

RENEWABLES MEASUREMENTS GERMANY

Trailing Edge Serrations (TES)

Sind Ertragssteigerung und Erhöhung der Anwohnerakzeptanz miteinander vereinbar?

Wer ist DNV GL ?

DNV·GL



WINDTEST
Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH



GL
GL Group

KEMA


NOBLE DENTON


GARRAD
HASSAN


ADVANTICA

Unsere Dienstleistungen im Energiesektor



Markt und Energiepolitik



Erzeugung



Übertragung &
Verteilung



Nutzung

Wir sind seit nunmehr drei Jahrzehnten die weltweit führenden technischen Experten im Bereich Windenergie. Diese Erfahrung und das Know-how unseres weltweiten Teams stehen Ihnen jederzeit zur Verfügung.

Messungen – Gutachten – Prüfungen – Tests

Trailing Edge Serrations (TES)

Sind Ertragssteigerung und Erhöhung der Anwohnerakzeptanz miteinander vereinbar?

- Geräuschquellen von Windenergieanlagen (WEA)
- Motivation zur Geräuschminimierung von Windenergieanlagen
- Herleitung und Funktion von TES
- Nachrüstung
- Aktiver Immissionsschutz bei Bestandsanlagen durch Nachrüstung
- Beispielrechnung für eine WEA
- Vorgehen zur Nachrüstung von Serrations
- Resümee

Trailing Edge Serrations

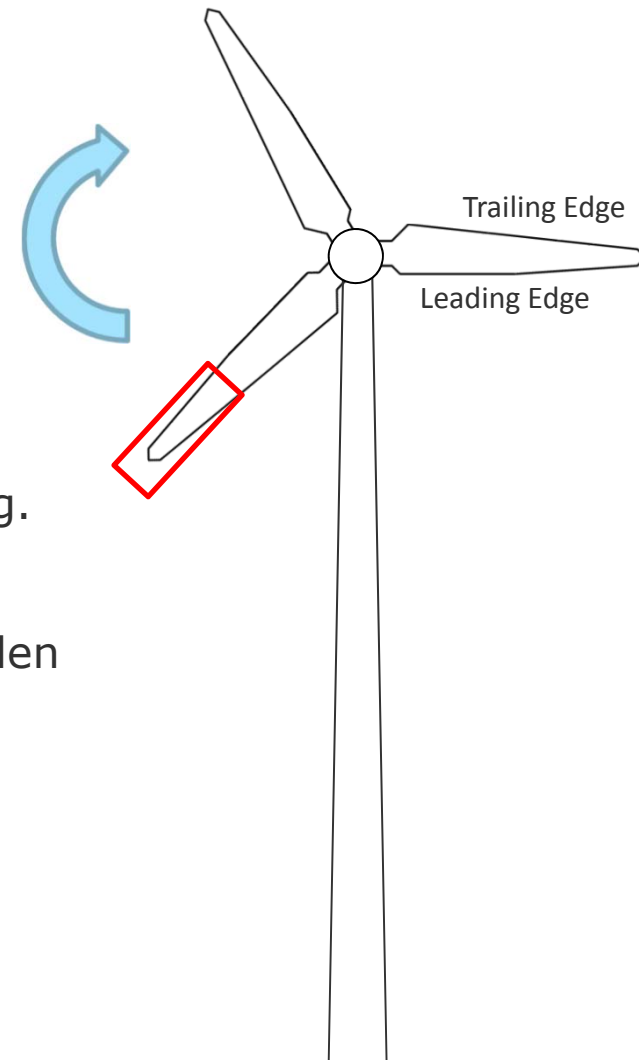
Geräuschquellen von Windenergieanlagen (WEA)

■ Maschinenhaus

- Hauptsächlich mechanische Geräusche
- verursacht durch
 - Getriebe
 - Generator
 - Leistungselektronik
- Meist niederfrequent, gelegentlich auch tonhaltig.

