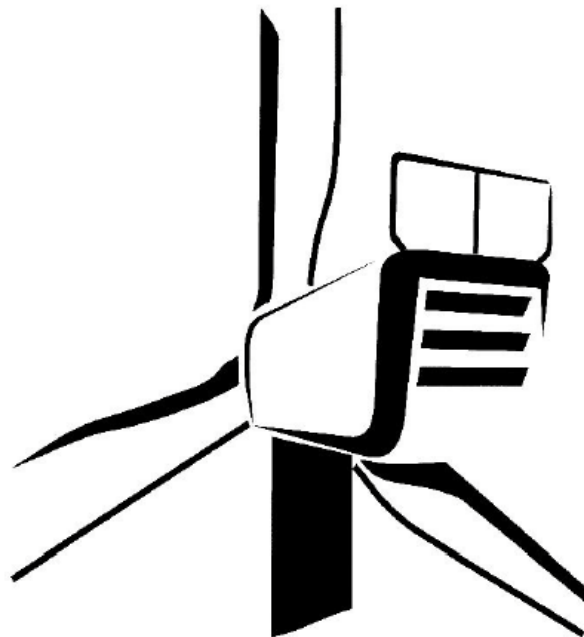
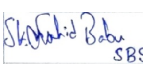




	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0801_077528_DE
		Rev.: 12
OPTION SERRATIONS AN NORDEX-BLÄTTERN Product series K08 Delta, Delta4000		Seite: 1 / 7



- Übersetzung des Originaldokuments (E0003182127, Revision 10) -
 Dies ist eine Übersetzung aus dem Englischen. Im Zweifelsfall ist der englische Text maßgebend.

Sprache: DE – Deutsch
 Abteilung: Engineering/ CPS / Processes & Documents

Autor  SBS 24-07-2024	Prüfer  A.G.L. 09-08-2024	Freigeber  ZBA 12-08-2024
---	---	---

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0801_077528_DE
		Rev.: 12
OPTION SERRATIONS AN NORDEX-BLÄTTERN		Seite: 2 / 7

Dieses Dokument, einschließlich jeglicher Darstellung seines Inhalts, vollständig oder in Teilen, ist geistiges Eigentum der Nordex Energy SE & Co. KG. Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen sind ausschließlich für Nordex-Mitarbeiter und Mitarbeiter von vertrauenswürdigen Partner- und Subunternehmen der Nordex Energy SE & Co. KG und Nordex SE und deren verbundenen Unternehmen im Sinne der §§ 15ff. des Aktiengesetzes (AktG) bestimmt und dürfen keinesfalls (auch nicht in Auszügen) an Dritte weitergegeben werden.

Alle Rechte vorbehalten.

© 2024 Nordex Energy SE & Co. KG, Hamburg, Deutschland

Dieses Dokument enthält Informationen, deren Eigentumsrechte bei der Nordex Group liegen und die ohne die vorherige schriftliche Genehmigung durch autorisiertes Personal der Nordex Group nicht kopiert, verwendet, veröffentlicht oder in irgendeiner Form an Dritte weitergegeben werden dürfen. Alle hierin enthaltenen Informationen sind vertraulich zu behandeln und ausschließlich zum Nutzen der Nordex Group zu verwenden.

Anschrift des Herstellers im Sinne der Maschinenrichtlinie

Nordex Energy SE & Co. KG.

Langenhorner Chaussee 600

22419 Hamburg


Deutschland

Tel.: +49 (0)40 300 30 -1000

Fax: +49 (0)40 300 30 -1101

info@nordex-online.com

<http://www.nordex-online.com>

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0801_077528_DE
		Rev.: 12
OPTION SERRATIONS AN NORDEX-BLÄTTERN		Seite: 3 / 7


Gültigkeit

Anlagengeneration	Produktreihe	Produkt
Delta	K08 Delta	N100/3300 N117/3000 N117/3000 controlled N117/3600 N131/3000 N131/3000 controlled N131/3300 N131/3600 N131/3900
Delta	Delta4000	N133/4.X N149/4.X N149/5.X N163/5.X N163/5.X ESH N163/6.X N175/6.X

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0801_077528_DE
		Rev.: 12
OPTION SERRATIONS AN NORDEX-BLÄTTERN		Seite: 4 / 7

Inhaltsverzeichnis

1	Zweck des Dokuments	5
2	Betriebsweise	5
2.1	Schall an Windenergieanlagen	5
2.2	Lärminderung durch Serrations	6
3	Bestandteile	6
4	Funktionen, Effekt	7
5	Weitere Merkmale	7
6	Liefer- und Leistungsumfang	7
7	Voraussetzungen und Einschränkungen	7

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0801_077528_DE
		Rev.: 12
OPTION SERRATIONS AN NORDEX-BLÄTTERN		Seite: 5 / 7

1 Zweck des Dokuments

Dieses Dokument beschreibt die Option Serrations, welche zur Minderung der Schallemissionen eines Rotorblatts eingesetzt werden können.

2 Betriebsweise

2.1 Schall an Windenergieanlagen

Ein Großteil des von Windenergieanlagen erzeugten Lärms ist auf das Umströmungsgeräusch der Rotorblätter zurückzuführen. Dies entsteht vor allem im äußeren Bereich (hin zur Blattspitze) durch die dort vorherrschenden hohen Strömungsgeschwindigkeiten. Es werden verschiedene Lärmstehungsmechanismen unterschieden. Unter normalen Betriebsbedingungen kann der turbulente Hinterkantenschall (engl.: turbulent boundary-layer trailing-edge noise, TBL-TEN) als Hauptlärmquelle identifiziert werden.

