

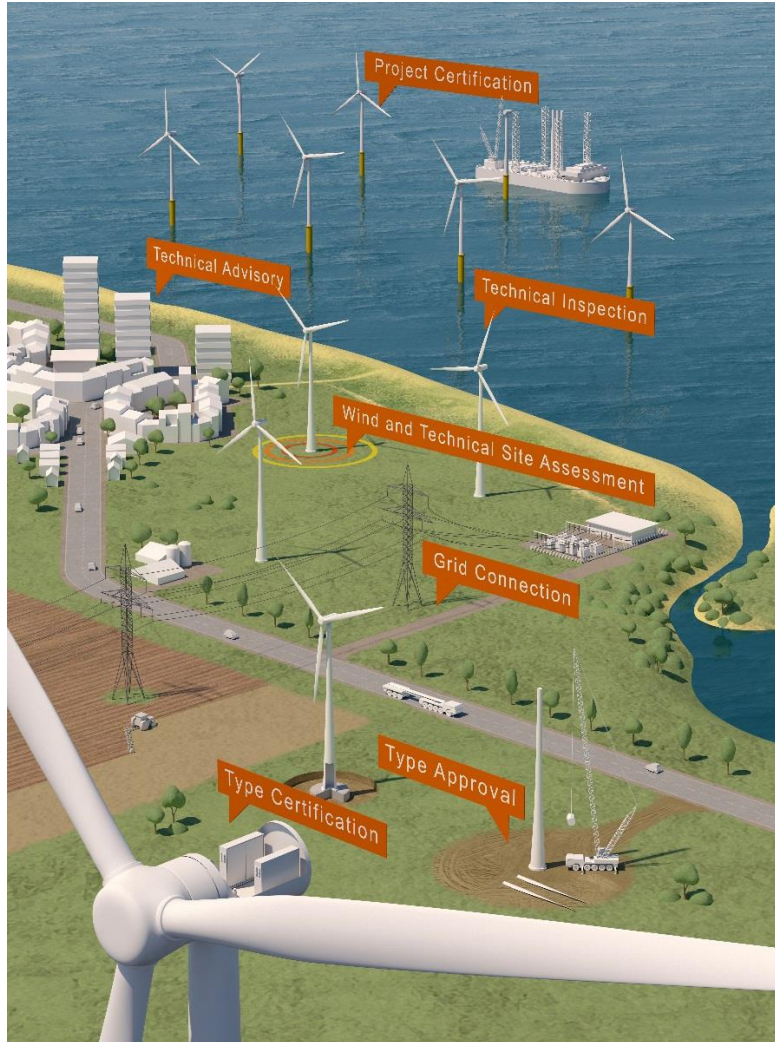


MÖGLICHKEIT ZUR VERMEIDUNG SEKTORIELLER ABSCHALTREGELUNGEN MITTELS ISPIN

Oliver Röglin

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, Hamburg

TÜV NORD WINDENERGIE



Eine der führenden Zertifizierungsstellen im Bereich der erneuerbaren Energien

- Ca. 90 Ingenieure unterschiedlichster Fachrichtungen (weltweit aktiv)
- Zertifizierung
- Technical Site Assessment
- Inspections / Wiederkehrende Prüfungen (WKP)
- **Wind Site Assessment**
 - Windpotenzial und Energieertragsprognose sowie Standortgütenachweis
 - Standorteignung einschließlich generischer Lastvergleiche
 - Schallimmissions- und Schattenwurfprognose
 - Risikobeurteilung (z.B. Eisabwurf/Eisabfall)
 - Geotechnische Standorterkundung und Gründungsberatung
 - Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

