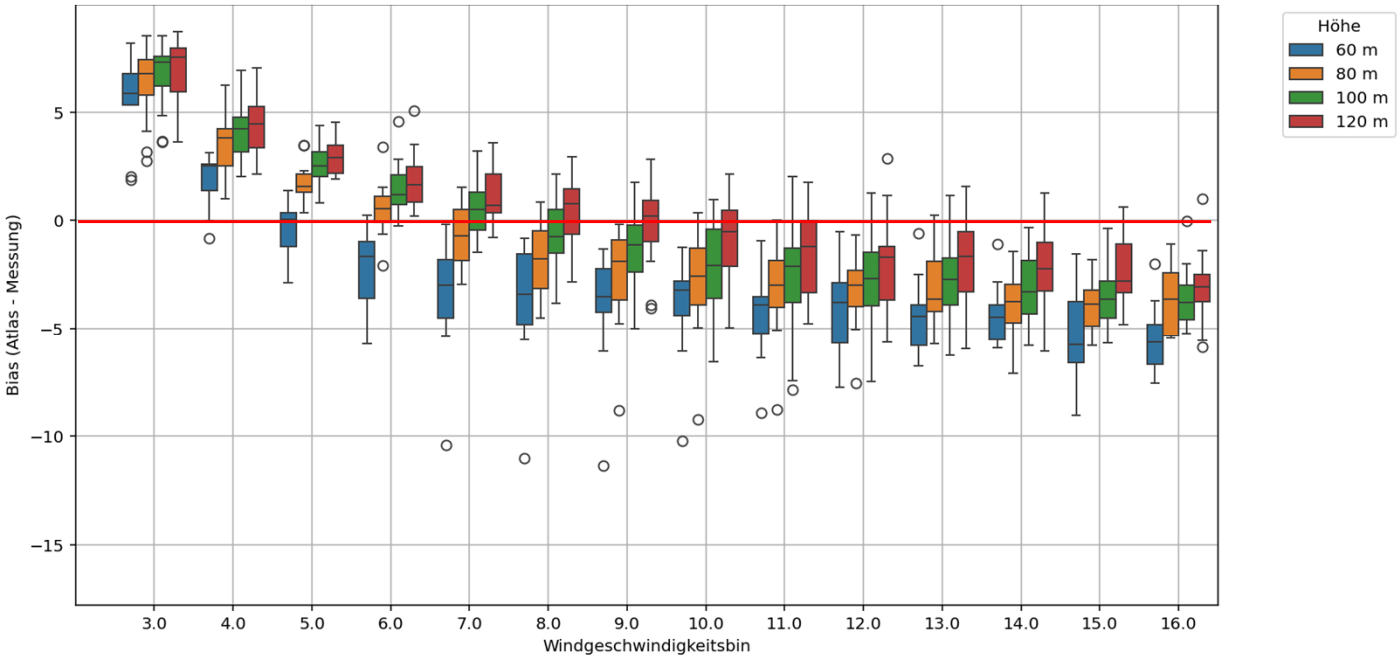
Kalibrierung bis 120 m mit 14 Mastmessungen möglich

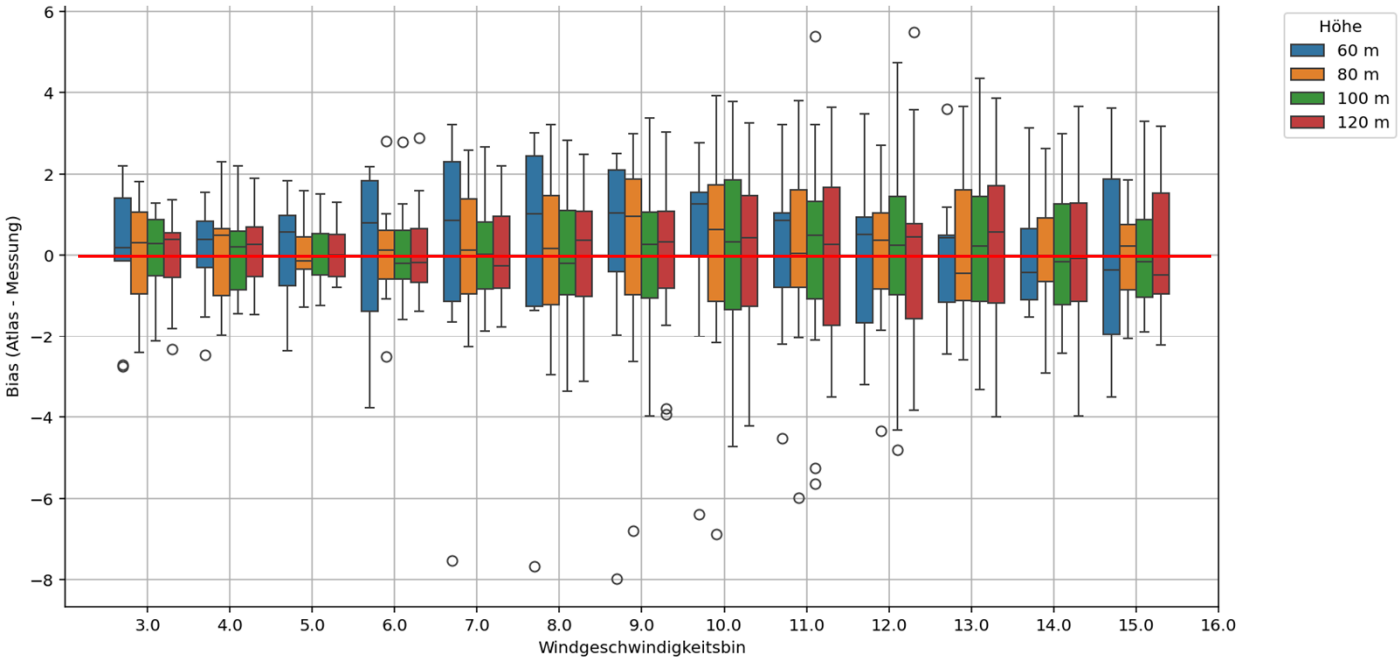


Entwicklung einer Kalibrierungsmatrix



Kalibrierung bis 120 m mit 14 Mastmessungen möglich

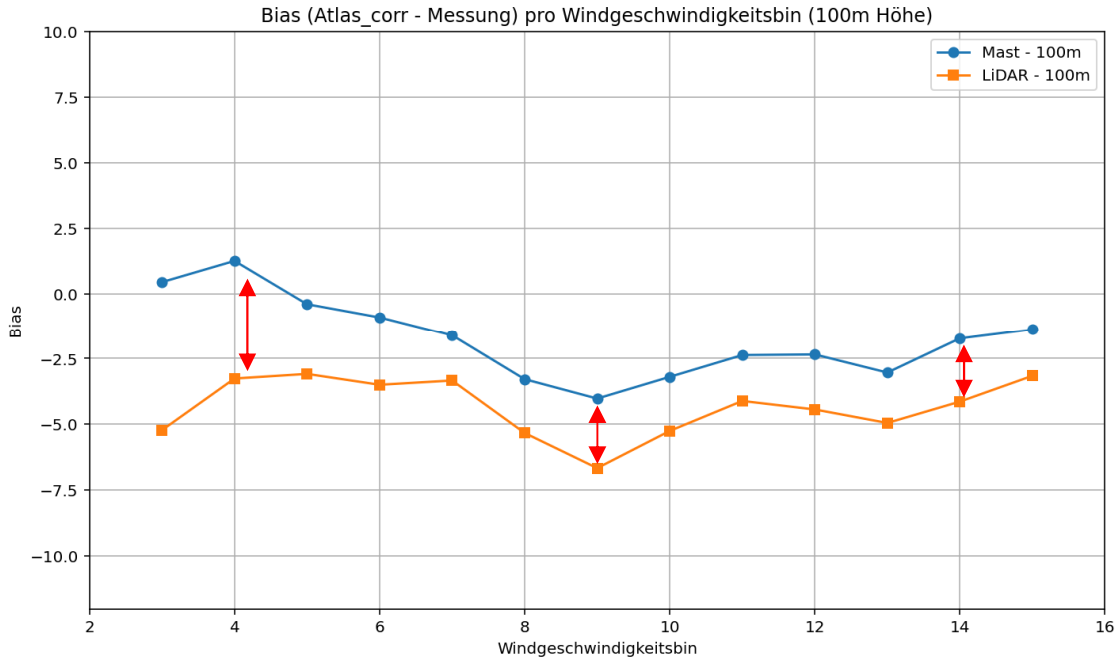




- **deutliche Reduktion des systematischen Bias**
- **Korrektur oberhalb von 120m plausibel?**