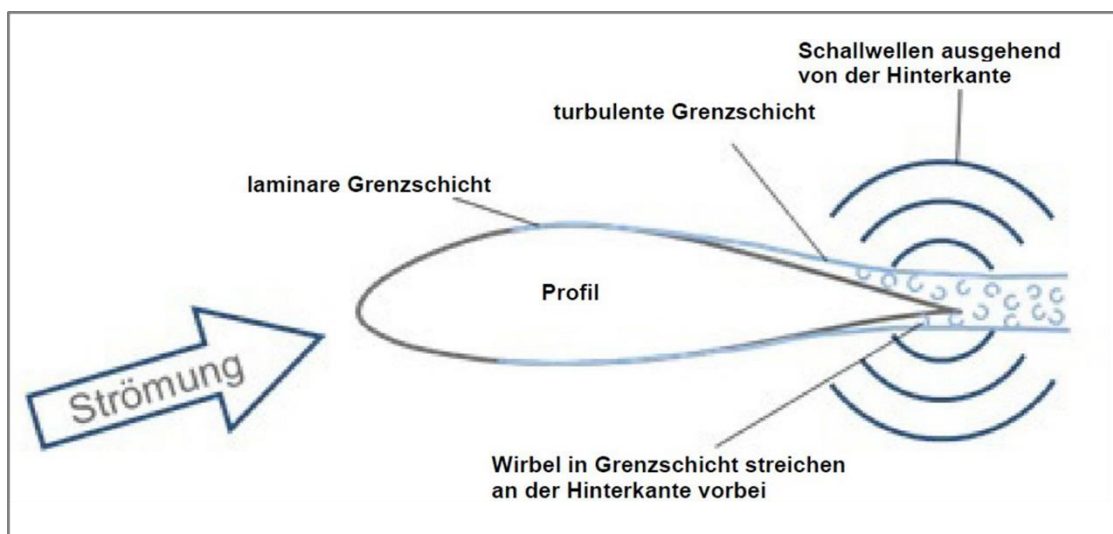


Abb. 1: Skizze zur Entstehung Hinterkantenschall am Rotorblattprofil

Die Viskosität der Luft führt bei der Umströmung des Rotorblatts zur Ausbildung einer fluiddynamischen Grenzschicht. Hierin wird die Strömungsgeschwindigkeit normal zur Oberfläche verlangsamt bis sie schließlich den Wert Null direkt an der Oberfläche erreicht. Man unterscheidet laminare (geordnete) und turbulente (verwirbelte) Grenzschichten. Betrachtet man den Querschnitt eines Rotorblatts, das sogenannte Profil, so bildet sich zunächst eine laminare Grenzschicht aus, welche im weiteren Verlauf in eine turbulente Grenzschicht umschlägt (siehe Abb. 1). Die turbulente Grenzschicht besteht aus einer Vielzahl kleiner Wirbel welche in freier Strömung eine sehr ineffektive Schallquelle darstellen. Interagieren diese Wirbel jedoch mit einer Kante, wie zum Beispiel der Hinterkante des Profils, werden sie durch den schlagartigen Übergang von der wandgebundenen zur freien Strömung zu einer sehr effektiven Schallquelle. Es entsteht eine dipolartige Schallquelle an der Hinterkante des Profils.

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0801_077528_DE
		Rev.: 12
OPTION SERRATIONS AN NORDEX-BLÄTTERN		Seite: 6 / 7

2.2 Lärminderung durch Serrations

Serrations ersetzen den gradlinigen Verlauf der Hinterkante des Rotorblatts durch eine gezackte Linie, siehe Abb. 2. Dieser Verlauf führt dazu, dass der Übergang auf die freie Außenströmung der in der Grenzschicht vorhandenen Wirbel an der Hinterkante nicht mehr schlagartig sondern graduell, entlang der von den Serration- Zacken geformten neuen schrägen Hinterkante, erfolgt. Somit wird das Entstehungsprinzip des turbulenten Hinterkantenschalls beeinflusst und eine Lärminderung erzielt.

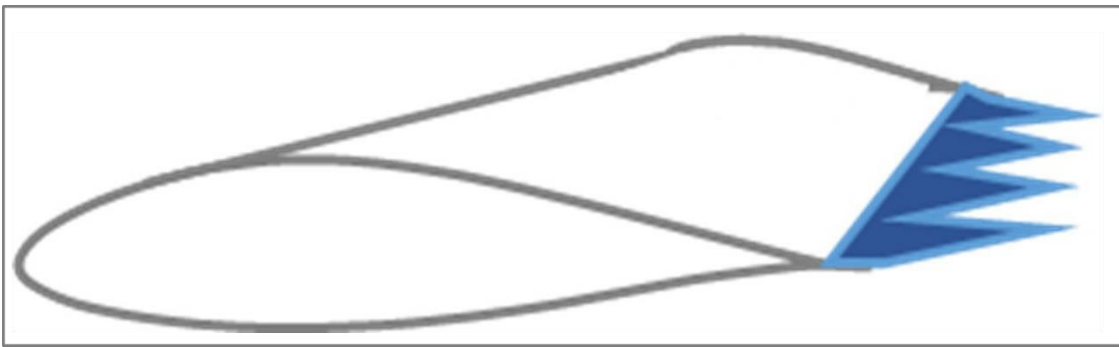


Abb. 2: Prinzipskizze Serrations

Entlang des Rotorblatts ist der Lärmreduktionseffekt am größten, wenn Serrations im äußeren Rotorblattbereich (etwa auf den letzten 25% der Rotorblattlänge) eingesetzt werden, wo aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten die größten Schallpegel entstehen.