■ Rotorblätter

- Bilden mit ihren aerodynamischen Geräuschen den dominanten Anteil im Gesamtgeräusch
- Geräusche entstehen hauptsächlich im äußeren Drittel des Blattes (Blattspitzengeräusche)
- Umströmung der Blatthinterkante
- Blattoberfläche (Airfoil) Eigengeräusch.



Trailing Edge Serrations

Motivation zur Geräuschminimierung von Windenergieanlagen

- Die Anzahl von (guten) Standorten für Windenergieanlagen sinkt.
 - Verbleibende Flächen müssen optimal ausgenutzt werden.
 - Anwohnerschutz und Akzeptanz ist dabei sehr wichtig.
 - Maximalwerte nach TA Lärm für den Tag- und Nachtbetrieb:
 - in Kern-, Dorf- und Mischgebieten 60 dB(A) und 45 dB(A)
 - in allgemeinen Wohn- und Kleinsiedlungsgebieten 55 dB(A) und 40 dB(A)
 - Die Geräuschabstrahlung (der Schallleistungspegel) der einzelnen WEA bestimmt somit maßgeblich die maximale Anzahl von WEA.
 - Planungsgrundlage ist in der Regel der Schallleistungspegel der WEA für den **offenen** Betrieb bei Einhaltung des Tagesmaximalpegels (neuerdings Oktavspektrum der Schallleistung)
 - Dies führt oftmals zu **schalloptimierten** Betriebsarten zur Einhaltung des genehmigten Schallleistungspegels in der Nacht (für die Zeit von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr)
 - Nachteil: Ertragseinbußen

Trailing Edge Serrations

Motivation zur Geräuschminimierung von Windenergieanlagen

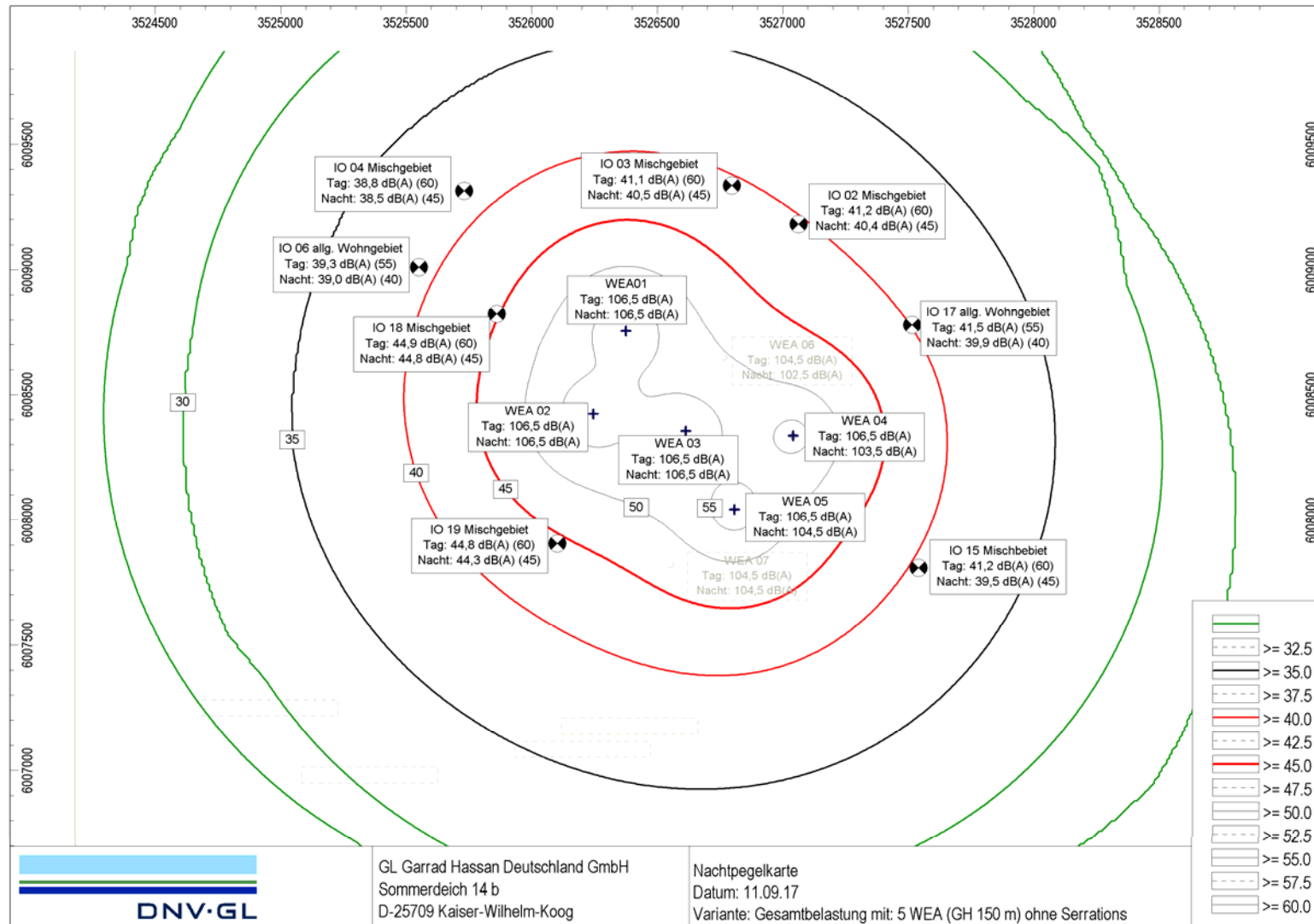
- Wenn die Berücksichtigung eines geringeren Schallleistungspegels bereits in der Planungsphase möglich ist:
 - Reduzierung des Schallleistungspegels um 2 dB(A) erlaubt bei gleicher Fläche bis zu 50% mehr WEA.
- Hersteller haben den elektromechanischen Geräuschanteil (Getriebe, Generatoren) stetig reduziert.
- Blattgeräusche bleiben aber weiterhin der dominante Teil.