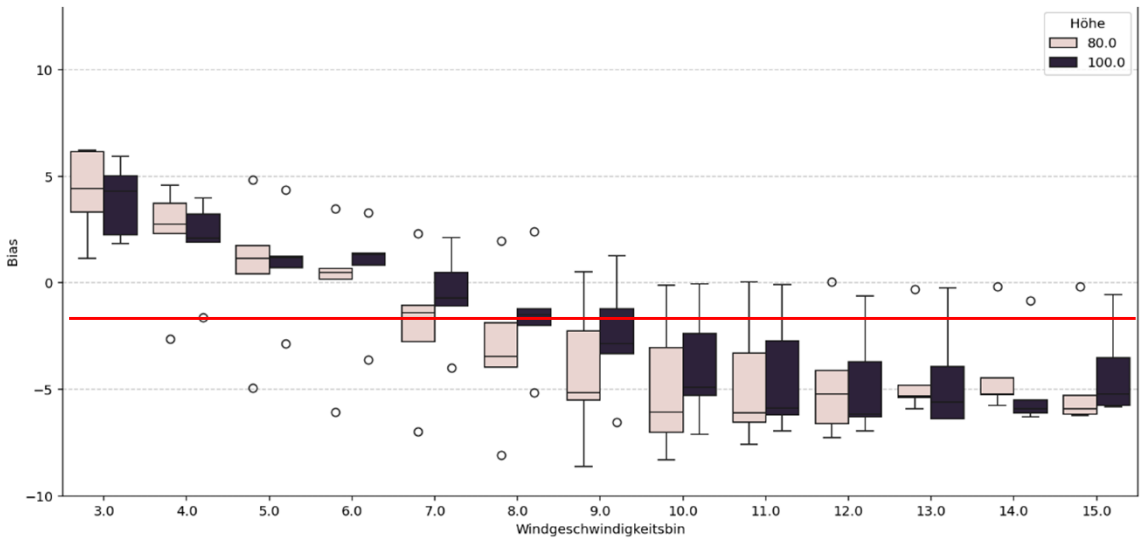
Problem: Mastmessungen decken nur Nabenhöhen bis ca. 140 m ab

- Verifizierung für Höhen bis 200 m mit LiDAR-Messungen möglich



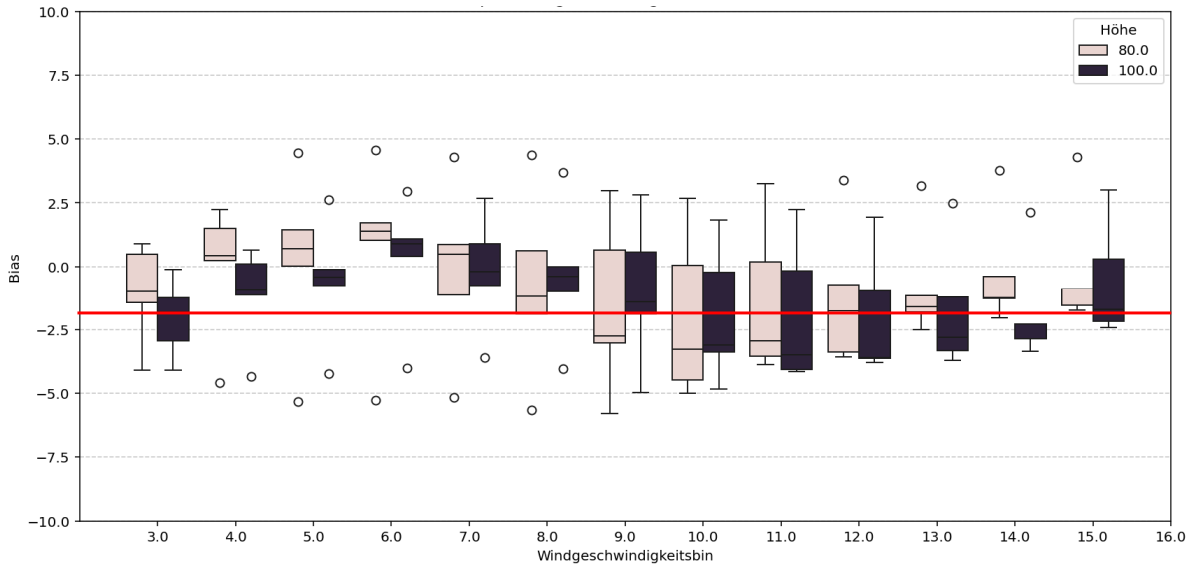
- Offset der TI zwischen LiDAR und Mast ca. 2 % (parallele Messungen)

Bias der mittleren TI pro Bin (Rohdaten bzw. finale Daten vs. LiDAR Messungen)