3 Bestandteile

Die Option Serrations besteht aus mehreren gezackten lichtgrauen Bauteilen aus Kunststoff (siehe Abb. 3) mit einer Länge von 0,3 m bis max. 0,5 m.

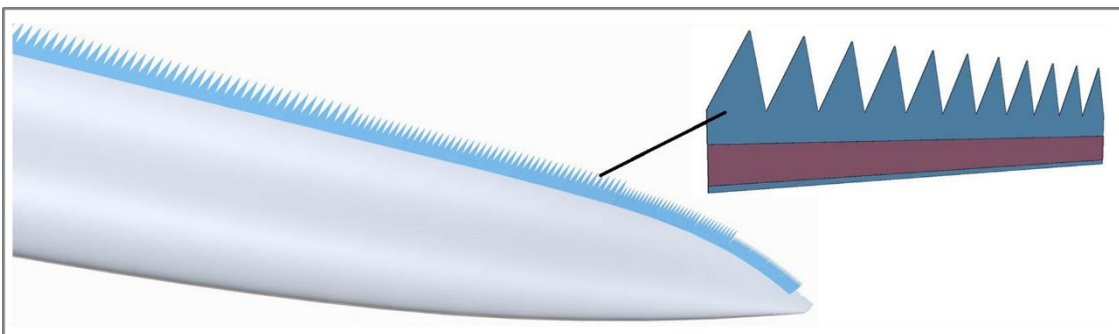



Abb. 3: Blattspitze mit Serrations (Farbdarstellung der Serrations geändert)

Die Serrations werden an der Hinterkante der Blätter befestigt. Die Serrations und deren Verbindung haben die gleiche Lebensdauer wie die Blätter.

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0801_077528_DE
		Rev.: 12
OPTION SERRATIONS AN NORDEX-BLÄTTERN		Seite: 7 / 7

4 Funktionen, Effekt

Durch die Serrations wird eine Reduktion des Schalleistungspegels der Wind-energieanlage über alle Windgeschwindigkeiten im Vergleich zur Windenergieanlage ohne Serrations erreicht. Die genauen Details sind im Vorfeld mit Nordex abzustimmen und können projektspezifisch unterschiedlich ausfallen.

5 Weitere Merkmale

Die Serrations sind so ausgelegt, dass sie sich aerodynamisch neutral verhalten. Sie haben keinen Einfluss auf die strukturellen und aerodynamischen Eigenschaften der Rotorblätter. Leistungskurven, Leistungs- und Schubbeiwerte der Windenergieanlage bleiben unverändert.


6 Liefer- und Leistungsumfang

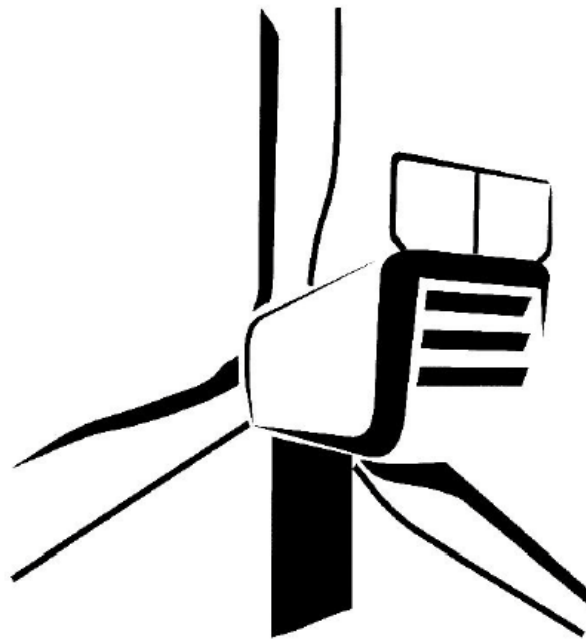
Alle Komponenten sind bereits an den Blättern angebracht. Eine gesonderte Inbetriebnahme ist nicht notwendig.

Die Wartung wird, bei einem entsprechenden Servicevertrag, von Nordex durchgeführt.

7 Voraussetzungen und Einschränkungen

Eine Nachrüstung bestehender Anlagen kann durchgeführt werden, ist aber mit Nordex abzustimmen.




	<p>ALLGEMEINE DOKUMENTATION</p>	<p>Dok.: K0815_051312_DE</p>
		<p>Rev.: 11</p>
<p>SCHATTENWURFMODUL Produktreihe K08 Gamma, K08 Delta, Delta4000</p>		<p>Seite: 1 / 7</p>




- Übersetzung des Originaldokuments (K0815_05131_EN, Rev. 10) -

Dies ist eine Übersetzung aus dem Englischen.
Im Zweifelsfall ist der englische Text maßgebend.