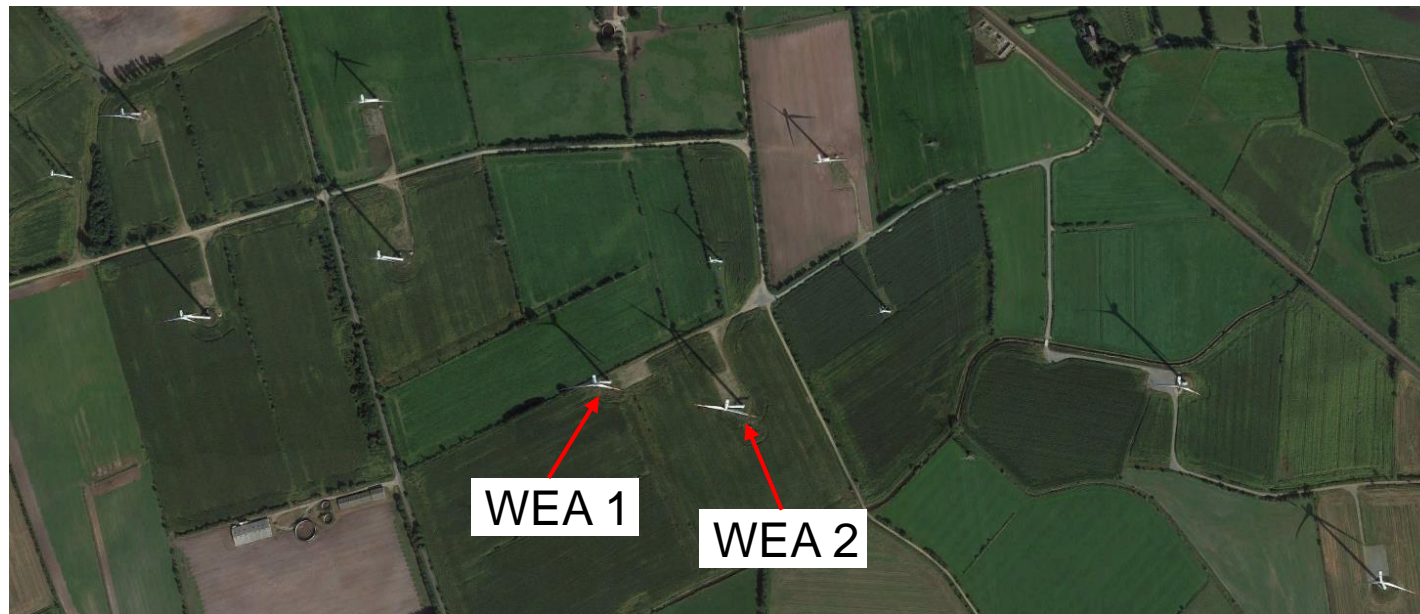
BETRIEBSWEISE VOR DER MESSUNG – WINDPARKKONFIGURATION

- Betrieb zweier WEA vom Typ Senvion 3.4M104, 3,37MW mit 78,0m bzw. 98,0m NH am Standort Jübek (Schleswig-Holstein) seit ca. 5 Jahren.
- Im Windpark werden weitere WEA in unmittelbarer Umgebung betrieben. Das Gelände in der Umgebung ist verhältnismäßig eben und wird abgesehen von einzelnen Ortschaften weitestgehend landwirtschaftlichen genutzt.
- Abstand zwischen beiden WEA beträgt ca. 193m (1,85 Rotordurchmesser D). Bei diesem geringen Abstand werden Grenzen für die Anwendbarkeit des Turbulenzmodells unterschritten und die Ergebnisse der Turbulenzintensität sind somit nicht belastbar.
- Daher wurden sektorielle Betriebsbeschränkungen in Form von Abschaltregelungen zum Schutz der benachbarten WEA bzw. zum Selbstschutz im gesamten Windgeschwindigkeitsbereich formuliert.

BETRIEBSWEISE VOR DER MESSUNG - SEKTORIELLE BETRIEBSBESCHRÄNKUNGEN

Betriebs- beschränkte WEA	Benach- barte WEA	Sektor der Betriebsbeschränkung (0° \triangleq geografisch Nord)	Windge- schwindig- keitsbereich [m/s]	Art der sektori- ellen Betriebs- beschränkung
WEA 1	WEA 2	99,9° \pm 40,4° (59,5° - 140,3°)	gesamt	Abschaltung
WEA 1	WEA 2	279,9° \pm 40,4° (239,5° - 320,3°)	gesamt	Abschaltung