Allgemein gilt für die Motivation zur Geräuschreduzierung:

- Die Verringerung der Geräuschabstrahlung führt zur Entlastung der Anwohner und somit zu einer erhöhten Akzeptanz der Windenergie.

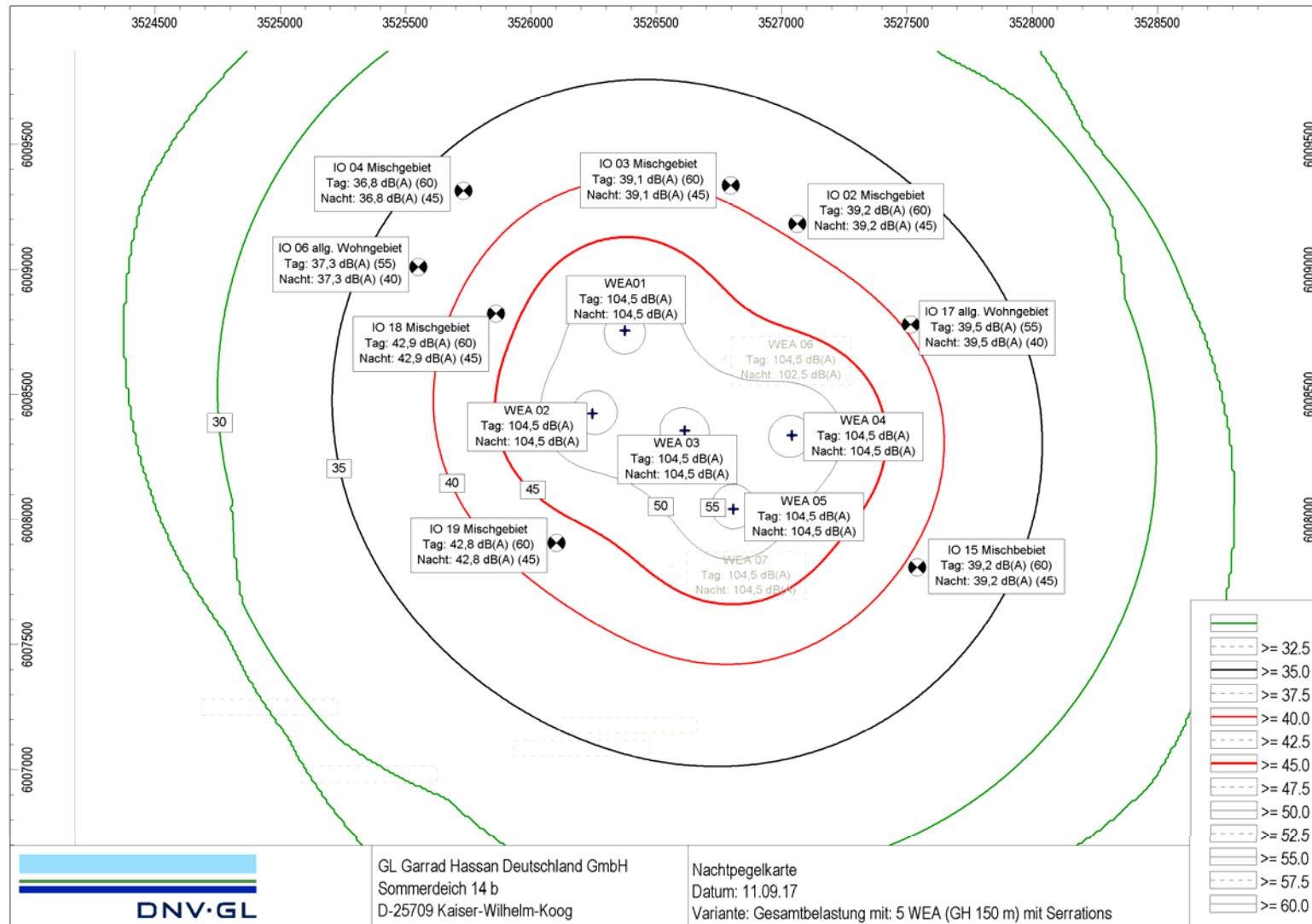
Trailing Edge Serrations

Nachtpegelkarte, 5 WEA ohne Serrations



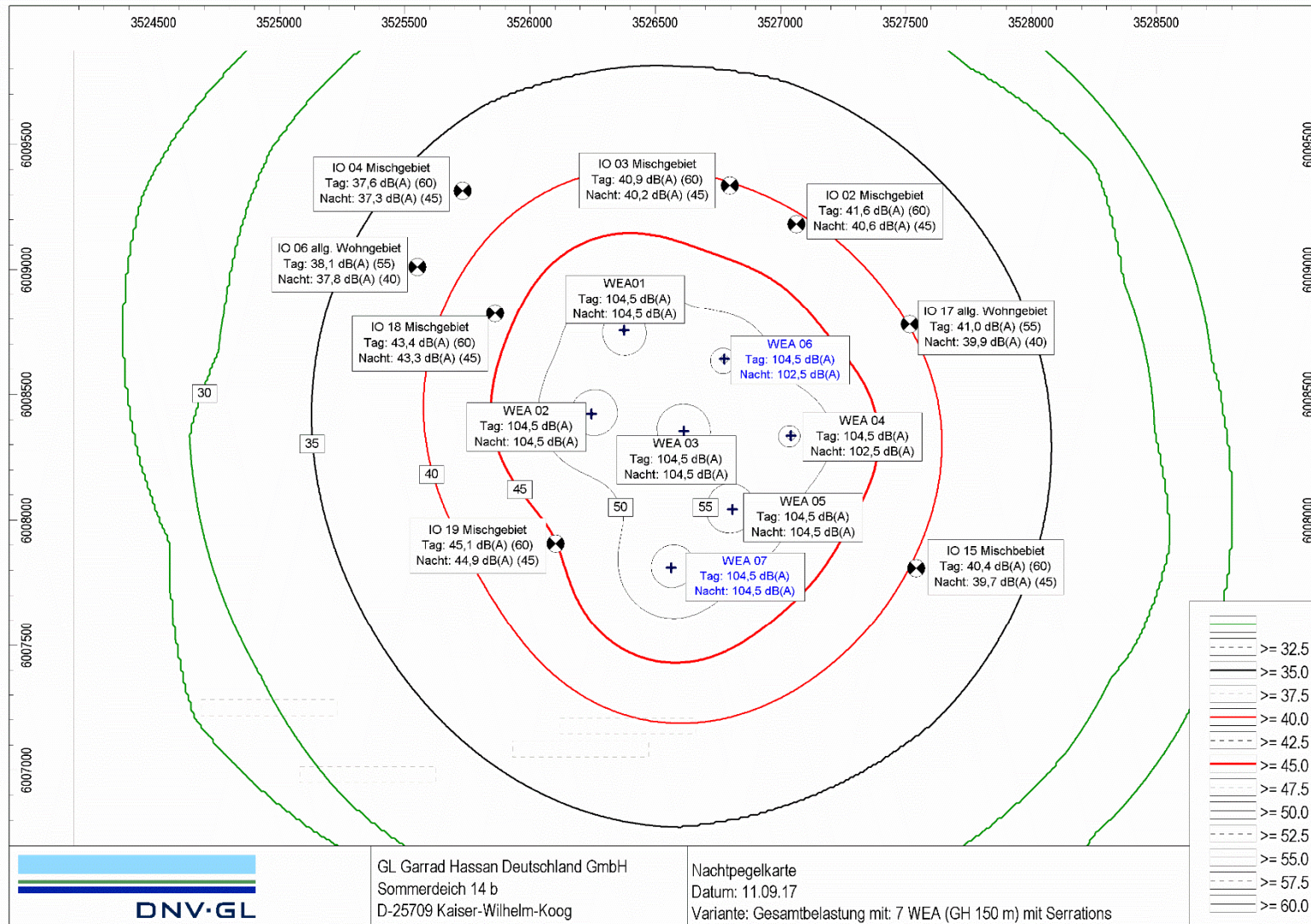
Trailing Edge Serrations

Nachtpegelkarte, 5 WEA mit Serrations



Trailing Edge Serrations

Nachtpegelkarte, 7 WEA mit Serrations



GL Garrad Hassan Deutschland GmbH
Sommerdeich 14 b
D-25709 Kaiser-Wilhelm-Koog

Nachtpegelkarte
Datum: 11.09.17
Variante: Gesamtbelastung mit: 7 WEA (GH 150 m) mit Serrations

Trailing Edge Serrations

Herleitung und Funktion

- Begriff stammt aus der Strömungsmechanik:
 - Trailing edge: Abströmkante
 - Serration: Zahnreihe, Reihe von Kerben
- Im Deutschen auch: „Hinterkantenkamm“



Blattspitzengeschwindigkeit bei 150m
Rotordurchmesser ca. 200 bis 300 km/h!

