

Hamburg, 06.11.2014

Gutachtliche Stellungnahme zur Plausibilitäts- prüfung des bordinternen Nordex Eiserken- nungssystems

TÜV NORD Bericht Nr.: 8111838274 Rev. 0

Gegenstand der Prüfung: Nordex bordinternes Eiserken-
nungssystem

Anlagenhersteller: Nordex Energy GmbH
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg
Germany

Aufsteller der Nachweise: TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG
Große Bahnstraße 31
22525 Hamburg
Germany

Dieser Prüfbericht umfasst 8 Seiten.

Rev.	Datum	Änderungen
0	06.11.2014	Erste Fassung

Inhalt

1	Beauftragung und Prüfumfang	3
2	Thematische Einordnung	3
2.1	Eisbildung	3
2.2	Aerodynamik eines vereisten Rotorblattes	4
3	Von Nordex vorgesehene Maßnahmen bei Eisansatz	4
3.1	Eiserkennung mittels Unwucht- und Vibrationsmessung	4
3.2	Eiserkennung mittels Leistungskurve	4
3.3	Eiserkennung mittels unterschiedlicher Messwerte der Windsensoren	5
3.4	Reaktion bei erkanntem Eisansatz	5
4	Bemerkungen	5
5	Bewertung	6
6	Dokumente und Literaturverzeichnis	8
6.1	Bewertete Dokumente	8
6.2	Literatur & Quellen	8

1 Beauftragung und Prüfumfang

Die Nordex Energy GmbH beauftragte die TÜV NORD SysTec GmbH & Co KG mit der Erstellung einer Plausibilitätsprüfung der bordinternen Nordex Eiserkennungssysteme. Es wurde folgende Vorgehensweise vereinbart:

Bewertung der Systeme zur automatischen Eiserkennung, welche bei Nordex Windenergieanlagen zum Einsatz kommen. Auf Basis der eingereichten Unterlagen wird geprüft, ob die Systeme zur Eiserkennung grundsätzlich dazu geeignet sind einen Eisansatz zu erkennen.

Die Zuverlässigkeit und die Sensibilität der Systeme in Bezug auf die Eiserkennung am Rotorblatt werden nicht untersucht.

2 Thematische Einordnung

2.1 Eisbildung

Neben anderen Kriterien, wie z. B. Schattenwurf oder Lärmemission ist das Risiko eines Eisabwurfs bzw. Eisabfalls (Eisstücken die von einer laufenden Anlage abgeschleudert werden oder von einer stehenden Anlage herunterfallen) für die Genehmigung der Anlagen ein Kriterium zum Einhalten eines Mindestabstandes zu möglichen Schutzobjekten (z. B. nahe Bebauung oder Verkehrswege). Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist nachzuweisen, dass die öffentliche Sicherheit nicht durch die WEA beeinträchtigt wird. Gemäß der Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen vom Deutschen Institut für Bautechnik /5/ gelten Abstände größer als $1,5 \times$ (Rotordurchmesser + Nabenhöhe) im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen gemäß DIN 1055-5 /4/ als ausreichend. Bei Unterschreitung des Abstandes ist nachzuweisen, dass der Betrieb der WEA bei Eisansatz verhindert wird /5/.

Die Vereisung durch Eisregen oder Raueis hängt von den meteorologischen Verhältnissen wie Lufttemperatur, relative und absolute Luftfeuchte sowie der Windgeschwindigkeit ab. Diese Parameter werden z. B. durch die Topografie des zu beurteilenden Standortes beeinflusst. Wesentlich sind ferner die Eigenschaften der Bauteile wie Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form. Allgemeingültige Angaben über das Auftreten von Vereisung können deshalb nicht gemacht werden. Vereisung bildet sich jedoch bevorzugt im Gebirge, im Bereich feuchter Aufwinde oder in der Nähe großer Gewässer, auch in Küstennähe und an Flussläufen /6/, /7/, /4/.

Aufgrund des Tragflächenprinzips von WEA-Rotorblättern sinkt der Luftdruck infolge der Beschleunigung der Luft an der Hinterseite der Rotorblätter (Bernoulli-Effekt). Durch den plötzlichen Druckabfall kommt es zu einer Verringerung der Lufttemperatur. Dieser Effekt kann die Vereisung der Rotorblätter bei bestimmten Wetterlagen verstärken. Während Eisablagerungen bei entsprechender Schichtstärke zu einer Gefährdung führen können, stellen Reif- und Schneeablagerungen für die Umgebung keine Gefahr dar. Eisabfall von den Rotorblättern oder der Gondel tritt nach jeder Vereisungswetterlage

mit einsetzendem Tauwetter auf. Abgeschaltete WEA unterscheiden sich dann nicht wesentlich von anderen hohen Objekten wie Brücken oder Strommasten /8/.

