

Wir sind Pavana



THE  
WIND &  
SITE  
EXPERTS.



# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte anhand von gemessenen Turbulenzen

# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte

## Gliederung



- + Hintergrund
- + Datengrundlage
- + LiDAR windcube Korrektur
- + Saisonale Korrektur der Turbulenzintensität
- + Analyse der gemessenen Turbulenzintensität
- + Analyse der modellierten Turbulenzintensität
- + Transfer der Turbulenzintensität
- + Turbulenzgutachten

# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte

## Hintergrund

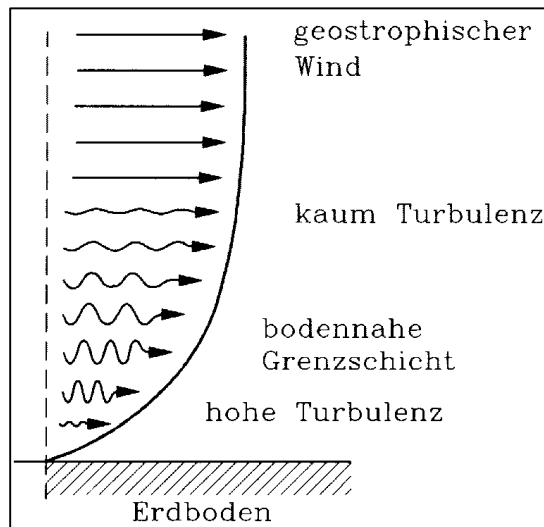


- + Turbulenzgutachten ist Teil des Nachweises der **Standorteignung**
- + Umgebungsturbulenz wird auf Basis **theoretischer Turbulenzmodelle abgeschätzt**
- Können Messungen in der Nähe bessere Ergebnisse liefern?
- Idee: Wenn keine Messung am Standort vorliegt, kann die Umgebungsturbulenz auf Basis einer Messung mit vergleichbarem Turbulenzverhalten aus dem dafür erstellten PAVANA-Turbulenzatlas abgeschätzt werden

# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte

## Hintergrund

- + Begriff **Turbulenz**: Strömungszustand der Luft, in welchem sich Wirbel bilden und wieder zerfallen
- Windturbulenzen werden durch die Orografie, die Rauigkeit der Oberfläche und die vorherrschenden Wetterlagen verursacht



$$I = \frac{\sigma}{V} = \frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Mittelwert}}$$