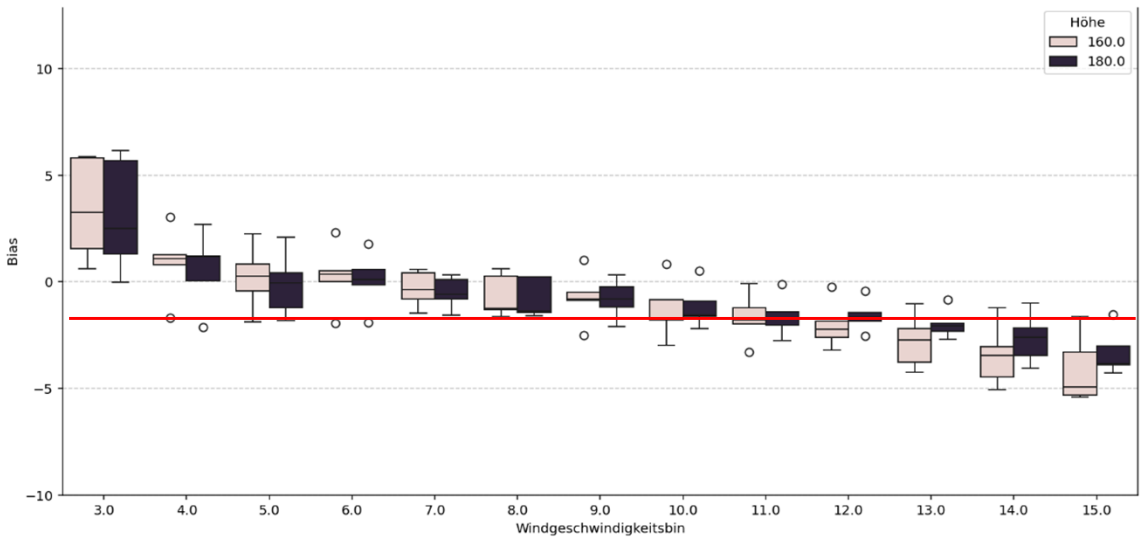
5 LiDAR-Messungen
NH: 80m u. 100m

- **TI-Rohdaten**



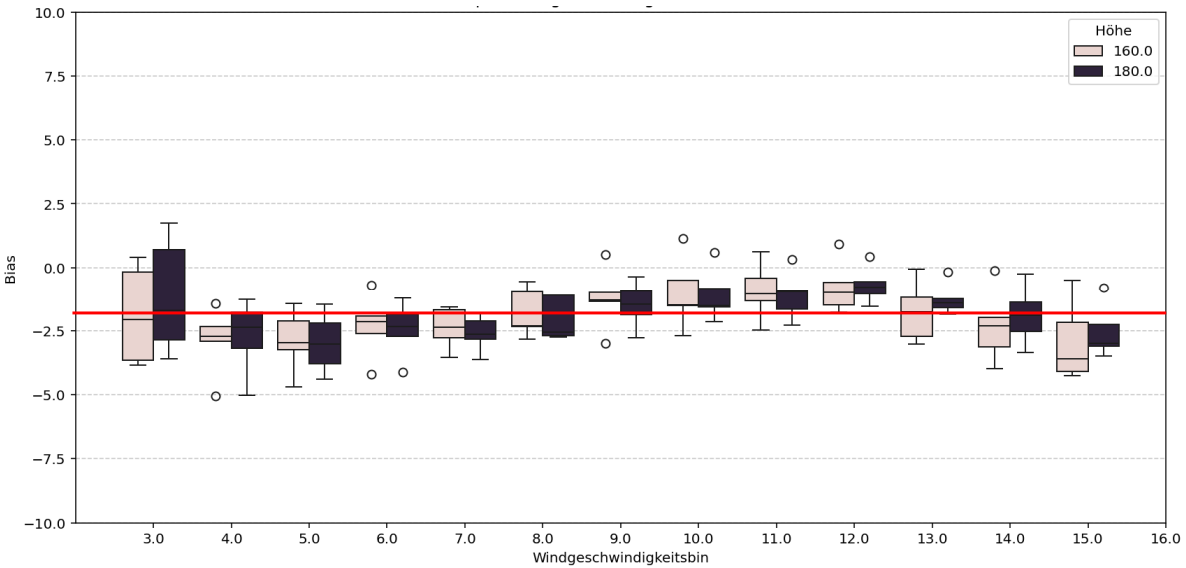
- **korrigierte TI-Daten**

Bias der mittleren TI pro Bin (Rohdaten bzw. finale Daten vs. LiDAR Messungen)