Sprache: DE – Deutsch
Abteilung: Engineering / CPS / Processes & Documents

<p>Bearbeiter</p>  23-09-2024	<p>Prüfer</p>  24-09-2024	<p>Freigeber</p>  24-09-2024
---	---	--

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0815_051312_DE
		Rev.: 11
SCHATTENWURFMODUL		Seite: 2 / 7

Dieses Dokument, einschließlich jeglicher Darstellung seines Inhalts, vollständig oder in Teilen, ist geistiges Eigentum der Nordex Energy SE & Co. KG. Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen sind ausschließlich für Nordex-Mitarbeiter und Mitarbeiter von Vertrauenspartnern und Unterauftragnehmern der Nordex Energy SE & Co. KG, der Nordex SE und der mit ihnen verbundenen Unternehmen im Sinne der §§ 15 ff. des Aktiengesetzes und dürfen nicht (auch nicht auszugsweise) an Dritte weitergegeben werden.

Alle Rechte vorbehalten.

© 2024 Nordex Energy SE & Co. KG, Hamburg, Deutschland

Dieses Dokument enthält Informationen, deren Eigentumsrechte bei der Nordex Group liegen und die ohne die vorherige schriftliche Genehmigung durch autorisiertes Personal der Nordex Group nicht kopiert, verwendet, veröffentlicht oder in irgendeiner Form an Dritte weitergegeben werden dürfen. Alle hierin enthaltenen Informationen sind vertraulich zu behandeln und ausschließlich zum Nutzen der Nordex Group zu verwenden.

Anschrift des Herstellers im Sinne der Maschinenrichtlinie

Nordex Energy SE & Co. KG.

Langenhorner Chaussee 600

22419 Hamburg


Deutschland

Tel.: +49 (0)40 300 30 -1000

Fax: +49 (0)40 300 30 -1101


info@nordex-online.com

<http://www.nordex-online.com>

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0815_051312_DE
		Rev.: 11
SCHATTENWURFMODUL		Seite: 3 / 7


Gültigkeit

Anlagengeneration	Produktreihe	Produkt
Gamma	K08 Gamma	N90/2500 N100/2500 N117/2400
Delta	K08 Delta	N100/3300 N117/3000 N117/3000 kontrolliert N117/3600 N131/3000 N131/3000 kontrolliert N131/3300 N131/3600 N131/3900
Delta	Delta4000	N133/4.X N149/4.X N149/5.X N155/4.X N155/5.X N163/5.X N163/5.X ESH N163/6.X N169/5.X N175/6.X

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0815_051312_DE
		Rev.: 11
SCHATTENWURFMODUL		Seite: 4 / 7

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Abkürzungen	5
2	Schattenwurfüberwachung	5
3	Funktionsweise	6
4	Protokollierung	6
4.1	Konfiguration	6
4.2	Abschaltkalender	6
5	Hardwarekomponenten	6
6	Zentraleinheit	7
7	Schnittstelle zu den Windenergieanlagen	7
8	Lichtsensoren	7

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0815_051312_DE
		Rev.: 11
SCHATTENWURFMODUL		Seite: 5 / 7

1 Einleitung

Der sich drehende Rotor einer Windenergieanlage (WEA) verursacht bei Sonnenschein periodischen Schattenwurf. Dieser kann an umliegenden Gebäuden zu erheblichen Belästigungen führen und somit dazu beitragen, dass die Akzeptanz von WEAs in der Bevölkerung beeinträchtigt wird. Um den Schutz der Anwohner von Windparks zu gewährleisten, werden durch die Immissionsschutzbehörden Auflagen erlassen, die die Schattenwurfdauer auf ein verträgliches Maß begrenzen.


Dafür wird eine Überwachungseinrichtung gefordert, die bei Überschreitung der zulässigen Schattenwurfdauer die verursachende WEA abschaltet. Das Schattenwurfmodul SWM-V4.0 bietet die technische Lösung zur Einhaltung der behördlichen Auflagen. Es zeichnet alle Schattenwurfereignisse in einer Protokolldatei auf.

1.1 Abkürzungen

Abkürzung	Bezeichnung	Beschreibung
ECC	EDGE & Steuerschrank	Schrank mit Komponenten zur Steuerung und Messung von Energieerzeugungsanlagen
ESH	Extended Suitability Hub	–
GPS	Globale Positioning System	Satellitengestütztes Funknavigationssystem
LAN	Local Area Network	Lokales Netzwerk
SWM	Schattenwurfmodul	Steuereinheit
TCP	Transmission Control Protocol	Übertragungssteuerungsprotokoll
WEA	Windenergieanlage	–

2 Schattenwurfüberwachung

Das Schattenwurfmodul SWM-V4.0 kann die Schattenwurfbelastung an bis zu 2000 Gebäuden (Immissionsorten) überwachen. Dabei können bis zu 100 WEAs berücksichtigt werden. Für jedes Gebäude können eine tägliche und eine auf einen Jahreszeitraum bezogene zulässige Schattenwurfbelastung definiert werden. Bestimmte Wochentage (z.B. Samstag und Sonntag bei gewerblich genutzten Gebäuden) können bei der Schattenwurfüberwachung ausgeblendet werden. Bei der Überschreitung der maximal zulässigen Schattenwurfbelastung wird die verursachende WEA für die Dauer des Schattenwurfs abgeschaltet. Alle Schattenwurfereignisse und Abschaltungen werden aufgezeichnet.