Trailing Edge Serrations

Herleitung und Funktion

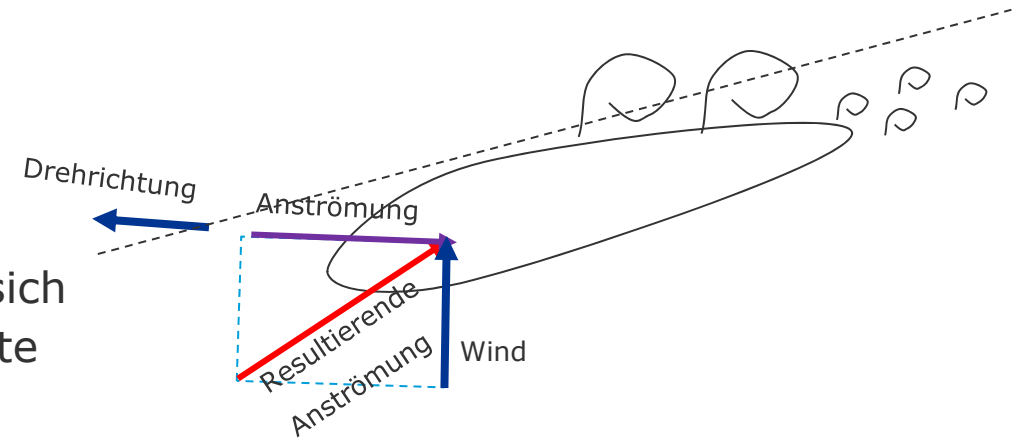
- In der Luftfahrt sind die Serrations schon länger verbreitet und wurden der Natur abgeschaut
- Vorbild sind die Flügel und Federn der Eulen, die damit nahezu lautlos fliegen
- Die Natur hat die Flügel des Raubvogels mit drei unterschiedlichen „Schalldämpfern“ ausgestattet:
 - An der Vorderseite (Anströmkante, Leading Edge) befindet sich ein Streifen aus steiferen Federn.
 - Die Flügeloberseite besitzt eine samtartige Struktur, die Geräusche verringert.
 - An der Rückseite (Abströmkante, Trailing Edge) sitzen kammartig angeordnete, weiche und fransige Federn.



Trailing Edge Serrations

Herleitung und Funktion

- Im Rotorblattdesign wurden die kammartig angeordneten, gezackten Federn der Eulenflügel mit den sogenannten „Serrations“ umgesetzt.
 - Auf der Rotorblattoberfläche bildet sich bei der Umströmung eine sogenannte Grenzschicht aus, in der sich Turbulenzen (Wirbel) unterschiedlicher Größe bilden.
 - Im Bereich der Blatthinterkante erzeugen diese dann das typische, breitbandige Geräusch eines Rotorblattes (Hinterkantenschall).
 - Der entstehende Luftstrom um das Rotorblatt mit seinen großen Wirbeln wird durch die Zacken an der Blatthinterkante in kleinere Wirbel aufgelöst, dadurch reduziert sich das Blattgeräusch.
 - In der Praxis werden Reduzierungen des Schalleistungspegels einer WEA zwischen 1 und 3 dB(A) bei Nachmessungen festgestellt.



Trailing Edge Serrations

Nutzen

- Neuanlagen:
 - Rotorblätter sind zur Geräuschreduzierung bereits „ab Werk“ ausgestattet
 - Parks können mit höherer Anzahl von WEA geplant werden
 - Optimale Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Flächen
- Bestandsanlagen:
 - Position und somit das Parklayout stehen fest
 - Oftmals schalloptimierter Betrieb in der Nacht notwendig

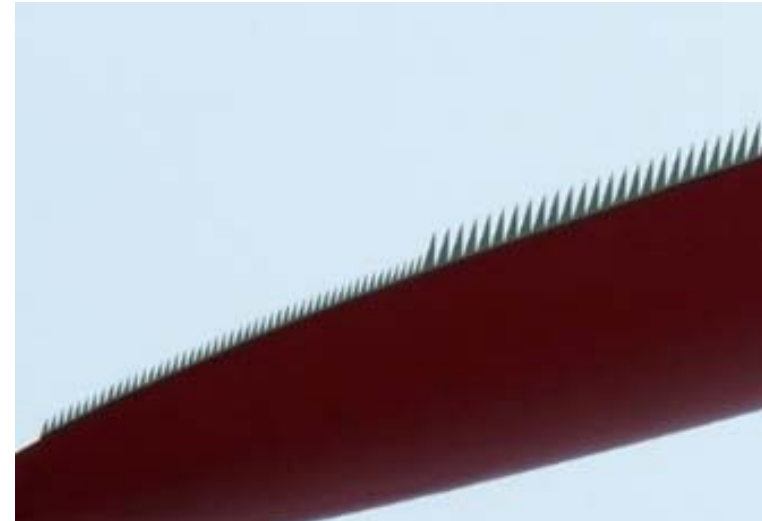
Idee:

Motivation zum aktiven Immissionsschutz schaffen durch Nachrüstung von TES

Trailing Edge Serrations

Nachrüstung

- Die Nachrüstung erfolgt im Moment meist nur dann, wenn die WEA den in der Ausbreitungsrechnung angenommenen und schließlich in der Baugenehmigung festgelegten Schallleistungspegel bei der Nachmessung überschreitet
 - Serienstreuung, standortspezifische Einflüsse, ...
- Nachmessung: Nachweis der Einhaltung von Immissionsrichtwerten durch eine gemäß §29b Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) benannte Stelle gegenüber der genehmigenden Behörde



Trailing Edge Serrations

Aktiver Immissionsschutz bei Bestandsanlagen durch Nachrüstung

Motivation zur Umsetzung des aktiven Immissionsschutzes:

- Bestandsanlagen optimieren, die die Grenzwerte für den Schalleistungspegel einhalten, hierfür aber **nachts** in einen **schalloptimierten** Betrieb versetzt werden müssen
 - Nachrüstung von Serrations kann dazu führen, dass die WEA nachts in einer leistungsstärkeren Betriebsart betrieben werden darf
 - Ertragssteigerung (schalloptimiert bedeutet in der Regel leistungsreduziert)
 - Ein jährlicher Mehrertrag von 5 - 10 % ist erreichbar

Positiver Nebeneffekt:

Auch tagsüber ist die WEA leiser, somit werden die Anwohner entlastet und die Akzeptanz wächst!



Trailing Edge Serrations

Beispielrechnung für eine WEA mit 2,3 MW Nennleistung

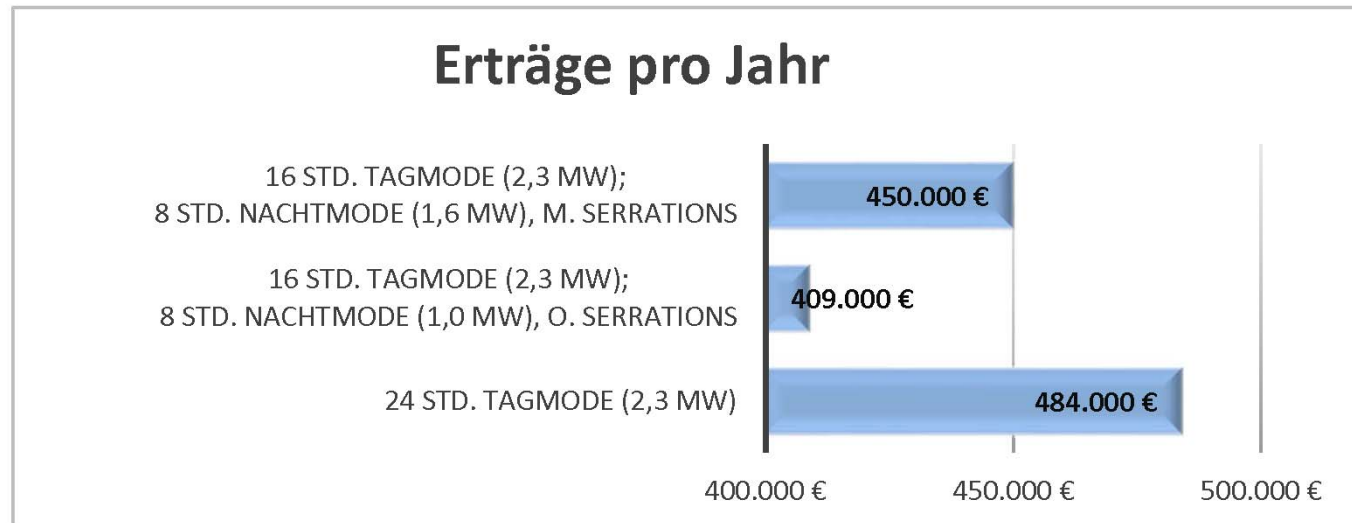
Prognostiziertes Ergebnis für eine WEA, die aufgrund der schalltechnischen Auflagen aus der Baugenehmigung nachts auf 1,0 MW reduziert betrieben wird und nach der Installation von Serrations mit 1,6 MW betrieben werden darf.