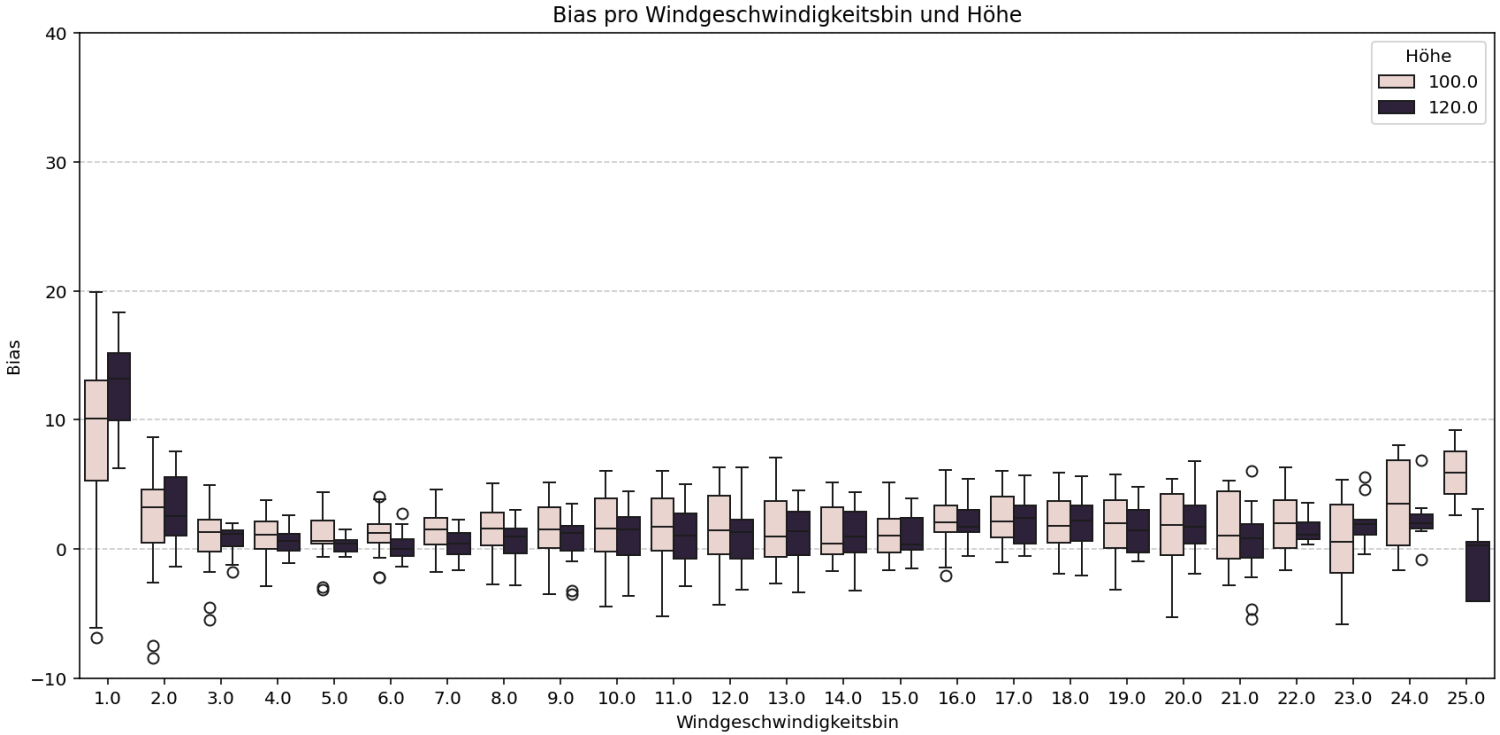
5 LiDAR-Messungen
NH: 160m u. 180m

- **TI-Rohdaten**



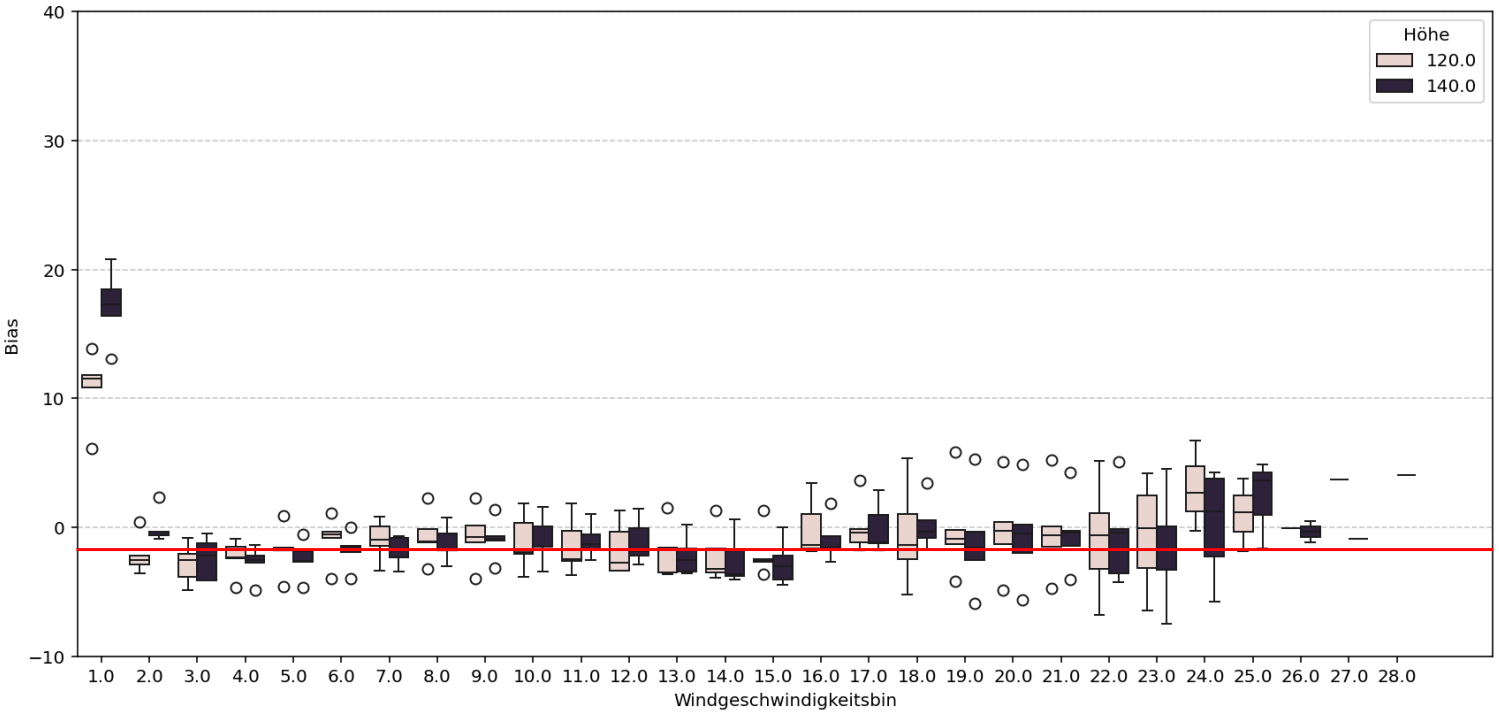
- **korrigierte TI-Daten**

Finaler Datensatz



27 Mastmessungen
NH: 100m

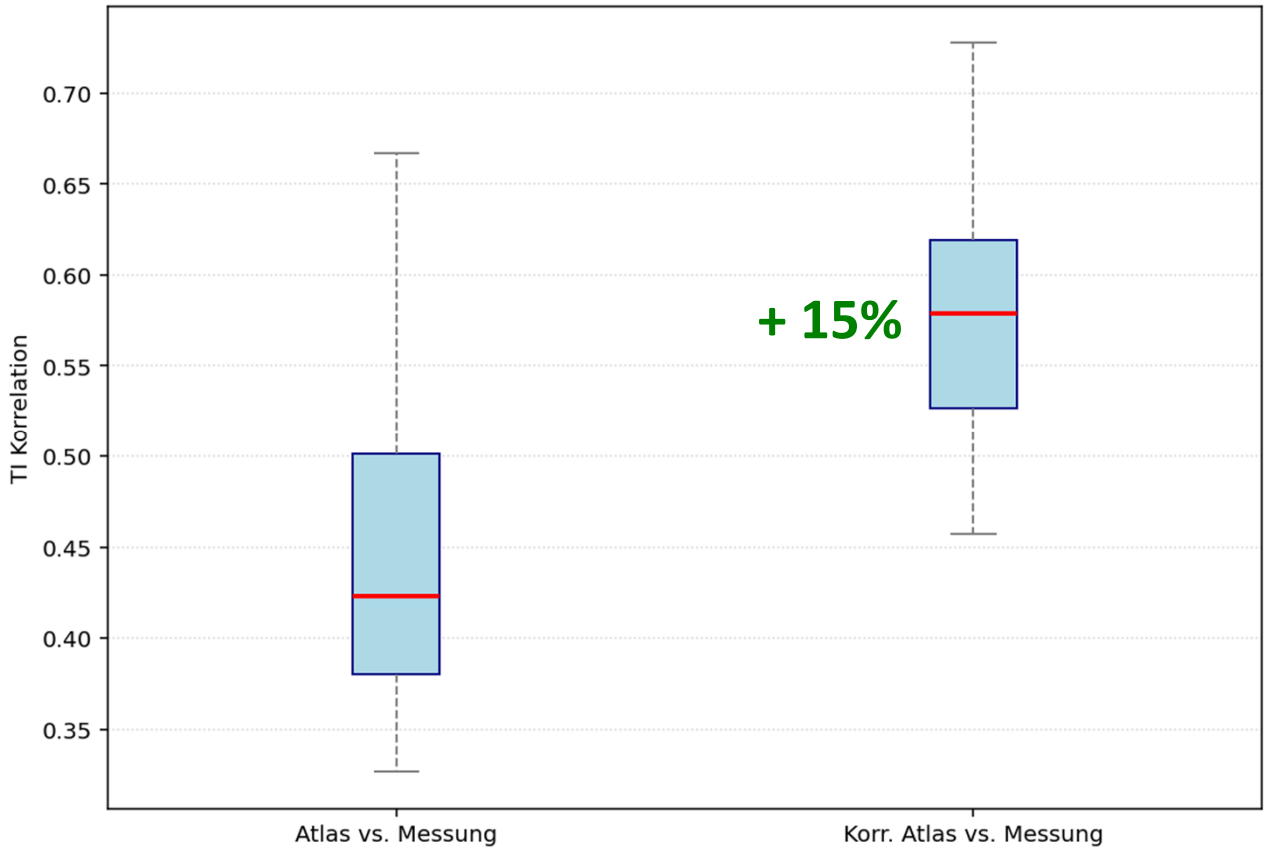
17 Mastmessungen
NH: 120m