2.2 Aerodynamik eines vereisten Rotorblattes

Schon bei geringer Vereisung ändern sich die beiden aerodynamischen Kennwerte des Profils (Auftriebsbeiwert c_l und Widerstandsbeiwert c_d) erheblich. Gemäß /9/ ist eine deutliche Veränderung beider Koeffizienten bereits bei einer Vereisungsdicke von 3 % der lokalen Profillehne deutlich erkennbar. Dies macht sich bei Pitchanlagen im Bereich unterhalb der Nennleistung – d.h. nicht gepitchte Blätter – in einer signifikant niedrigeren Leistungsabgabe im Vergleich zum eisfreien Blatt bemerkbar /8/. Im Bereich der Nennleistung, in dem die Leistungsregelung über den Anstellwinkel (Pitch) erfolgt, ergeben sich für vereiste Blätter im Vergleich zu eisfreien Blättern andere Pitchwinkel für dieselbe Leistungsabgabe.

Zusätzlich ergibt sich durch die unkontrollierte Strömung an der Profilvorderseite bei vereisten Rotorblättern ein anderes Schallspektrum /10/.

3 Von Nordex vorgesehene Maßnahmen bei Eisansatz

Zur Eiserkennung sind in Nordex WEA standardmäßig drei unterschiedliche Systeme (Schwingungsüberwachung, Leistungskurvenverfahren und Vergleich der Windmessung) zur indirekten Eiserkennung integriert /2/.

3.1 Eiserkennung mittels Unwucht- und Vibrationsmessung

Ein unsymmetrischer Eisansatz an den Rotorblättern führt bei der Drehbewegung des Rotors zu einer Unwucht im Antriebsstrang. Diese Unwucht wirkt auf das Maschinenhaus und den Turm. Die daraus resultierenden Vibrationen können über den standardmäßig installierten und dauerhaft arbeitenden Schwingungssensor erkannt werden /2/.

3.2 Eiserkennung mittels Leistungskurve

In der Betriebsführung der Nordex-Windenergieanlagen ist eine Plausibilitätsüberwachung „Wind ungleich Leistung“ („WugL“) implementiert, die indirekt auch zur Eisansatzerkennung am Rotorblatt genutzt werden kann /1/.

Bei der Plausibilitätsüberwachung wird die gemessene elektrische Wirkleistung auf Plausibilität zur gemessenen Windgeschwindigkeit geprüft. D.h. die aktuelle Wirkleistung (10min Mittelwert) muss in einem Toleranzbereich liegen, dessen Ober- und Untergrenzen von der Windgeschwindigkeit (10min Mittelwert) abhängen. Wenn die Wirkleistung die untere bzw. obere Alarmgrenze überschreitet, wird die WEA gestoppt und ein Alarm (Meldung an die Fernüberwachung) ausgelöst /1/. Durch geschultes Personal wird die WEA visuell vor Ort auf Eisfreiheit geprüft, bevor die WEA wieder gestartet werden kann. Der Neustart kann anschließend sowohl vor Ort als auch durch die Fernwarte geschehen /3/.

Voraussetzungen für die Bildung des Alarmes sind /1/:

- Die Netzkopplung der WEA besteht bereits seit mindestens 10 Minuten
- Es bestand innerhalb der letzten 10 Minuten keine Leistungsreduzierung
- Die WEA befindet sich nicht in der Handsteuerung
- Die Bedingung für den Alarm liegt 10min an (Set-Delay von 600 s)

Die Parametrierung der unteren Grenzkurve „WugL“ ist pro Anlagentyp unterschiedlich und erfolgt standortspezifisch /1/.

Die Funktion kann zur Begrenzung der Betriebszeit mit Vereisung oder zum sofortigen Abschalten bei Eiserkennung genutzt werden. Ist ein sofortiges Abschalten der WEA bei Eisansatz im laufenden Betrieb erforderlich, so kann dies in der Anlagensteuerung entsprechend parametrierung werden /1/.

3.3 Eiserkennung mittels unterschiedlicher Messwerte der Windsensoren

Auf Nordex Windenergieanlagen werden Windgeschwindigkeit und Windrichtung in der Regel durch je ein Schalensternanemometer und ein Ultraschallanemometer gemessen. Das Schalensternanemometer wird mit einer beheizten Lagerung betrieben, an den unbeheizten Schalen kann sich Eis anlagern und zu einer Verringerung der gemessenen Windgeschwindigkeit führen. Auch das Ultraschallanemometer wird beheizt. Die Messwerte der beiden Anemometer werden dauerhaft miteinander verglichen, größere Abweichungen bei den Messwerten deuten auf einen Eisansatz hin.

3.4 Reaktion bei erkanntem Eisansatz

Die WEA reagiert auf einen erkannten Eisansatz mit definierten Maßnahmen /2/:

- Die WEA wird sofort sanft gestoppt.
- Jeder Stopp einer WEA wird automatisch mit Fehlermeldung und Grund des Fehlers an die Fernüberwachung übermittelt.
- Bei allen Fehlerzuständen ist gesichert, dass die WEA nicht selbständig wieder anfahren kann.
- Nach Abschaltung der WEA infolge Eiserkennung wird diese vor Ort auf Eisfreiheit geprüft, bevor die WEA wieder neugestartet werden kann /3/.

