

Turbulenz in Onshore-Windparks – die hohe Turbulenzverträglichkeit der eno 3.5 MW-Plattform

Dr.-Ing. Martin Hörenz,
eno energy systems GmbH, Forschungsabteilung



Inhalt

- 1 Die eno energy Gruppe
- 2 Turbulenz und Standsicherheit
- 3 Das eno up.site-Prinzip
- 4 Bedeutung für die Windpark-Planung
- 5 Ausblick

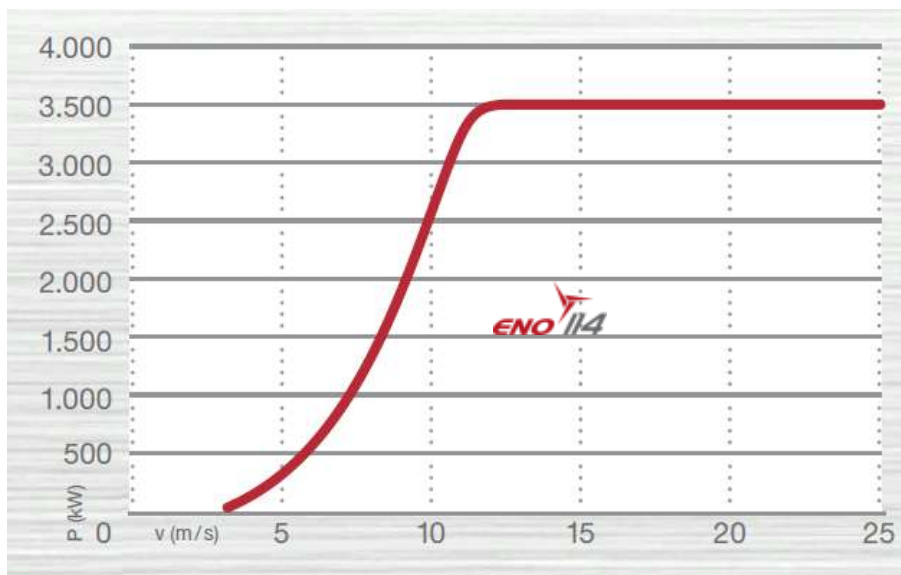
Überblick

- **Gründung:** 1999
- **Struktur:** inhabergeführt
- **Mitarbeiter:** ca. 200
- **Referenzen:** 202 WEA / 332 MW
(fremde Herstellung)
+ 68 WEA / 148 MW
(eigene Herstellung)
- **Standorte:** Deutschland, Frankreich, Schweden, UK
- **Geschäftsbereiche:** Windenergieanlagenherstellung,
Standortevaluierung & Windparkdesign,
Finanzierung & Vertrieb,
Betriebsführung, Service & Wartung



Kenndaten der eno Windenergieanlagen

	<i>ENO 82</i>	<i>ENO 92</i>	<i>ENO 100</i>	<i>ENO 114</i>	<i>ENO 126</i>
Rotordurchmesser [m]	82,4	92,8	100,5	114,9	126,0
Nennleistung [MW]	2,05	2,2	2,2	3,5	3,5
IEC-Windklasse	II A	III A	III A	II S	III S
DIBt-Windzone	WZ III	WZ II	WZ II	WZ III	WZ II



Definition der Turbulenz

➤ Turbulenz

- zufällige Schwankungen von der mittleren Windgeschwindigkeit
- gekennzeichnet durch Bildung und Zerfall von Wirbeln
- T.-Intensität: Standardabweichung / mittlere Windgeschwindigkeit

➤ Unterscheidung im Windpark

- Umgebungsturbulenz (freie Anströmung)
- anlageninduzierte Turbulenz (Nachlaufturbulenzen)
- effektive Turbulenz: berücksichtigt beide



Umgebungsturbulenz und induzierte Turbulenz

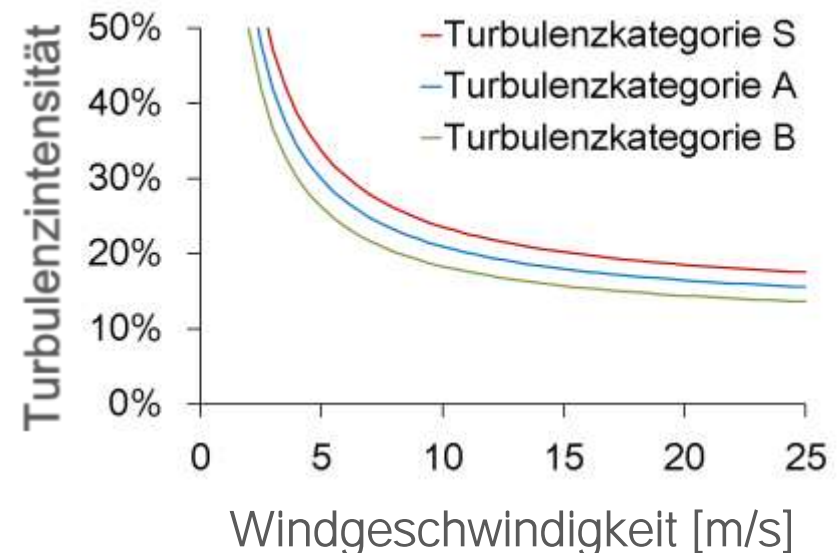
- **Umgebungsturbulenz: Abhängigkeit vom Standort**
 - Kennwert: Rauigkeitslänge bzw. Rauigkeitsklasse
 - **starke Abhängigkeit von Gelände („Geländekategorie“)**