← Selbstschutz im Nachlauf der WEA 2
← Schutz der WEA 2



Windparkkonfiguration

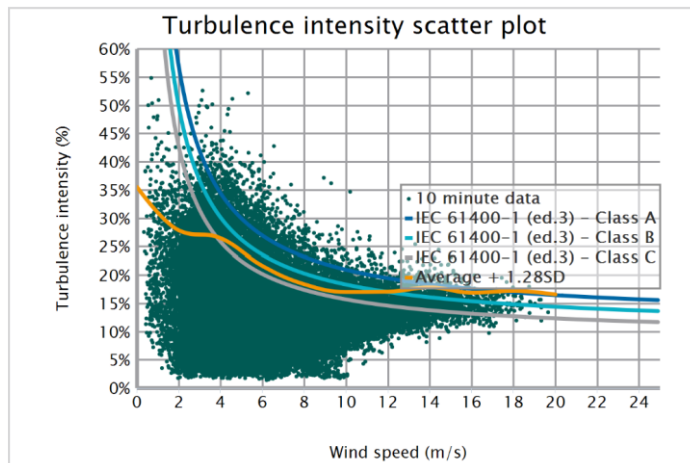
Ausschnitt aus Google Earth 2018
2009 GeoBasis-DE/BKG
Bildaufnahmedatum: 9/10/2016

DURCHGEFÜHRTE MESSUNGEN DURCH ROMO WIND – AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE

- Ziel ist die Durchführung von Windmessungen an den WEA 1 und 2 mittels iSpinner Anemometer (iSpin's) mit anschließender Ableitung belastbarer Ergebnisse in Hinblick auf die Turbulenzintensitäten im Nachlauf und einer darauffolgenden Neubewertung der Standorteignung (Standicherheit).
- Die Messungen dauerten jeweils ein Jahr und wurden Ende Mai 2019 abgeschlossen.
- Die Messergebnisse an beiden WEA wurden durch ROMO Wind jeweils zusammengefasst und TÜV NORD zur Verfügung gestellt.
- Neben Ergebnissen der Turbulenzintensität (10-Minuten-Mittelwerte) wurden u.a. auch Ergebnisse der Windgeschwindigkeit, Schräganströmung und der Temperatur dargestellt sowie die Gondelfehlerausrichtung und die Energieoptimierung ermittelt.
- Für eine Neubewertung der Standorteignung wurden nur ausgewertete Turbulenzintensitäten herangezogen (z.B. Verfälschungen der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit bei freier Anströmung aufgrund von Nachlaufeinflüssen sowie fehlender Langzeitbezug).

NACHWEIS DER STANDORTEIGNUNG DURCH AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE

- Beide WEA sind nach Kurve A gemäß DIN EN 61400-1* ausgelegt.
- Für den Nachweis der Standorteignung nach DIBt 2004** reicht der Vergleich mit den Auslegungswerten der Turbulenzintensität aus.
- Als Vergleich mit den Auslegungswerten werden die 90%-Quantilwerte herangezogen (mittlere Turbulenzintensität zzgl. 1,28-facher Standardabweichung).



Bei der Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität erfolgt Wichtung der jeweiligen sektoriellen Turbulenzintensitäten über den Exponenten der Wöhlerliniensteigung.

Eine Mittelung der Messwerte über alle Sektoren ist daher nicht geeignet und es sind Messwtergebnisse für einzelne dominante Nachlaufsektoren notwendig