5 LiDAR-Messungen
NH: 120m u. 140m

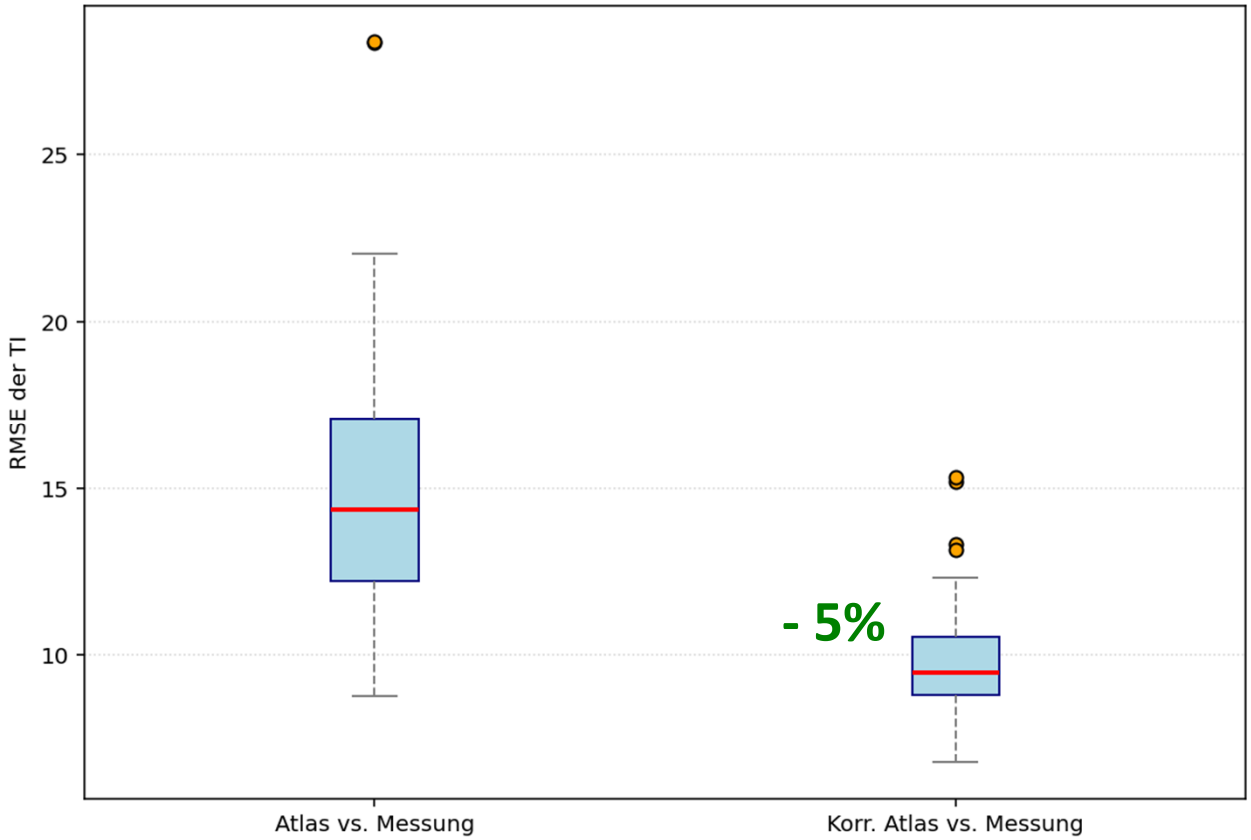
Korrelation der TI-Zeitreihe

(Anzahl: 27, NH: 100m, Bins: 3 – 15 m/s, 10 min)

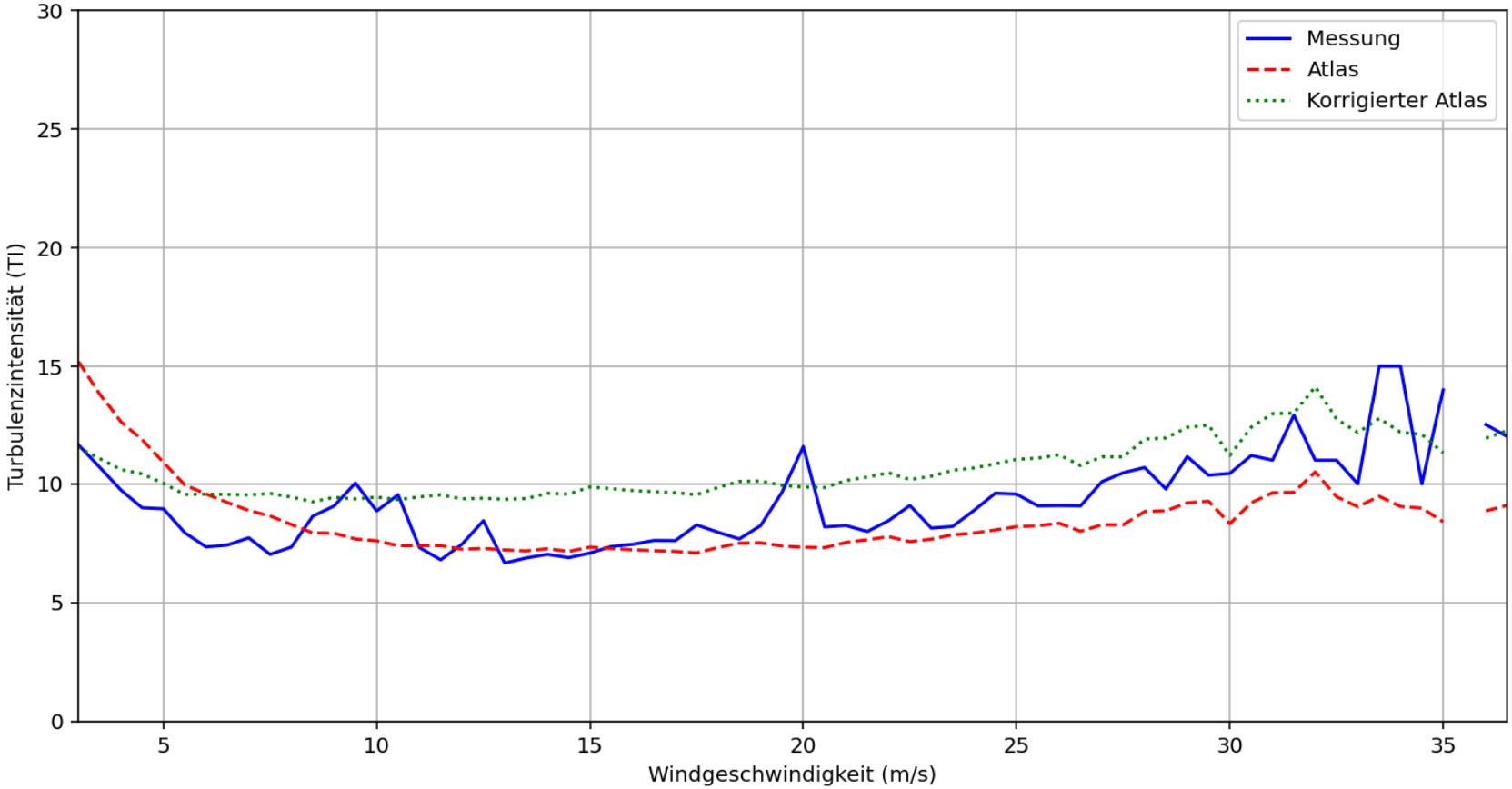


RMSE der TI-Zeitreihe

(Anzahl: 27, NH: 100m, Bins: 3 – 15 m/s, 10 min)