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0815_051312_DE
		Rev.: 11
SCHATTENWURFMODUL		Seite: 6 / 7

3 Funktionsweise

Mit Hilfe eines Lichtsensors wird die Intensität des Sonnenlichtes in vier Richtungen gemessen. Auf Basis dieser Ergebnisse kann das Schattenwurfmodul beurteilen, ob bei den bestehenden Lichtverhältnissen grundsätzlich Schattenwurfeffekte auftreten können. Parallel dazu berechnet die Zentraleinheit fortwährend, ob eines der zu schützenden Gebäude aufgrund des aktuellen Sonnenstands vom Rotorschatten einer WEA getroffen wird. Die Zentraleinheit prüft dabei, ob die WEA überhaupt im Betrieb ist, und berücksichtigt, welche Position der Rotor zur Sonne hat.

Wird an einem Gebäude eine Schattenwurfbelastung erkannt, werden die entsprechenden Tages- und Jahreszähler erhöht. Bei der Überschreitung der maximal zulässigen Schattenwurfbelastung wird die WEA für die Dauer des Schattenwurfs abgeschaltet.

Die WEA kann bei geringer Leistung auch abgeschaltet werden, obwohl noch keine Überschreitung der zulässigen Schattenwurfbelastung eingetreten ist. Dadurch kann das zur Verfügung stehende Jahresbudget für den leistungsstärkeren Betrieb der WEA geschont werden. Die Leistungsgrenze, ab der eine vorzeitige Abschaltung erfolgen soll, kann für jede WEA individuell eingestellt werden.

4 Protokollierung

4.1 Konfiguration


Die Konfiguration des Schattenwurfmoduls enthält alle projektspezifischen Daten. Sie enthält Informationen über den Standort und die Struktur der WEA und der zu schützenden Gebäude und definiert die maximal zulässige Dauer des Schattenwurfs.

4.2 Abschaltkalender

Es kann ein Abschaltkalender generiert werden, um die WEA für einen bestimmten Zeitraum anzuhalten. Bei diesen Abschaltungen kann auch berücksichtigt werden, ob aufgrund der herrschenden Lichtverhältnisse Schattenwurf grundsätzlich möglich ist. Der Abschaltkalender kann bis zu 40.000 Abschaltungen enthalten.

5 Hardwarekomponenten

Das Schattenwurfmodul SWM-V4.0 besteht aus einer Zentraleinheit und mindestens einem Lichtsensor. Weitere Sensoren sind optional. Im Lichtsensor ist ein GPS-Modul integriert, welches für die Zeiterfassung und Positionsbestimmung der WEA genutzt wird. Der Lichtsensor wird auf einen Sensorhalter auf dem Maschinenhausdach montiert.

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: K0815_051312_DE
		Rev.: 11
SCHATTENWURFMODUL		Seite: 7 / 7

6 Zentraleinheit

Die Zentraleinheit des Schattenwurfmoduls SWM-V4.0 wird im Turmfuß der WEA (Gamma-Generation) oder im Maschinenhaus bzw. in der Substation (Delta-Generation) montiert. Pro Windpark ist eine Zentraleinheit notwendig.

Für die Delta-Generation kann die Zentraleinheit an einem der folgenden Orte installiert werden:

- Im Inneren des Topbox einer bestimmten WEA
- Im Inneren einer Substation als externer Schrank
- Im Inneren des ECC in der Substation

Funktionen der Zentraleinheit

- Berechnung der Schattenwurfzeiten an den zu überwachenden Gebäuden
- Abfrage der Lichtsensoren
- Kommunikation mit den WEAs im Windpark über eine Netzwerkschnittstelle
- Stoppen der verursachenden WEA bei Überschreitung der zulässigen Schattenwurfbelastung
- Aufzeichnung aller Ereignisse und Abschaltungen der WEA


7 Schnittstelle zu den Windenergieanlagen

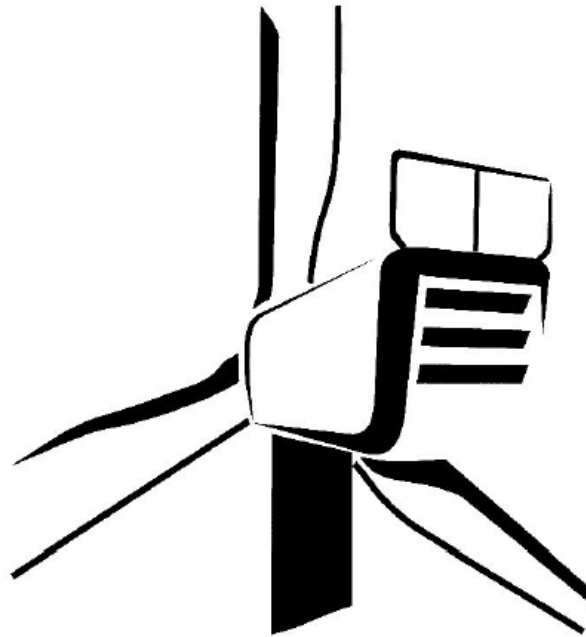
Die Zentraleinheit kommuniziert mit den WEAs über eine Netzwerkschnittstelle. Diese arbeitet als Client bezogen auf die Serverschnittstellen, welche in der Betriebsführungssoftware-Software der WEAs angesiedelt sind. Die WEA-Steuerung übergibt per LAN und Modbus-TCP-Daten-Protokoll alle relevanten Daten an die Zentraleinheit des SWM. Start/Stop-Befehle werden von der Zentraleinheit des SWM per LAN (Modbus TCP) an die einzelnen WEA übermittelt. Nach der Abfrage und Verarbeitung der Daten werden Stoppbefehle, Alarm- und andere Statusmeldungen an die einzelnen WEAs übergeben.