Verlauf der über alle Sektoren gemittelten Turbulenzintensität

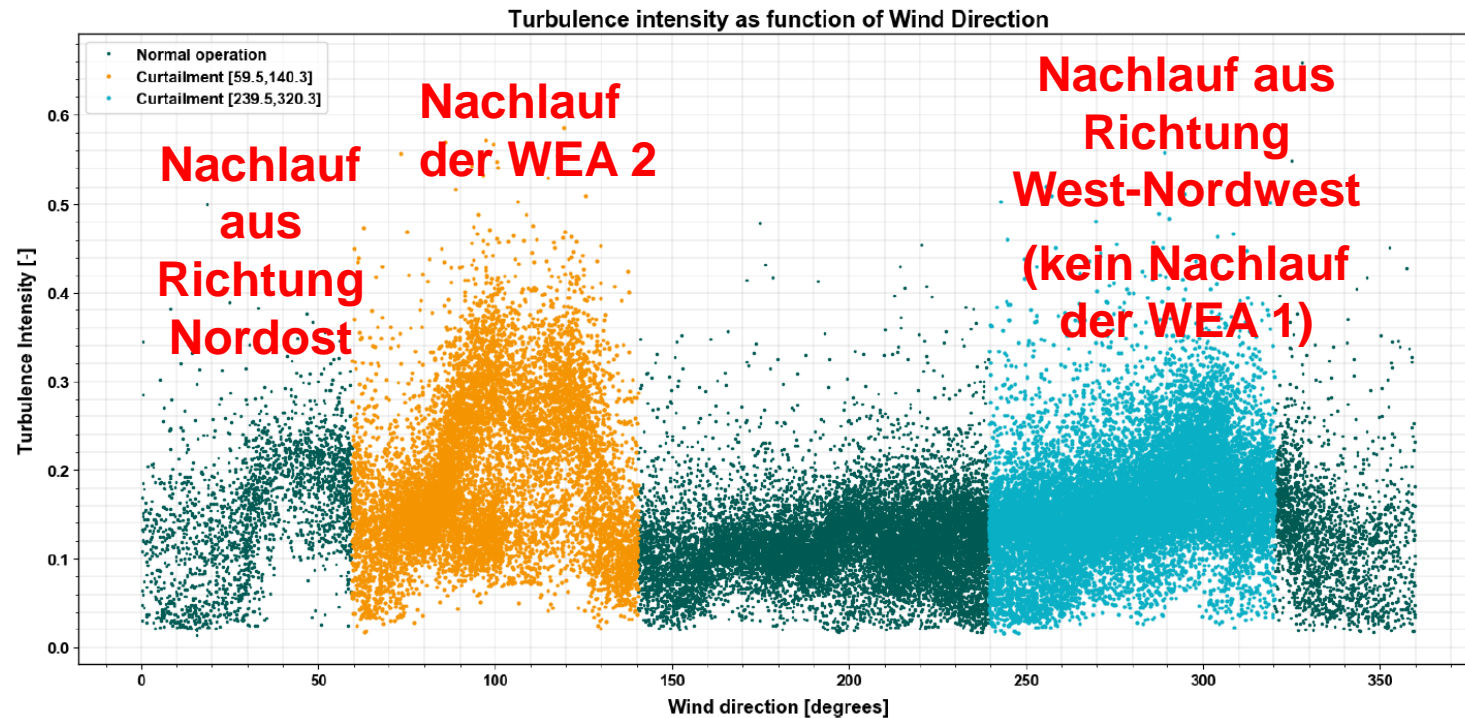
* Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127 Teil 1), Windenergieanlagen - Teil 1: Sicherheitsanforderungen (IEC 61400-1:1999, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61400-1:2004; Berlin; August 2004

** Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Richtlinie für Windenergieanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung März 2004; DIBt, Berlin; 2004

AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE - WEA 1

GESAMTES MESSSPEKTRUM ÜBER DIE WINDRICHTUNG

- 10-Minuten-Mittelwerte der Turbulenzintensität in Abhängigkeit der Windrichtung zeigen die im Vergleich zur Umgebungsturbulenz erhöhten Werte der Turbulenzintensität im Nachlauf der WEA 2 (Sektor 1: $59,5^\circ - 140,3^\circ$) und auch im Nachlauf anderer benachbarter WEA (Nordosten und West-Nordwest).