Offshore Mastmessung



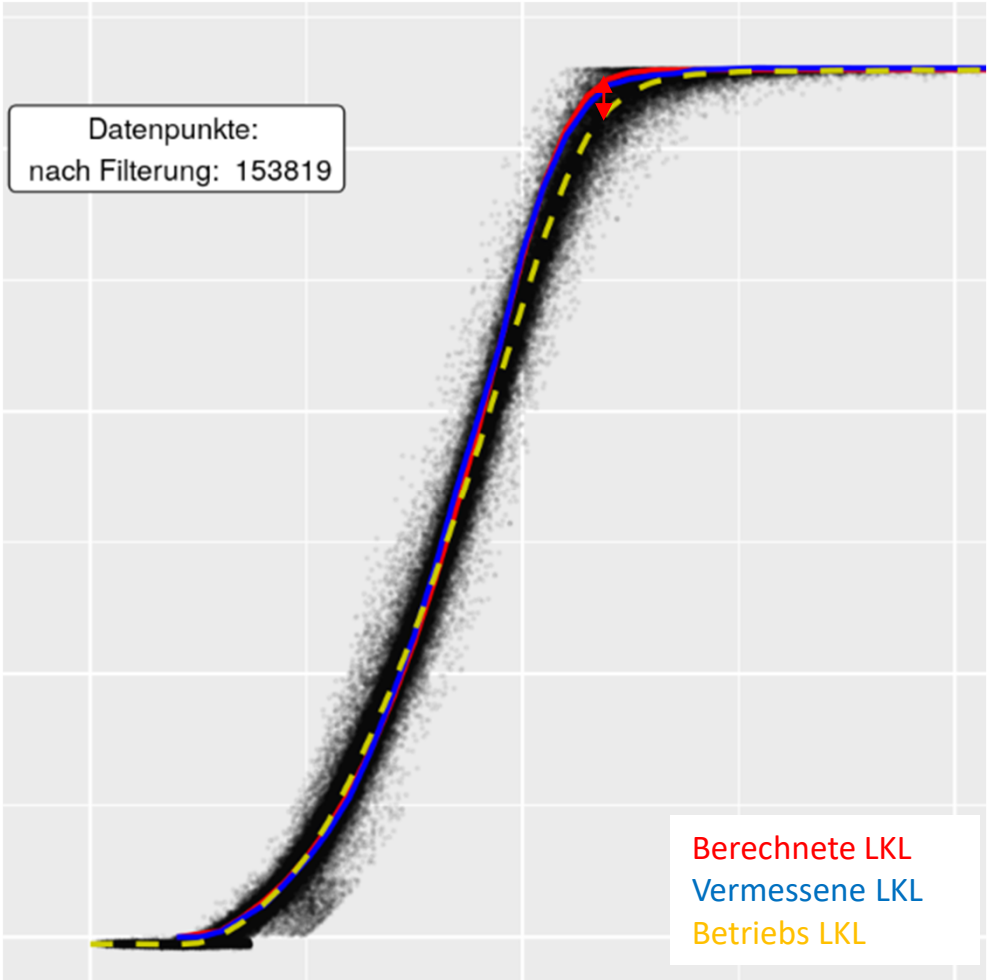
Anwendungsbeispiele Windenergie

- **Standortspezifische Leistungskennlinien (LKL) Korrektur**

Standortspezifische Leistungskennlinien (LKL) Korrektur

Analysen aus dem STRAIGHT-Projekt

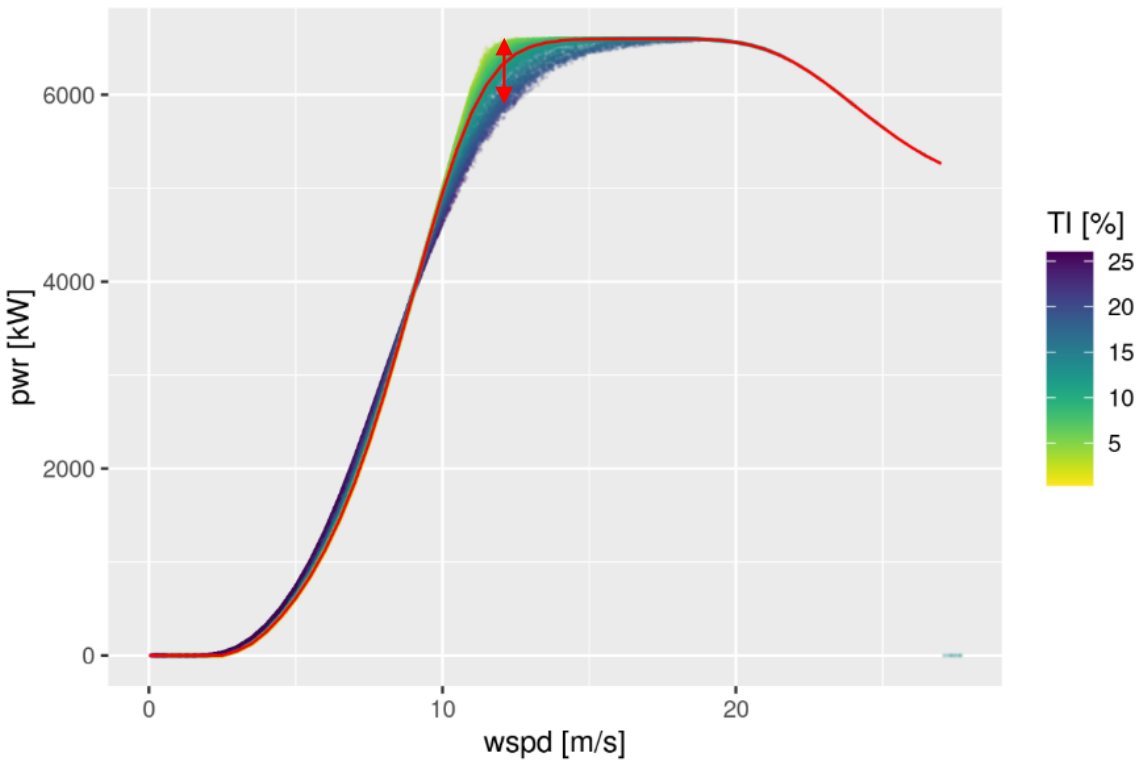
- Die vom Hersteller berechnete LKL weicht von der betrieblichen, standortspezifischen LKL ab
- Eine hohe Turbulenzintensität (und Windscherung) führt zu niedrigeren Leistungswerten



Standortspezifische Leistungskennlinien (LKL) Korrektur

Anpassung der Leistungs-kennlinie an standortspezifische Bedingungen

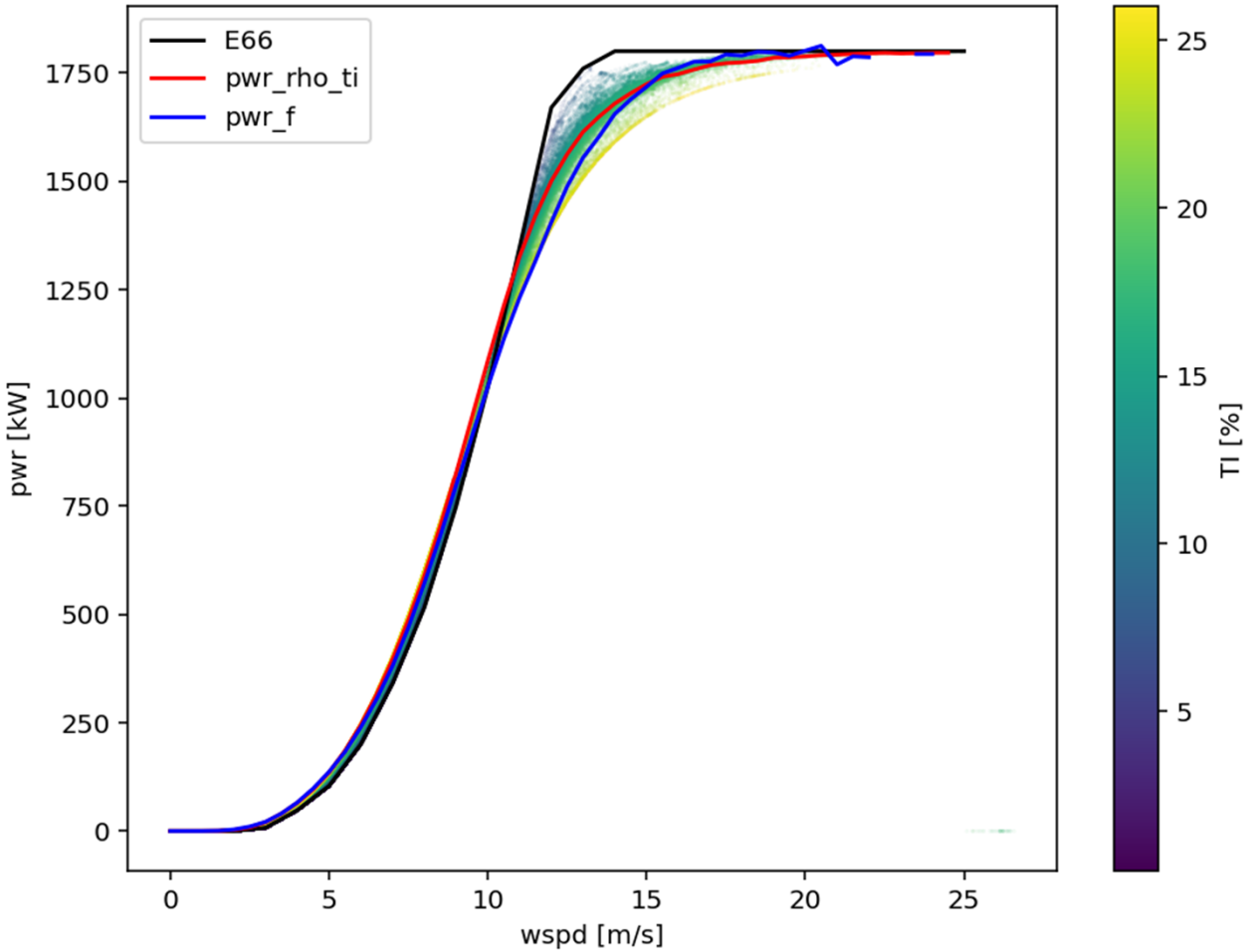
- Erster Ansatz einer LKL-Korrektur in Abhängigkeit von der Turbulenzintensität
- Ableitung der LKL für TI-Werte mit 0
- Hohe TI-Werte führen zu geringeren Leistungswerten zwischen 9 m/s – 18 m/s