8 Lichtsensor

Der Lichtsensor wird mit einem Halter auf dem Maschinenhausdach einer WEA im Windpark installiert. Der Lichtsensor kommuniziert über das vorhandene Netzwerk mittels TCP/IP mit der Zentraleinheit des Schattenwurfmoduls.




Es wird die direkte Beleuchtungsstärke des Sonnenlichts gemessen. Zusätzlich werden der Zentraleinheit Zeit- und Ortsdaten (über GPS-Empfänger) zur Verfügung gestellt.



	<p>ALLGEMEINE DOKUMENTATION</p>	<p>Dok.: NALL01_008 514_DE</p>
<p style="text-align: center;">UMWELTEINWIRKUNGEN EINER WINDENERGIEANLAGE</p> <p style="text-align: center;">Produktreihe K08 Gamma, K08 Delta, Delta4000</p>		<p>Rev.: 13</p> <p>Seite: 1 / 10</p>



- Übersetzung des Originaldokuments (NALL01_008514_EN, Revision 11) -
Dies ist eine Übersetzung aus dem Englischen. Im Zweifelsfall ist der englische Text maßgebend.

Sprache: DE – Deutsch
Abteilung: Engineering / CPS / Processes & Documents

<p>Autor</p> <div style="text-align: center;">  I.B.U. 31-01-2025 </div>	<p>Prüfer</p> <div style="text-align: center;">  A.G.L. 18-02-2025 </div>	<p>Freigeber</p> <div style="text-align: center;">  J.L. 19-02-2025 </div>
--	---	--

 	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: NALL01_008 514_DE
		Rev.: 13
UMWELTEINWIRKUNGEN EINER WINDENERGIEANLAGE		Seite: 2 / 10

Dieses Dokument, einschließlich jeglicher Darstellung seines Inhalts, vollständig oder in Teilen, ist geistiges Eigentum der Nordex Energy SE & Co. KG. Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen sind ausschließlich für Nordex-Mitarbeiter und Mitarbeiter von vertrauenswürdigen Partner- und Subunternehmen der Nordex Energy SE & Co. KG und Nordex SE und deren verbundenen Unternehmen im Sinne der §§ 15ff. des Aktiengesetzes (AktG) bestimmt und dürfen keinesfalls (auch nicht in Auszügen) an Dritte weitergegeben werden.

Alle Rechte vorbehalten.

© 2025 Nordex Energy SE & Co. KG, Hamburg, Deutschland

Dieses Dokument enthält Informationen, deren Eigentumsrechte bei der Nordex Group liegen und die ohne die vorherige schriftliche Genehmigung durch autorisiertes Personal der Nordex Group nicht kopiert, verwendet, veröffentlicht oder in irgendeiner Form an Dritte weitergegeben werden dürfen. Alle hierin enthaltenen Informationen sind vertraulich zu behandeln und ausschließlich zum Nutzen der Nordex Group zu verwenden.

Anschrift des Herstellers im Sinne der Maschinenrichtlinie

Nordex Energy SE & Co. KG.

Langenhorner Chaussee 600

22419 Hamburg


Deutschland

Tel.: +49 (0)40 300 30 -1000

Fax: +49 (0)40 300 30 -1101



info@nordex-online.com

<http://www.nordex-online.com>

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: NALL01_008 514_DE
		Rev.: 13
UMWELTEINWIRKUNGEN EINER WINDENERGIEANLAGE		Seite: 3 / 10


Gültigkeit

Anlagengeneration	Produktreihe	Produkt
Gamma	K08 Gamma	N90/2500 N100/2500 N117/2400
Delta	K08 Delta	N100/3300 N117/3000 N117/3000 controlled N117/3600 N131/3000 N131/3000 controlled N131/3300 N131/3600 N131/3900
Delta	Delta4000	N133/4.X N149/4.X N149/5.X N163/5.X N163/5.X ESH N163/6.X N169/5.X N175/6.X

 	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: NALL01_008 514_DE
		Rev.: 13
UMWELTEINWIRKUNGEN EINER WINDENERGIEANLAGE		Seite: 4 / 10

Inhaltsverzeichnis



1	Warum brauchen wir Windenergie?	5
2	Treibhausgasbilanzen für Stromerzeugung	6
3	Sonstige Umwelteinwirkungen	7
4	Umweltkosten der Stromerzeugung	10

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: NALLO1_008 514_DE
		Rev.: 13
UMWELTEINWIRKUNGEN EINER WINDENERGIEANLAGE		Seite: 5 / 10

1 Warum brauchen wir Windenergie?

Eine Windenergieanlage (WEA) wandelt die Bewegungsenergie des Windes in elektrischen Strom um. Dieser Strom wird somit gewonnen, ohne das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) zu erzeugen. Ein großer Vorteil für unsere Umwelt gegenüber Kohle-, Öl- oder Gaskraftwerken. Dadurch wird ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung der Kohlendioxid-Emission und zur Verringerung des Treibhauseffektes geleistet.