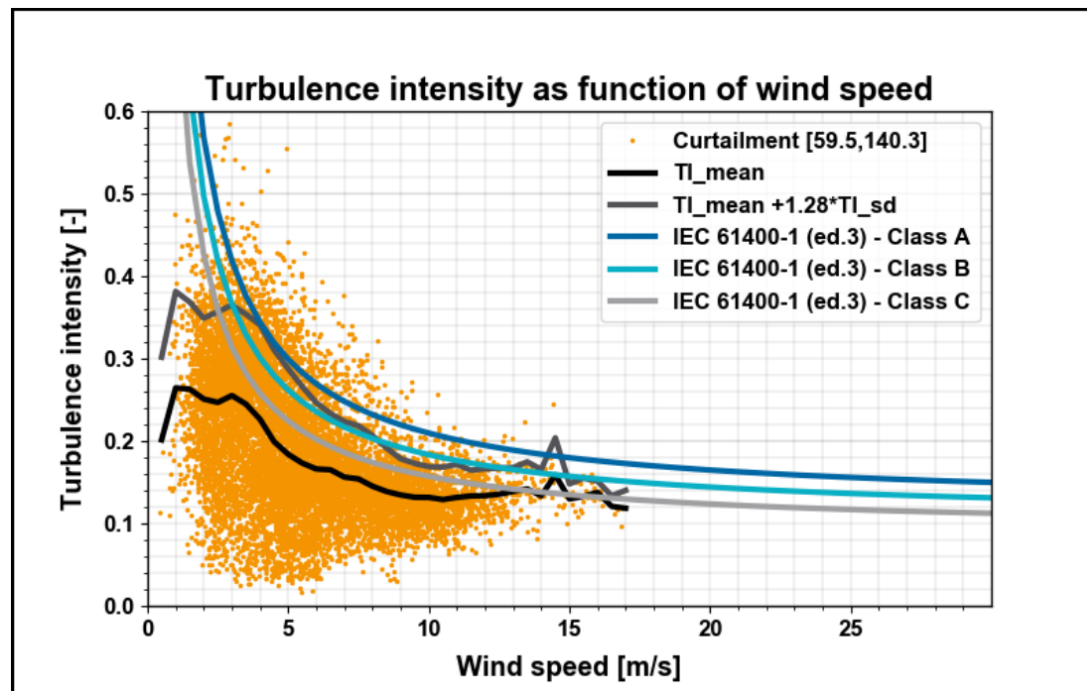


Verlauf der 10-Minuten-Mittelwerte der Turbulenzintensität in Abhängigkeit der Windrichtung

AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE - WEA 1

MESSWERTE IM NACHLAUF DER WEA 2 (SEKTOR 1)

- Die standortspezifischen 90%-Quantilwerte der Turbulenzintensitäten werden durch die Auslegungswerte (A-Kurve*) abgedeckt.



Verlauf der Turbulenzintensität für den Sektor 1 (Nachlauf der WEA 2)

Im hohen Windgeschwindigkeitsbereich nimmt die Standardabweichung der Turbulenzintensität aufgrund einer zunehmend geringeren Anzahl gemessener Werte zu. Dies erklärt allgemein den unstetigeren Verlauf im hohen Windgeschwindigkeitsbereich.

Die Überschreitung bei 14,5m/s ist sehr lokal auf einen geringen Windgeschwindigkeitsbereich bezogen und wird im Rahmen der nachfolgenden Bewertung vernachlässigt.

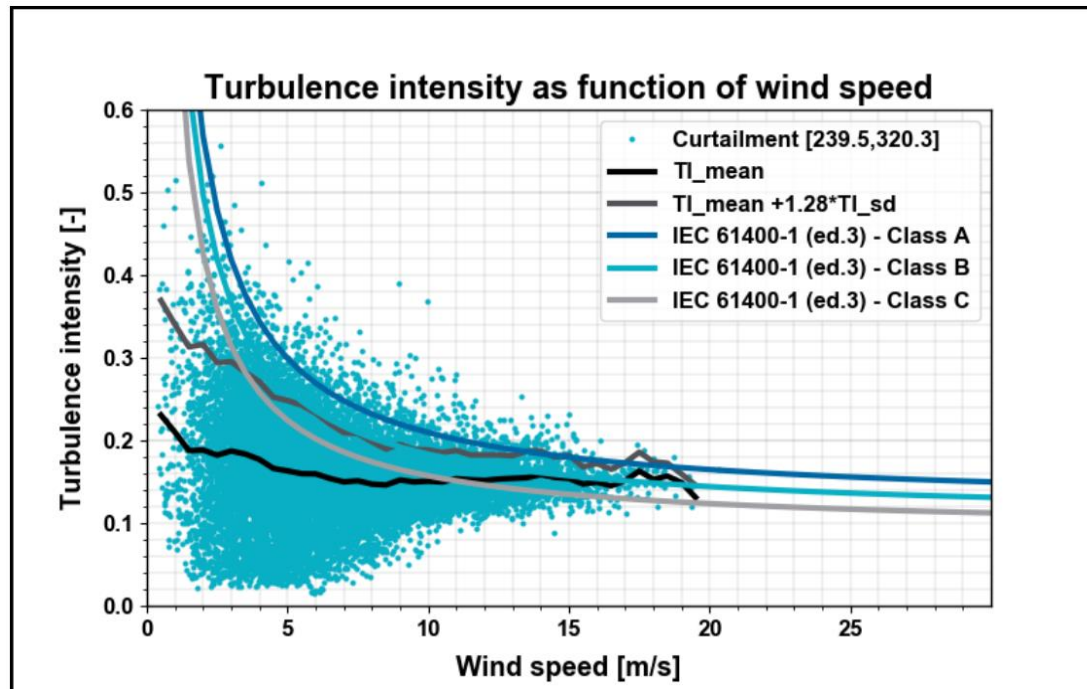
(gemäß geltender Richtlinie ist eine Verwendung von Windgeschwindigkeitsbereichen mit einer Breite von 2m/s zulässig)