Standortspezifische Leistungskennlinien (LKL) Korrektur

Anpassung der Leistungs-kennlinie an standortspezifische Bedingungen

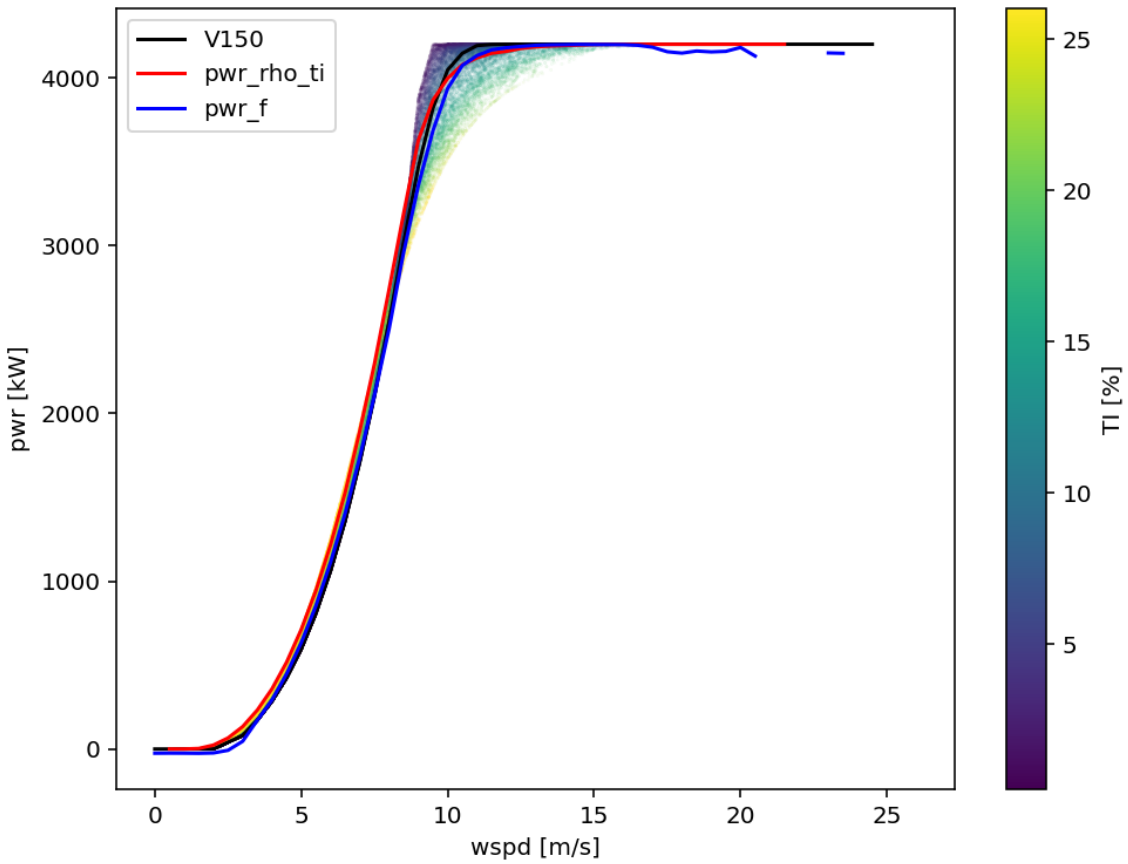
- Erster Ansatz einer LKL-Korrektur in Abhängigkeit von der Turbulenzintensität
- Erster Teststandort zeigt gute Ergebnisse im Vergleich zu den Betriebsdaten



Standortspezifische Leistungskennlinien (LKL) Korrektur

Anpassung der Leistungs-kennlinie an standortspezifische Bedingungen

- Funktionalität für unterschiedliche WEA-Typen
- Leichte Überschätzung bei geringen Windgeschwindigkeiten