- **Induzierte Turbulenz: Abhängigkeit von Anlagenparametern**
 - Aerodynamik & Betriebsweise (Kennwerte: c_p & c_T)
 - Ingenieurmodelle beschreiben Nachlaufentwicklung hinter WEA

- **Planung von Windparks**
 - Nachweis: effektive Turbulenz < Turbulenzfestigkeit
(sonst Abschaltung notwendig)
 - Turbulenz normalisiert sich mit zunehmendem Abstand von WEA
 - Anpassung der Anlagenabstände, so dass möglichst keine turbulenzbedingte Abschaltungen notwendig sind

Standsicherheit von Windenergieanlagen

- **Turbulenzfestigkeit: Anlagenkennwert**
 - charakterisiert, wieviel Turbulenz eine WEA verträgt
 - berücksichtigt unterschiedliche Windgeschwindigkeiten
- **übliche Auslegung auf Turbulenzfestigkeit nach Kategorie A (Norm)**
 - IEC 61400-1, ed. 3 (aktuelle Norm): 16%
 - Standard für eno 2 MW-Plattform (eno 82, eno 92 & eno 100)
- **erweiterte Turbulenzfestigkeit**
 - Übererfüllung der Norm:
18% Turbulenzfestigkeit
(Turbulenzsonderklasse S)
 - gültig für eno 3.5 MW-Plattform
(eno 114, zukünftig eno 126)
 - Reserven bei hoher Turbulenz



Anlagendesign für einen optimalen Betrieb im Windparkverbund

- hohe Turbulenzfestigkeit:
 - Verwendung erprobter Konzepte und Komponenten (Getriebe, klassischer Aufbau der Rotorblätter, ...)
 - Auslegung der Komponenten auf höhere Wechsellastfestigkeit (Rotorblätter, Tragstruktur, Triebstrang)

- Entwicklung von Rotorblättern mit neuen Profilen im Außenbereich
 - geringer Widerstandsbeiwert der Rotorprofile
 - Reduktion der induzierten Turbulenz (Nachlauf)

- hohe Turbulenzverträglichkeit
 - großer Anstellwinkelbereich mit positiven aerodynamischen Eigenschaften
 - höherer Ertrag im turbulenten Wind



Höhere Flächenwirtschaftlichkeit



➤ höhere Flächenwirtschaftlichkeit

- Erhöhung der Anlagendichte im Windpark / kompakteres Windpark-Layout
- nahezu keine Veränderung der Parkwirkungsgrade
- Windpark-Design ohne turbulenzbedingten Abschaltverluste
- Möglichkeiten für Repowering-Vorhaben

eno up.site = hohe Turbulenzfestigkeit & -verträglichkeit
+ Reduktion anlageninduzierter Turbulenzen

Berücksichtigung der höheren Turbulenzfestigkeit

- höhere Turbulenzfestigkeit: von Gutachtern & Behörden anerkannt, durch Zertifizierer bestätigt
 - eno 114 & eno 126
 - eno 2 MW-Plattform: Turbulenzkategorie A (eno 82, eno 92 & eno 100)
- Bsp.: Gutachter f2e –Berechnungstool wake2e
 - Abschätzung: Auswahl der Sonderklasse „S“: „8“ ($I_{ref} = 18\%$ nach IEC 61400-1 ed.3)
 - bei der Planung mit eno 114 zuweisen
- Beauftragung eines Standsicherheitsgutachtens
 - Gutachter gesondert auf die höhere Turbulenzfestigkeit der eno 114 / eno 126 hinweisen...



Vielen Dank!



eno energy GmbH
eno energy systems GmbH

Am Strande 2 e
18055 Rostock
Germany

Telefon: +49 (0)381 . 203792 - 100

Fax: +49 (0)381 . 203792 - 101

E-Mail: info@eno-energy.com

Internet: www.eno-energy.com