* Da die dargestellte A-Kurve nach Ed.3 geringfügig unterhalb der A-Kurve nach Ed.2 liegt, ist der Vergleich mit der A-Kurve nach Ed.3 konservativ und somit abdeckend

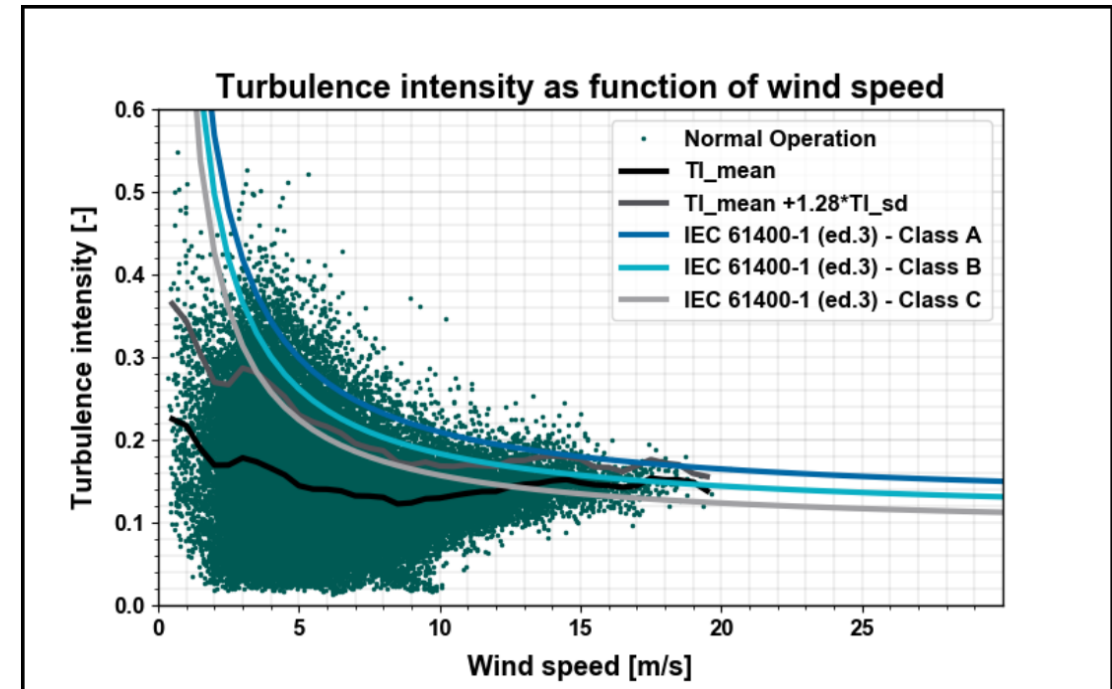
AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE - WEA 1

MESSWERTE IN DEN ANDEREN SEKTOREN

- Die standortspezifischen 90%-Quantilwerte der Turbulenzintensitäten werden durch die Auslegungswerte (A-Kurve) abgedeckt*. Besonders im niedrigen bis mittleren Windgeschwindigkeitsbereich zeigen sich geringere Turbulenzintensitäten als im Nachlaufsektor der WEA 2 (Sektor 1).



Verlauf der Turbulenzintensität für den Sektor 2 (kein Nachlauf)



Verlauf der Turbulenzintensität
(zusammengefasst für alle verbleibenden Restsektoren - teilweise Nachlauf)

* abgesehen von vereinzelt geringfügigen lokalen Erhöhungen im hohen Windgeschwindigkeitsbereich

AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE - WEA 1

NEUBEWERTUNG DER STANDSICHERHEIT

- Werte der effektiven Turbulenzintensität ergeben sich aus Integration der einzelnen Turbulenzintensitäten aller Sektoren und unter Berücksichtigung der jeweiligen Anteile der Windrichtungs- und der Windhäufigkeitsverteilung (gewichtet über den Exponenten der Wöhlerliniensteigung).
- Insbesondere Sektoren im Nachlauf sind daher lastrelevant und gesondert zu untersuchen.
- An WEA 1 werden die Auslegungswerte der Turbulenzintensität bereits im Nachlaufsektor mit den höchsten Turbulenzintensitäten (WEA 2) eingehalten.
- Da in den verbleibenden Sektoren die Differenz zu den Auslegungswerten der Turbulenzintensität noch größer ist, werden die Werte der effektiven Turbulenzintensität durch die Auslegungswerte daher auch eingehalten.
- Es ergeben sich weitere Lastreserven aufgrund anderer standortspezifischer Windparameter, welche die jeweiligen Auslegungswerte unterschreiten (z.B. mittlere Jahreswindgeschwindigkeit). Diese wurden hier jedoch nicht näher untersucht und könnten nur mittels eines standortspezifischen Lastvergleiches quantifiziert werden.

AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE - WEA 2

MESSWERTE IN DEN VERBLEIBENDEN SEKTOREN

- Im Sektor zur WEA 1 (Sektor 2: $239,5^\circ$ - $320,3^\circ$) wurden nur die Werte der Umgebungsturbulenzintensität gemessen (daher keine erhöhten Werte der Turbulenzintensität im Nachlauf), da die WEA 1 zum Schutz der WEA 2 sektoriell abschaltet.
- Ein direkter Vergleich mit den Auslegungswerten der Turbulenzintensität ist hier somit nicht möglich.
- Um eine Neubewertung der Standorteignung an der WEA 2 auf Basis von Messergebnissen nachweislich durchführen zu können müsste daher zunächst die sektorielle Abschaltregelung an der WEA 1 entfallen.
- Um die Standsicherheit der WEA 2 während der Messungen weiterhin gewährleisten zu können, müsste diese dann im Nachlauf der WEA 1 (Sektor 2: $239,5^\circ$ - $320,3^\circ$) zum Selbstschutz sektoriell abschalten.

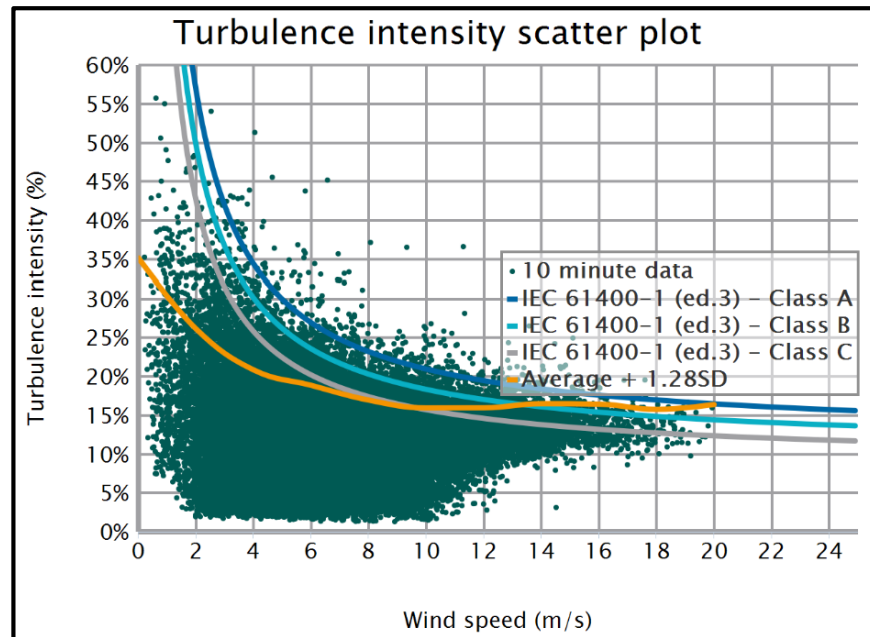
AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE - WEA 2

ÜBERTRAGBARKEIT DER MESSERGEBNISSE

- WEA 2 und WEA 1 sind bis auf die Nabenhöhe vom gleichen Typ und hinsichtlich der Turbulenzintensität nach der Kurve A gemäß DIN EN 61400-1 ausgelegt. Rotordurchmesser und Kennlinien unterscheiden sich nicht.
- Abweichende Turbulenzintensitäten im Nachlauf der WEA 1 gegenüber den Turbulenzintensitäten der WEA 1 im Nachlauf der WEA 2 sollten sich daher nur aufgrund der größeren Nabenhöhe und aufgrund einer veränderten Umgebungsturbulenz ergeben.
- Unter Annahme der Übertragbarkeit der Umgebungsrauigkeiten beider Standorte für beide Sektoren aufgrund weitgehend einheitlicher landwirtschaftlicher Umgebung und der auf den Rotordurchmesser bezogenen geringen Höhendifferenz von 20m, kann von einem geringen Unterschied in der Umgebungsturbulenz ausgegangen werden.
- An der WEA 2 im Nachlauf der WEA 1 sind daher ähnliche Werte der Turbulenzintensität wie an der WEA 1 im Nachlauf der WEA 2 zu erwarten. Die Ergebnisse der Messungen an der WEA 1 sind somit in eingeschränkter Form auf die WEA 2 übertragbar.

AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE - WEA 2

1. Die standortspezifischen 90%-Quantilwerte der Turbulenzintensitäten werden durch die Auslegungswerte (A-Kurve) abgedeckt und liegen deutlich unterhalb der Auslegungswerte im niedrigen bis mittleren Windgeschwindigkeitsbereich und geringfügig unterhalb der Auslegungswerte im hohen Windgeschwindigkeitsbereich.



Verlauf der über alle Sektoren gemittelten Turbulenzintensität

Bisherige Messungen der Turbulenzintensität an der WEA 2 sind vergleichbar mit den Messungen in den Sektoren außerhalb der definierten Abschaltbereiche an der WEA 1.

Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Werte der effektiven Turbulenzintensität an der WEA 2 auch ohne die sektorielle Abschaltregelung der WEA 1 unterhalb der Auslegungswerte der Turbulenzintensität liegen. Der Nachweis hierfür muss allerdings noch erbracht werden.

AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE - WEA 2

NEUBEWERTUNG DER STANDSICHERHEIT

- Unter der Annahme, dass Messungen an der WEA 1 auf die Messungen an der WEA 2 übertragbar sind, empfehlen wir für die weitere Bewertung der Standorteignung der WEA 2, die benachbarte WEA 1 ohne sektorielle Abschaltregelung (Sektor 2: $239,5^\circ$ - $320,3^\circ$) zu betreiben und ein weiteres Jahr die Turbulenzintensitäten im Nachlauf der WEA 1 zu messen.
- Nach Ablauf der Messungen der Turbulenzintensität muss ebenfalls der Nachweis erbracht werden, dass die Werte der Turbulenzintensität an der WEA 2 im Nachlauf der WEA 1 durch die Auslegungswerte der Turbulenzintensität eingehalten werden.
- Bis dahin sollte der Vergleich der gemessenen Werte der Nachlaufturbulenzintensität mit den Auslegungswerten zusätzlich mindestens quartalsweise durchgeführt werden.
- Im Falle von Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität während des durchgeführten Messzeitraums an der WEA 2 im Sektor 2 ist eine erneute Einschätzung bzw. Bewertung erforderlich.

AKTUELLER STAND DER GENEHMIGUNG VERFAHREN MIT ISPIN FÜR ANDERE PROJEKTE

Aktueller Stand der Genehmigung

- Aufhebung beider sektorieller Abschaltregelungen ist beantragt.
- Neubewertung von Schallemissionen nach Interimsverfahren muss wohl nicht mehr durchgeführt werden (anders als zunächst befürchtet).

Belastbare Ergebnisse - Verfahren auf andere Projekte übertragbar?

- Grundsätzlich ja, gemessene Turbulenzintensitäten fallen tendenziell geringer aus als die nach gängigen Turbulenzmodellen ermittelten Turbulenzintensitäten.
- Bei Überschreitungen im Nachlauf kann Standsicherheit evtl. nur in Kombination mit standspezifischem Lastvergleich nachgewiesen werden.
- **Für mindestens ein Jahr muss an der betroffenen WEA gemessen und diese im gesamten Windgeschwindigkeitsbereich sektoriell abgeschaltet werden.**
- Bisher zu wenig gesammelte Erfahrungen (Messergebnisse, Genehmigungen)
- Evtl. ergeben sich lasttechnische Vorteile bei geplantem Weiterbetrieb (längere Laufzeit)
- Empfehlung: Stets vorherige Abstimmung mit zuständiger Genehmigungsstelle

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Fragen und Rückmeldungen gerne an:

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG

Oliver Röglin

Sachverständiger Wind Site Assessment Renewables

Große Bahnstraße 31

22525 Hamburg, Germany

Phone +49 40 8557 2390

Email: renewables@tuev-nord.de