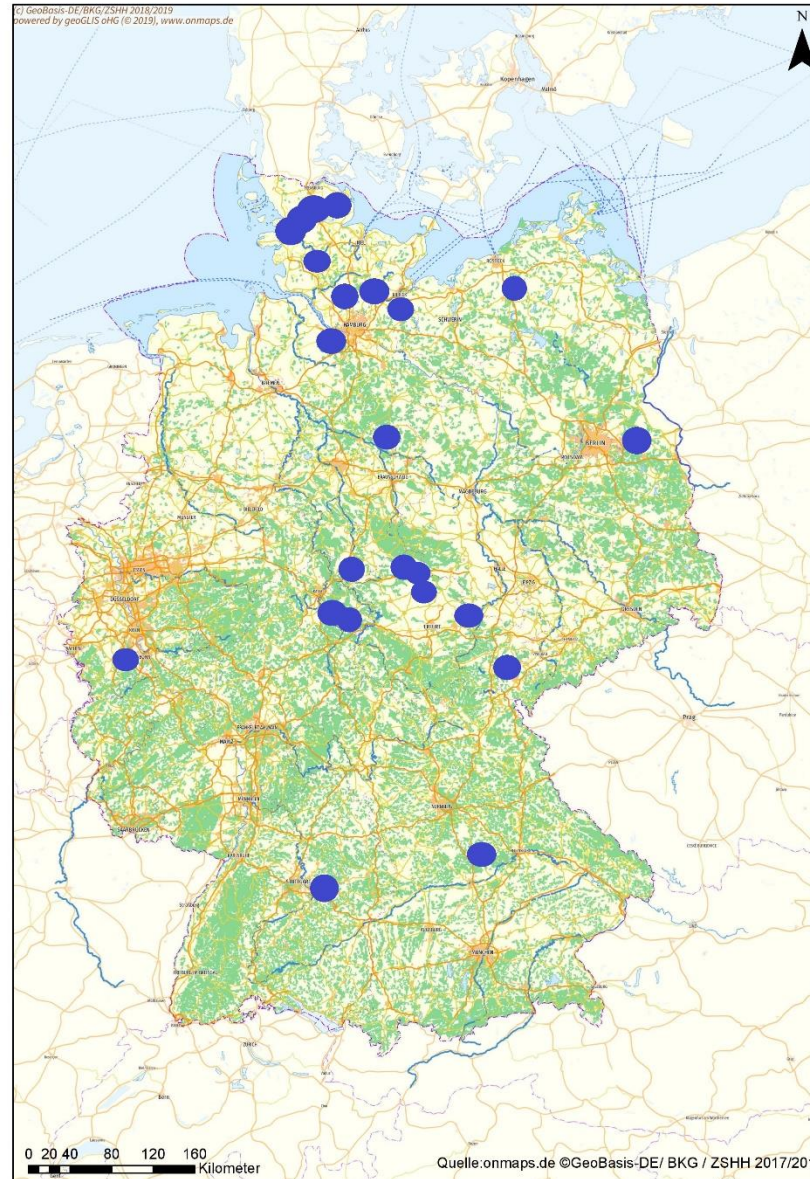
Mittelwert: 7,0 m/s

Standardabweichung: 0,98 m/s

Turbulenzintensität: 0,14 (14 %)

# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte

## Datengrundlage



+ Karte mit den  
Standorten der  
Messungen in  
Deutschland

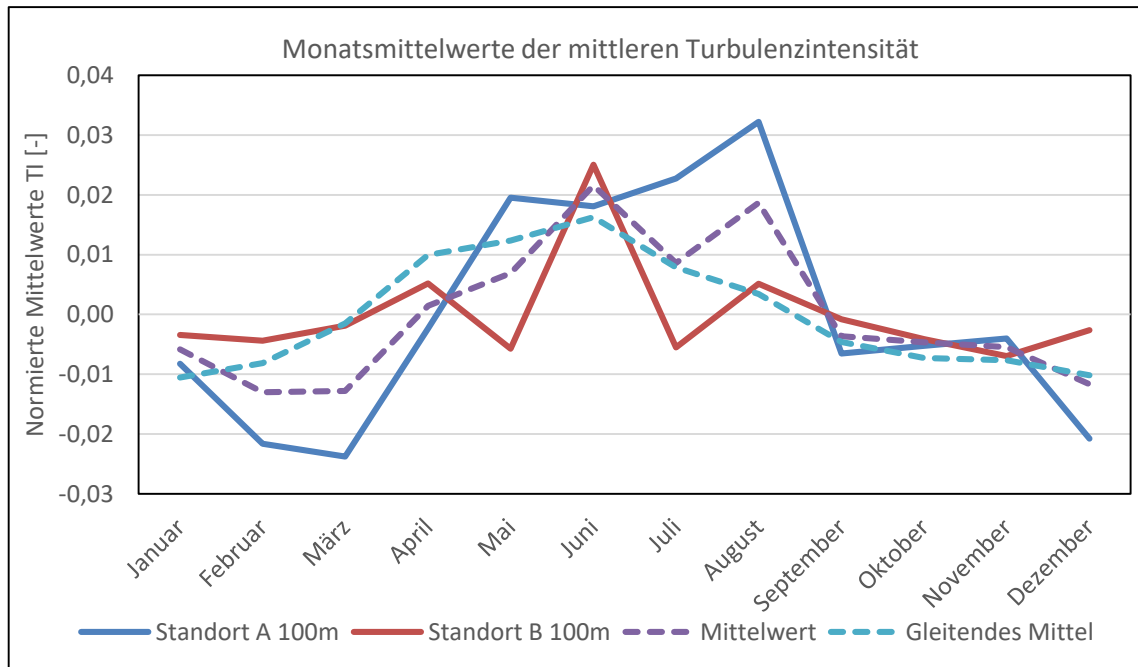
# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte

## LiDAR windcube Korrektur



- + Vergleich von Windgeschwindigkeiten mit Messmastmessungen
- Überschätzung der Standardabweichung der Windgeschwindigkeit mit windcube LiDAR Geräten
- Turbulenzintensität wird zu hoch eingestuft
- Korrekturfunktion, um beide Messverfahren vergleichbar zu machen
- + Definition der Turbulenzintensität: Quotient der Standardabweichung der Windgeschwindigkeit zur mittleren Windgeschwindigkeit aus dem 10-minütigen Messintervall

- + Starke saisonale Abhängigkeit: Maximum im Sommer und Minimum im Winter



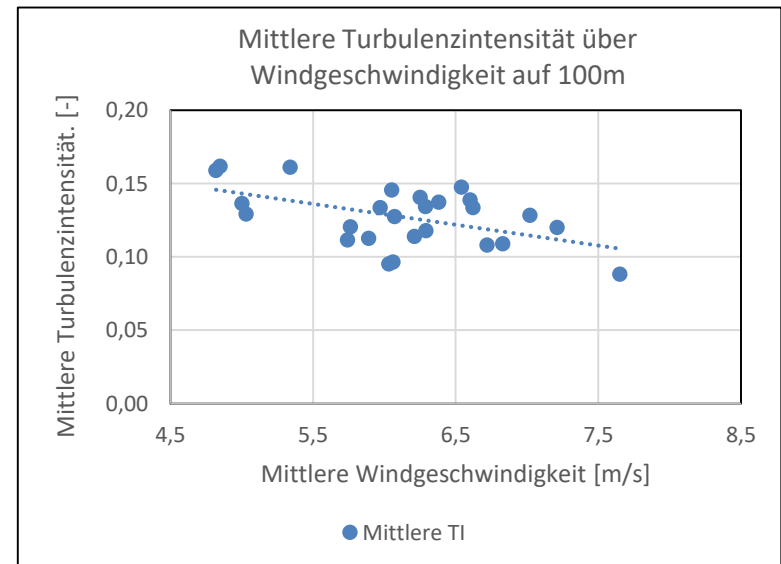
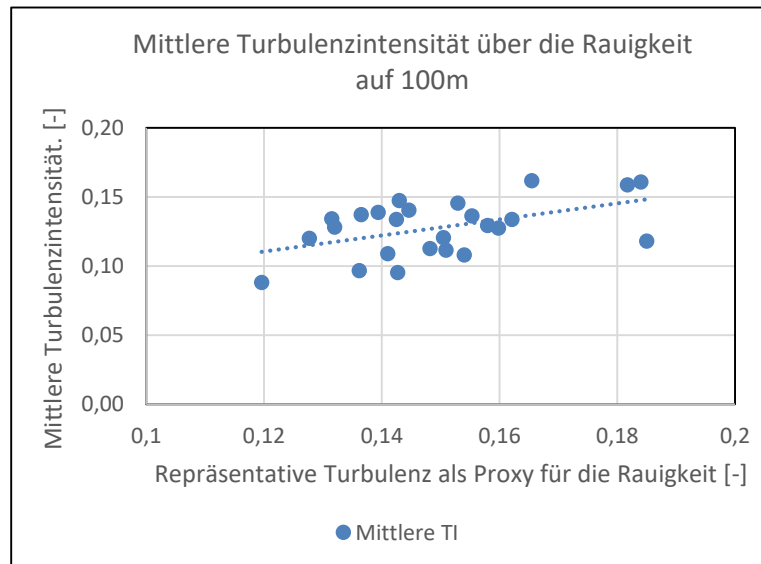
- + Saisonale Korrektur der Turbulenz anhand des typischen Jahresgangs der Turbulenz an Standorten mit einem vergleichbaren Turbulenzverhalten



# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte

## Analyse der gemessenen Turbulenz

- + Starke Abhängigkeit zwischen der mittleren Turbulenzintensität mit der Rauigkeit der Standorte und der mittleren Windgeschwindigkeit
- Turbulenz nimmt mit der Rauigkeit des Standortes zu
- Turbulenz nimmt mit steigender Windgeschwindigkeit ab



# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte

## Analyse der modellierten Turbulenzintensität



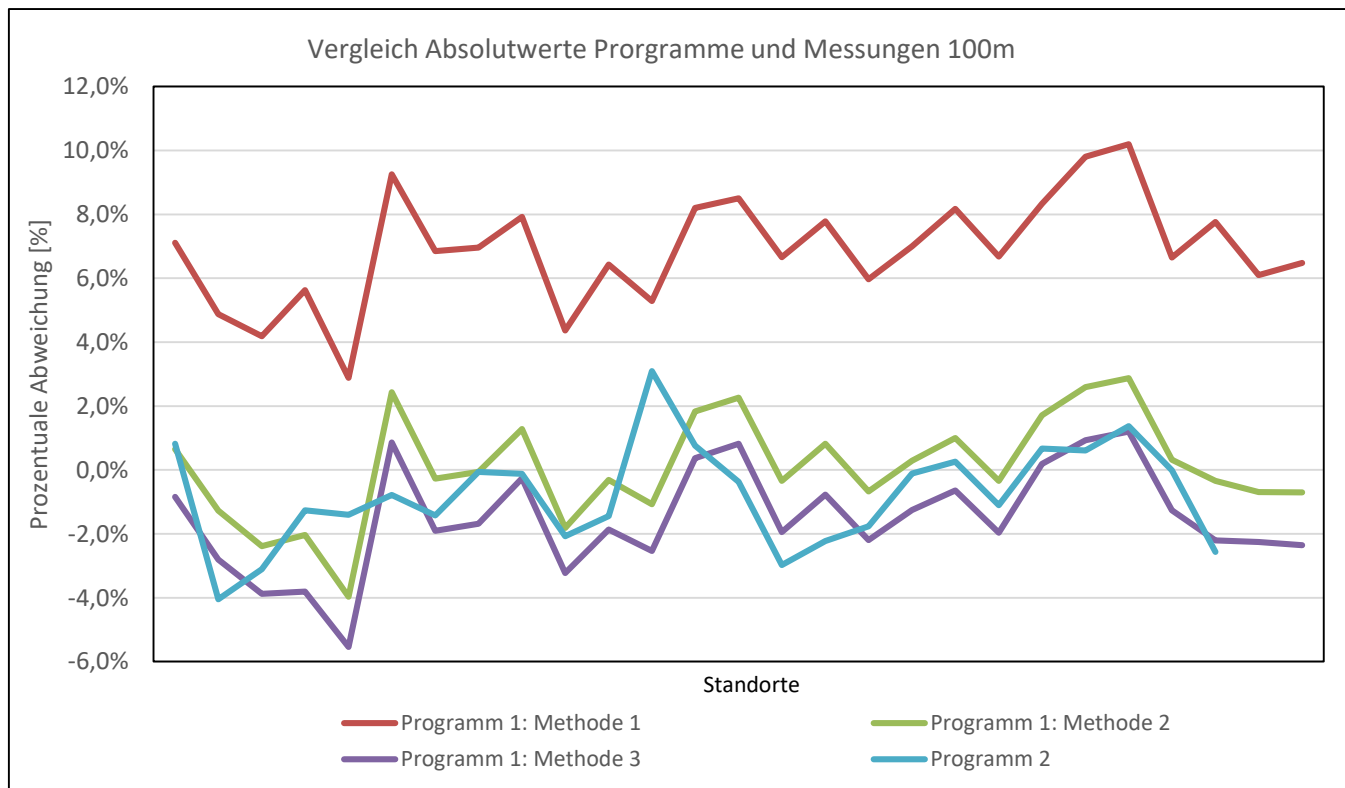
- + verwendete Programme: WASP Engineering in windPRO, WakeGuard von I17-Wind
- Berechnung der Umgebungsturbulenz auf Basis der am Standort vorherrschenden Windbedingungen unter Berücksichtigung des Geländes und der Rauigkeit
- Repräsentative Turbulenz: mittlere Turbulenz plus 1.28-fache Standardabweichung der Turbulenz

# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte

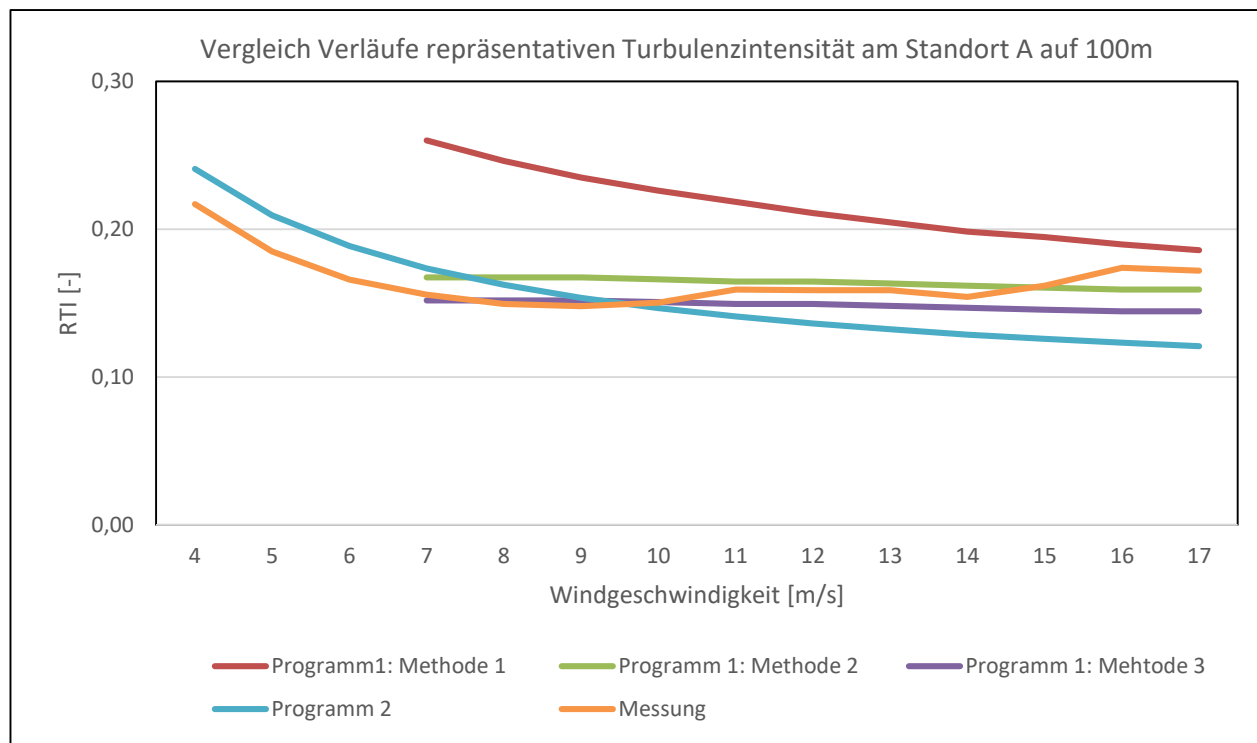
## Analyse der modellierten Turbulenzintensität