Annahmen für die Beispielrechnung:

- Standort in Schleswig-Holstein
- 2,3 MW Nennleistung
 - 1,0 MW schalloptimierter Nachtmode ohne Serrations
 - 1,6 MW schalloptimierter Nachtmode mit Serrations
- ca. 30 % Volllastbetrieb am Tag (2,3 MW)
- ca. 40 % Volllastbetrieb nachts (1,0 MW, o. Serrations)
- ca. 35 % Volllastbetrieb nachts (1,6 MW, m. Serrations)
- 0,08 €/kWh EEG Einspeisevergütung

Trailing Edge Serrations

Beispielrechnung für eine WEA mit 2,3 MW Nennleistung



- Ergebnis hier: ca. 40.000 € Mehrertrag pro WEA und Jahr
 - Je nach WEA-Typ und der Leistungssteigerung bei Änderung des schalloptimiertem Betriebes auch weniger, z.B. 6.000 € bis 8.000 € / Jahr
- Gesamtkosten für die Nachrüstung:
 - Je nach WEA- und Rotorblatttyp zwischen 30.000 € und 40.000 €

Trailing Edge Serrations

Vorgehen zur Nachrüstung von Serrations

- Zielgruppe sind vornehmlich WEA, die bedingt durch die Auflagen in der Baugenehmigung nachts reduziert betrieben werden müssen.
- Prüfung, ob die WEA mit Serrations nachrüstbar ist.
- Wenn ja ist festzustellen, mit welchem „leistungsstärkeren“ Betriebsmode der genehmigte Nachtpegel wie bisher eingehalten werden kann.
- In Erfahrung bringen, ob durch die Nachrüstung andere akustische Effekte eventuell in den Vordergrund treten.
- Überschlägige Ertragsprognose, ob die Nachrüstung ökonomisch sinnvoll ist
 - Restlaufzeiten
 - Einspeisevergütung etc.
 - Optional detaillierte Ertragsprognose und Rentabilitätsbetrachtung

Trailing Edge Serrations

Vorgehen zur Nachrüstung von Serrations

- Individuelle Ermittlung der Gesamtkosten für
 - Gutachten
 - Nachrüstung
 - Schallmessung
- Kommunikation mit den Genehmigungsbehörden
 - Änderungsanzeige für die Baugenehmigung
- Schallmessung zum Nachweis der Einhaltung des genehmigten Pegels

Trailing Edge Serration

Resümee

- Der Schallleistungspegel einer WEA bestimmt maßgeblich die Anzahl von WEA in einem Windpark, wobei die zur Verfügung stehenden Flächen kleiner werden.
- Serrations können den Schallleistungspegel einer WEA um 1 bis 3 dB(A) reduzieren.
- Die Nachrüstung von Serrations an Bestandsanlagen, die zur Einhaltung des in der Baugenehmigung vorgeschriebenen maximalen Schallleistungspegel für den Nachtbetrieb leistungsreduziert betrieben werden, amortisiert sich durch den gesteigerten Ertrag im Nachtbetrieb nach einigen Jahren.
- Die Nachrüstung von Serrations
 - ist aktiver Immissionsschutz der Anwohner durch den geringeren Geräuschpegel auch und gerade im Tagbetrieb.
 - Steigert die Akzeptanz der Windenergie.



Vielen Dank für Ihr Interesse!

RENEWABLES MEASUREMENTS GERMANY

**Axel Sachse, Dipl.-Ing.(FH)
+49 4856 901-38
axel.sachse@dnvgl.com**