Eine WEA erzeugt während ihrer Lebensdauer ein Vielfaches der Energie, die für ihren Bau, ihren Betrieb und ihre Entsorgung erforderlich ist. Bei konventionellen Kraftwerken beträgt dieser Wert (Erntefaktor) weit unter 1, weil ständig Rohstoffe als Energieträger zugeführt werden. Eine WEA kann innerhalb weniger Monate die Energie produzieren, die für Herstellung, Betrieb, Auf-/Abbau und Entsorgung benötigt wird.

 	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: NALL01_008 514_DE
		Rev.: 13
UMWELTEINWIRKUNGEN EINER WINDENERGIEANLAGE		Seite: 6 / 10



2 Treibhausgasbilanzen für Stromerzeugung

Die Tabelle unten zeigt einen Vergleich der spezifischen Emissionen je kWh der unterschiedlichen Erzeugungssysteme mit fossilen und erneuerbaren Energien. Ein direkter Vergleich ist nur bei Berücksichtigung der Kosten für Bau, Betrieb, Wartung, Reparatur sowie Entsorgung der Anlagen möglich. Weiterhin sind starke Schwankungen durch Ort der Anlage, Güte des Energieträgers, Lebensdauer und Größe der Anlage möglich. Berücksichtigt sind ebenfalls die Emissionen, die durch die Bereitstellung von Notstrom für Solar- und Windenergieanlagen entstehen.

Strom aus	Spezifische äquivalente CO₂-Emissionen in g/kWh
Kernenergie	10–30
Steinkohle	750–1100
Braunkohle	980–1230
Erdöl	890
Gas	400–640
Photovoltaik	50–100
Solarthermie	50–100
Biomasse	–580–156*
Windpark onshore	23
Windpark offshore	10–40
Wasserkraftwerk	10–40

* exakter Vergleich nicht möglich aufgrund unterschiedlicher Nutzungsvarianten (reine Stromerzeugung, Kraft-Wärme-Kopplung) und Techniken (Dampfturbine, Heizkraftwerk, Holzvergasung etc.)

Quelle: „CO₂-Emissionen der Stromerzeugung – Ein ganzheitlicher Vergleich verschiedener Techniken“, BWK Das Energie-Fachmagazin Bd. 59 (2007) Nr. 10

 	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: NALL01_008 514_DE
UMWELTEINWIRKUNGEN EINER WINDENERGIEANLAGE		Rev.: 13
		Seite: 7 / 10

3 Sonstige Umwelteinwirkungen

Abfall

Der Betrieb von WEA erzeugt kaum Abfälle, da keine Roh- oder Recyclingstoffe verarbeitet werden. Wichtigster Abfall sind die Schmierstoffe (Altöle). Diese fallen jedoch nicht regelmäßig, sondern nur nach Erfordernis an (Qualitätskontrolle im Labor). Sollte ein Ölwechsel notwendig sein, werden die dabei anfallenden Altöle über einen hierfür zugelassenen Entsorgungsbetrieb aus der Region entsorgt.

Abwasser

Auf der Baustelle und im Betrieb der WEA fällt kein Abwasser an. Regenwasser versickert, sodass auch kein gefasstes Niederschlagswasser abzuleiten ist.

Blitzschlag


WEA wirken in ihrer direkten Umgebung wie ein Blitzfänger. Daher besitzen sie ein spezielles Blitzschutzsystem, das die Blitze sicher ins Erdreich ableitet. Es gibt keine negativen Auswirkungen auf das öffentliche Stromnetz oder die Umgebung der WEA.

Boden

Durch das Fundament, die Montagefläche und die Zuwegung wird in das Gefüge des Bodens und seine Funktionen eingegriffen. Eine wichtige Funktion – die der Versickerung und Grundwasserneubildung – wird nur vernachlässigbar gering beeinträchtigt, da sämtliche Platz- und Wegeflächen in der Regel in wasserdurchlässiger Schotterbauweise ausgeführt sind. Niederschlagswasser wird weder gefasst noch abgeleitet.

Eisansatz

Die WEA sollte stillgesetzt werden, wenn eine Vereisung der Rotorblätter auftritt. Das Eiserkennungssystem für Nordex-WEA erkennt anhand auffälliger Vibrationen oder Abweichungen zwischen theoretischer und tatsächlicher Leistung, ob Eisansatz auf dem Rotorblatt vorhanden ist. In diesem Fall erfolgt eine Alarmmeldung und mögliche Abschaltung der WEA.

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: NALLO1_008 514_DE
UMWELTEINWIRKUNGEN EINER WINDENERGIEANLAGE		Rev.: 13
		Seite: 8 / 10

Elektromagnetische Wellen

Auch von einer WEA gehen – wie von jedem elektrischen Gerät – elektromagnetische Wellen aus. Der Aufenthalt in der Anlage oder in der Nähe der Anlage ist ungefährlich, Trägern eines Herzschrittmachers wird jedoch generell empfohlen, WEA nicht zu betreten.

Da WEA im Allgemeinen mehrere hundert Meter von jedem Haus entfernt stehen und das elektrische Feld exponentiell mit dem Abstand abnimmt, sind keine Auswirkungen im Umfeld zu erwarten.