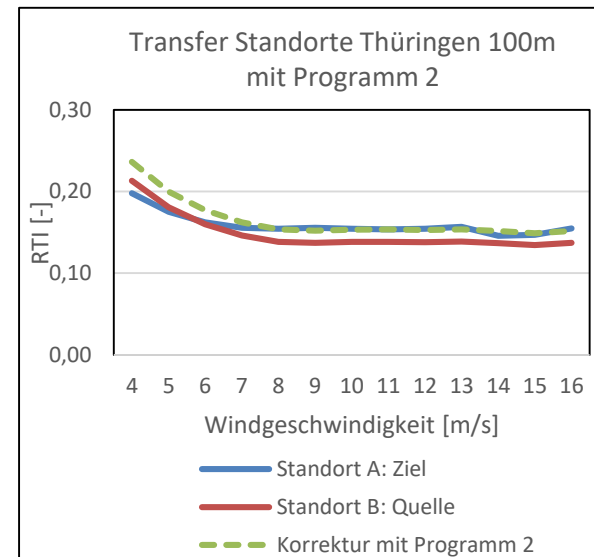
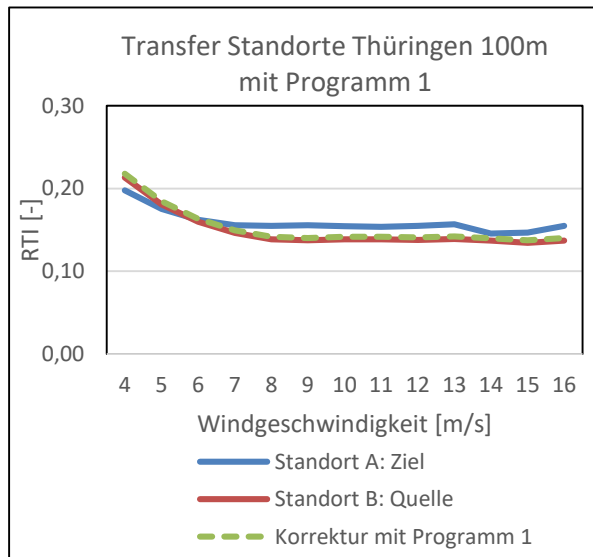
- + Turbulenzintensität wird mit den verwendeten Programmen deutlich über- oder unterschätzt



- + Verlauf der modellierten Turbulenz passt nicht zu dem Verlauf der gemessenen Turbulenz



- + Turbulenz wird von einem Standort auf einen anderen Standort übertragen
- Korrekturfaktor bildet sich aus dem Verhältnis der beiden Standorte aus den Programmen (Mittelwert)
- Anwendung der Korrektur auf die gemessene Turbulenzintensität



# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte

## Turbulenzgutachten



- + Voraussetzungen für die Übertragbarkeit der Turbulenzintensität
  - vergleichbare Rauigkeitsverhältnisse
  - vergleichbares Windklima
  - kein komplexer Standort
  
- + **Unser Vorteil:** Viele Messungen verteilt in Deutschland mit gemessenen Turbulenzen

# Turbulenzprognose für deutsche Windparkprojekte

## Quellenangaben



- + **Gasch, R., & Jochen, T.** (2015). *Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb.* Berlin: Springer Vieweg.
- + **Hamel, A.** (2015). *Can a LiDAR replace Wind Measurements with an Anemometer?*  
WKN AG
- + **Hansen, F.** (2019). *Übertragbarkeit von gemessenen Turbulenzintensitäten mit LiDAR und Messmastsystemen für geplante Windparkprojekte in Deutschland.*  
PAVANA GmbH
- + **Kopp, S.** (09. 07 2015). *Windenergie im Binnenland.* Von <http://www.windenergie-im-binnenland.de/turbulence.php> abgerufen

Pavana GmbH  
Haus der Zukunftsenergien  
Otto-Hahn-Straße 12-16  
25813 Husum (Germany)  
Telefon: +49 4841 89 44 227  
info@pavana-wind.com  
www.pavana-wind.com