4 Bemerkungen

Nach bisheriger Kenntnislage dient die Eiserkennung mittels Schwingungsüberwachung im Maschinenhaus (siehe Kapitel 3.1) überwiegend dem Anlangenschutz. Bei gleichmäßiger Vereisung ist jedoch nicht von einer ausreichenden Schwingungsanregung auszugehen. Eine Abschaltung erfolgt nur bei ungleichmäßigem Eisansatz an den Rotorblättern und daraus resultierender Schwingungsanregung.

Da sich der Rotor für das Leistungskurvenverfahren (siehe Kapitel 3.2, /1/) drehen muss, kann dieses Verfahren grundsätzlich nicht im Stillstand funktionieren. Das Leis-

tungskurvenverfahren benötigt, damit es funktioniert, immer eine gestartete Windenergieanlage, die zudem eine verfahrensbedingte Mindestzeitdauer Leistung in das Netz abgegeben haben muss /1/. Dies kann in dem Fall kritisch sein, wenn die Windenergieanlage längere Zeit stillgesetzt war und sich Eis an den Rotorblättern gebildet hat /1/.

Bei der Eiserkennung mittels unterschiedlicher Messwerte der Windsensoren (siehe Kapitel 3.3) sei darauf hingewiesen, dass die Messung auf der Gondel durchgeführt wird. Eine Vereisung der Rotorblätter kann hierrüber nicht direkt erkannt werden. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass eine Abweichung der Messwerte auch unterhalb der Einschaltwindgeschwindigkeit der WEA (WEA nicht im Produktionsbetrieb) erkannt wird. Es ist davon auszugehen, dass durch die Beheizung der Lagerung des Schalensternanemometers die Sensibilität der Eiserkennung, gegenüber einer unbeheizten Lagerung, herabgesetzt wird.

5 Bewertung

Die Verfahren bzw. die Kombination der Verfahren zur Eiserkennung der Nordex WEA (Schwingungsüberwachung, Leistungskurvenverfahren, Vergleich der Windmessungen) sind prinzipiell dazu geeignet, einen Eisansatz an den Rotorblättern zu erkennen und die WEA abzuschalten und damit die Gefährdung von Personen und Schutzobjekten in der Umgebung der WEA durch Eisabwurf zu reduzieren.

Bei Vereisungsbedingungen und Abschaltung der WEA infolge einer Eiserkennung durch die bordinternen Verfahren ist sicherzustellen, dass nach dem Abklingen der Vereisungsgefahr die Anlage nur gestartet wird, wenn die Rotorblätter eisfrei sind. Hierzu ist vor Ort die Eisfreiheit zu überprüfen und zu bestätigen, bevor die WEA gestartet wird. Der Neustart kann anschließend sowohl vor Ort als auch durch die Fernwarte durchgeführt werden.

Darüberhinausgehende Aussagen zur Sicherheit der Eiserkennung, bzw. zur Sensibilität und Zuverlässigkeit des Systems, lassen sich aus den geprüften Dokumenten nicht ableiten und wurden im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme nicht untersucht und bewertet.

Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme gemäß /11/, /12/ geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen (wiederkehrende Prüfung) des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA gemäß /11/, /12/ aufzuzeigen.

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	 B.Sc. F. Lautenschlager Sachverständiger Hamburg, 06.11.2014
Geprüft durch	 Dipl.-Ing. O. Raupach Sachverständiger Hamburg, 06.11.2014

6 Dokumente und Literaturverzeichnis

6.1 Bewertete Dokumente

- /1/ Nordex Energy GmbH. Technische Beschreibung Nordex-Eiserkennung mittels Leistungskurvenverfahren, Dok.-Nr.: K0819_054191_DE, Rev. 0, Datum: 11.12.2013.
- /2/ Nordex Energy GmbH. Maßnahmen bei Eisansatz, gültig für alle Nordex-Windenergieanlagen, Dok.-Nr. NALL01_008528_DE, Rev. 2, Stand 11.04.2013.
- /3/ Nordex Energy GmbH. Bedienungsanleitung Windenergieanlage, Dok.-Nr.: I501_100_DE, Rev. 10, Stand 21.05.2014.

6.2 Literatur & Quellen

- /4/ DIN 1055-5. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten. Juli 2005.
- /5/ DIBt. Muster – Liste der Technischen Baubestimmungen. Berlin. Fassung September 2013.
- /6/ VTT Technical Research Centre of Finland. State-of-the-art of wind energy in cold climates. VTT WORKING PAPERS 152. ISBN 978-951-38-7493-3. 2010.
- /7/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /8/ Seifert, H. Technische Ausrüstung von Windenergieanlagen an extremen Standorten. Wilhelmshaven. 2002.
- /9/ Seifert, H., Richert, F. A recipe to estimate aerodynamics and loads on iced rotor blades, Boreas IV. Hetta, Finland, 1998.
- /10/ Seifert, H. Technical requirements for rotor blades operating in cold climates Boreas VI. Pyhä, Finland, 2003.
- /11/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Fassung Oktober 2012.
- /12/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.