Energiebedarf

Die verschiedenen Hilfssysteme einer WEA verbrauchen Strom, z. B. für die Steuerung, die Windnachführung, Hydraulikpumpe usw. Bei sehr kleinen Windgeschwindigkeiten (keine Stromproduktion) wird dieser Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen. Der durchschnittliche Jahresenergiebedarf einer WEA beträgt etwa ein Tausendstel bis maximal ein halbes Hundertstel (1...5 Promille) ihrer Jahresproduktion. Der Energiebedarf ist stark von den klimatischen Verhältnissen des Standortes abhängig.

Klima

Für das örtliche Kleinklima sind keine Veränderungen durch eine WEA zu erwarten. Allgemein wird jedoch die weltklimatisch bedeutende CO₂-Bilanz entlastet, was zur Verringerung des Treibhauseffekts wichtig ist.


Geräusche

WEA verursachen Geräusche, insbesondere durch die Bewegung der Rotorblätter im Wind. In den meisten Fällen sind jedoch die Umgebungsgeräusche in der Nähe des Ohrs weitaus lauter als das Geräusch der entfernten WEA. Dies hängt vor allem von der Windgeschwindigkeit und der Umgebungsstruktur ab (z. B. Bäume).

Die Schallemissionen werden gemäß internationaler Normen gemessen und werden in der Planung von Windparks berücksichtigt. Gesetzlich vorgeschriebene Mindestabstände zu schallsensitiven Punkten, z. B. Gebäuden, werden eingehalten.

Schattenwurf

Wie jedes Bauwerk werfen auch WEA Schatten. Bei WEA wird besonders der bewegte Schatten der Rotorblätter betrachtet. Zum Schutz der umliegenden Wohnbebauung sind bezüglich des Schattenwurfs Grenzwerte einzuhalten. Bei langer Schattenwurfdauer besteht die Möglichkeit, ein Zusatzgerät zu installieren, das die betreffende WEA ein- und ausschalten kann. Das Gerät

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: NALL01_008 514_DE
UMWELTEINWIRKUNGEN EINER WINDENERGIEANLAGE		Rev.: 13
		Seite: 9 / 10

wird so programmiert, dass die betroffenen Häuser der Umgebung nicht unzulässig beeinträchtigt werden.

Luftfahrthinderniskennzeichnungen

Hinderniskennzeichnungen für die Luftfahrt, die sich auf die Umwelt auswirken könnten, müssen den Vorschriften der örtlichen Luftfahrtbehörden entsprechen.

Luft

Hinsichtlich der Luftqualität treten ausschließlich positive Effekte auf. Im Gegensatz zu herkömmlicher Stromproduktion entsteht keine Abluft, es wird sogar der Ausstoß von Treibhausgasen (Kohlendioxid) vermieden.

Rohstoffbedarf

Zur Stromproduktion werden nahezu keine Roh- oder Recyclingstoffe eingesetzt. Lediglich die Schmierstoffe sind mehr oder weniger regelmäßig zu erneuern. Dies ist im Verhältnis zur produzierten Strommenge jedoch unerheblich.


Wasser

Es wird in keiner Weise Wasser eingesetzt oder verbraucht.

Hinsichtlich eines möglichen Ölaustritts aus Maschinen sind mehrfach Sicherheitssysteme und Auffangwannen in der WEA vorhanden. Ein Ölaustritt aus der WEA wird damit sicher unterbunden, sodass keine Gefährdung für Oberflächen- oder Grundwasser besteht.

Natur und Landschaft

Eine WEA ist wie jedes menschliche Bauwerk ein Eingriff in Natur und Landschaft. Bei gesetzlich vorgeschriebenen Auflagen sind Eingriffe auszugleichen. Zur Bestimmung des notwendigen Ausgleichs wird ein Gutachten erstellt.

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: NALL01_008 514_DE
		Rev.: 13
UMWELTEINWIRKUNGEN EINER WINDENERGIEANLAGE		Seite: 10 / 10

4 Umweltkosten der Stromerzeugung

Bei der Stromerzeugung entstehen vor allem durch die Emission von Luftschadstoffen und Treibhausgasen Kosten, die abhängig vom eingesetzten Energieträger sind. Bei Beurteilung dieser Kosten gibt es verschiedene Ansätze, die direkte und indirekte Einwirkungen, aber auch gesamtgesellschaftliche Auswirkungen berücksichtigen. Gemäß der Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten des Umweltbundesamtes ergeben sich die folgenden Kosten für die Stromerzeugung durch den Einsatz verschiedener Energieträger:

Stromerzeugung durch	Luftschadstoffe	Treibhausgase (195 €/t CO₂ Äq)	Umweltkosten gesamt
	in Eurocent ₂₀₁₀ pro kWh		
Braunkohle	2,07	20,65	22,70
Steinkohle	1,68	18,82	20,50
Erdgas	0,87	8,51	9,38
Öl	5,18	16,56	21,74
Windenergie*	0,11	0,20	0,30

Quelle: Umweltbundesamt, Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten), 12/2020

* Nach Erzeugungsanteilen gewichteter Durchschnittswert aus onshore und offshore Windenergie

Vermiedene Umweltkosten durch den Einsatz von WEA

Daraus ergeben sich für eine WEA Nordex Delta4000 und einen Standort mit einer mittleren Jahreswindgeschwindigkeit von 7,0 m/s (ca. 16,3 Mio. kWh) vermiedene Umweltkosten in Höhe von ca. 3,65 Mio € gegenüber dem Einsatz von Braunkohle zur Erzeugung der gleichen Strommenge.