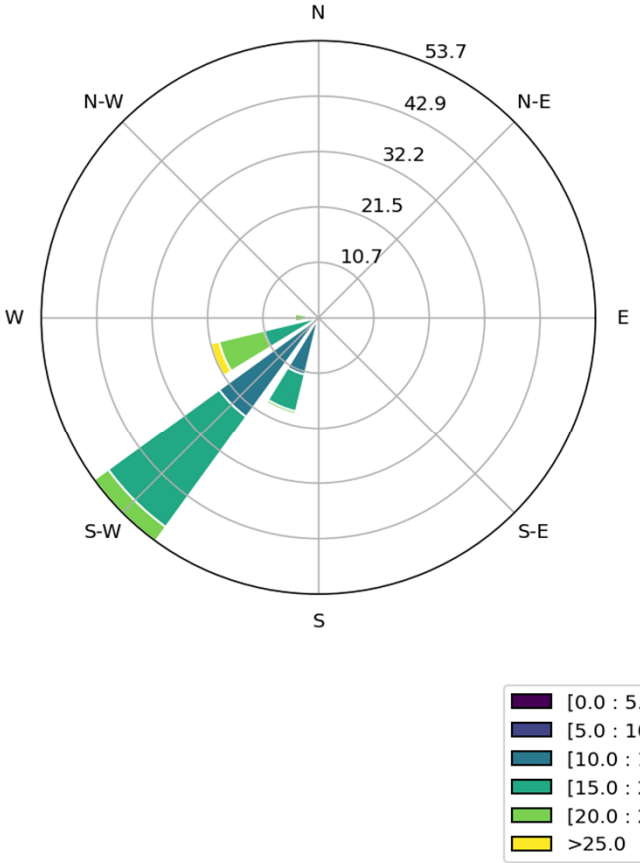
Anwendungsbeispiele Windenergie

- **Standortspezifische, sektorielle TI für die Standorteignung**

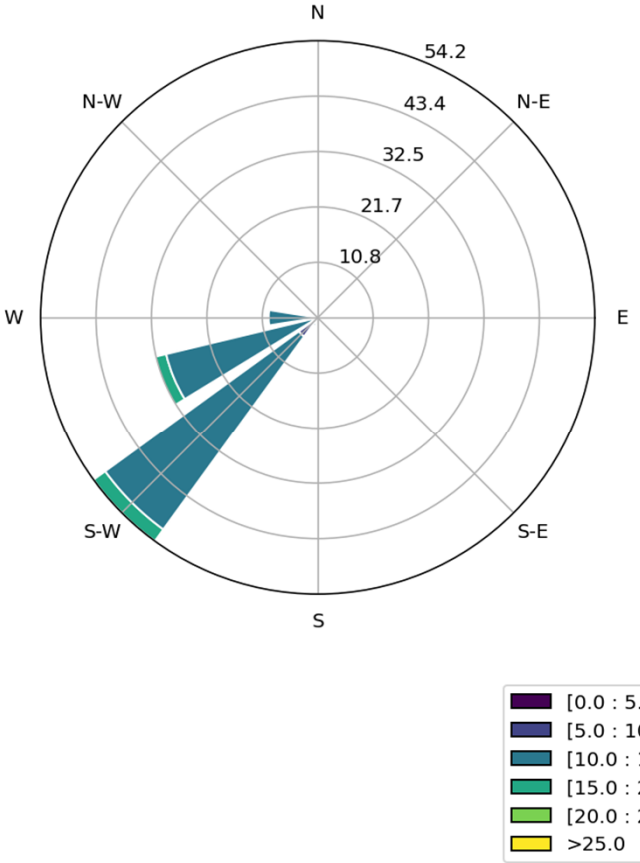
TI-Rose

Standort 03 für den Bin 15 m/s

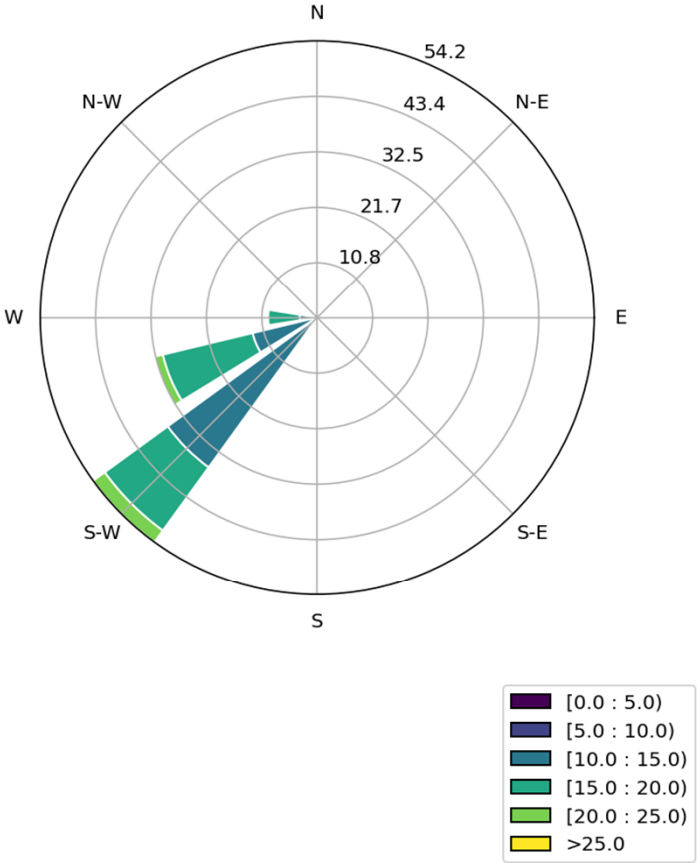
Messung



Rohdaten

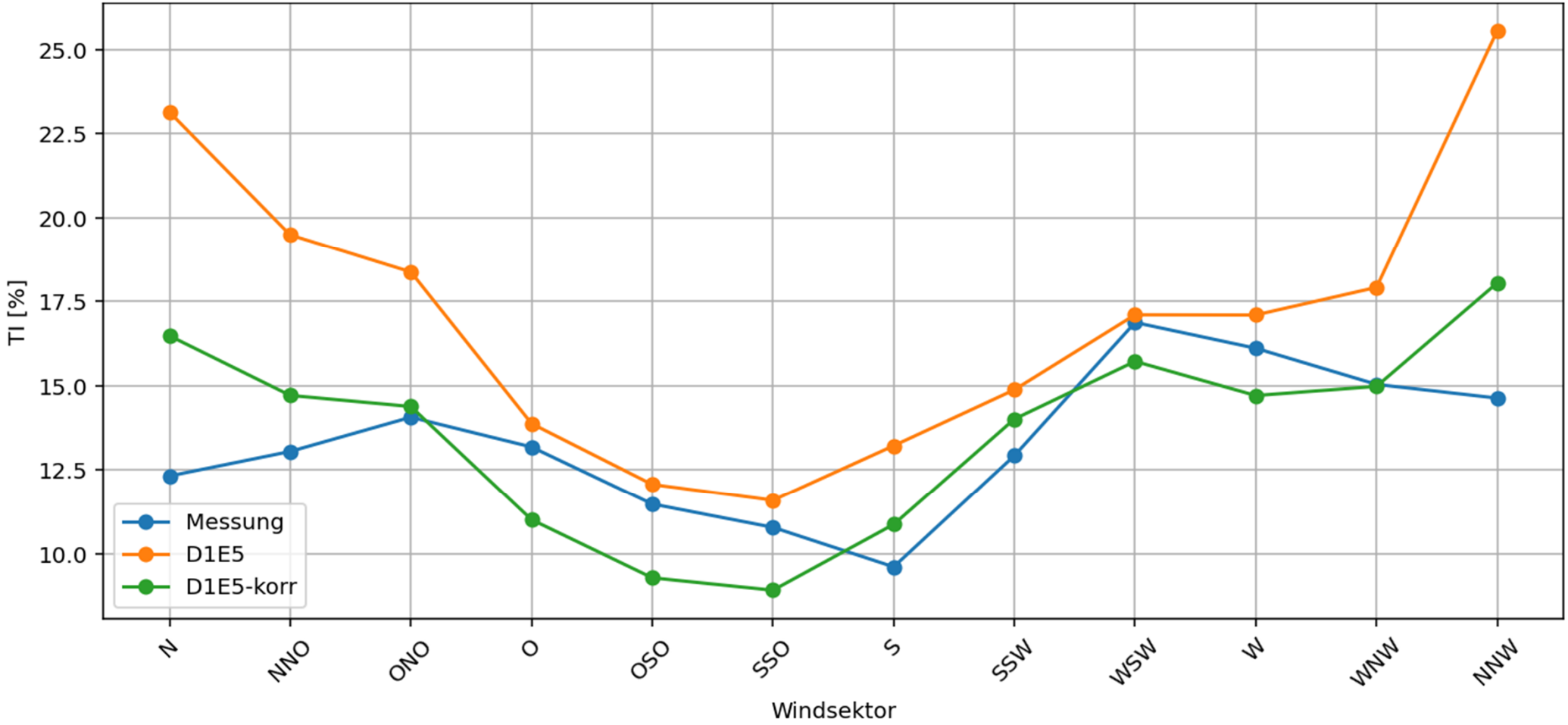


finale Daten



Sektorielle Verteilung der TI

Standort 03 für alle Windgeschwindigkeit-Bins



Projektausblick und Ziele

- ✓ Kalibrierte und konsistente TI-Zeitreihen (NH: 40 m – 500 m)
- ✓ Qualität der TI überprüft durch interne Verifikation
- ✓ Verbesserung bei Ertragsberechnungen durch TI-Zeitreihen

Ausblick

- ➢ Sektorielle TI für die Standorteignung
- ➢ TI-Zeitreihe für die Wake Modellierung
- ➢ Validierung und Kalibrierung der TI-Prognose mittels der historischen TI-Zeitreihen

Schnelle und genaue Ertragsberechnungen mit dem 1 km Windatlas – Qualitätsverbesserung durch TI-Zeitreihen

Spreewindtage
13.11.2025

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Philine Podein

anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH
www.anemos.de