

Bericht
über die
Plausibilitätsprüfung
am
System zur Erkennung von Eisansatz
und der daraus erfolgenden Abschaltung von
Windenergieanlagen der Firma ENERCON

Auftraggeber:

ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

Die Ausarbeitung des Berichtes erfolgte durch den Sachverständigen

Dr.-Ing. Reinhold Jonas

TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG

Technikzentrum

Competence Center Werkstoff- und Schweißtechnik

Große Bahnstraße 31, 22525 Hamburg

☎ (0 40) 8557 2304 rejonas@tuev-nord.de

1326KU00180 / 8104206760

Revision 3

11.1.2008

Dieser Bericht umfasst 6 Seiten.

1 Ausgangssituation

1.1 Eisbildung

Bei Temperaturen um und knapp unterhalb des Gefrierpunktes [1] kommt es bei ausreichender Luftfeuchtigkeit an den Vorderseiten der Rotorblätter von Windenergieanlagen zur Ansammlung von Eis. Durch die hohe Relativgeschwindigkeit der Blätter erfolgt die Ablagerung überwiegend in Bereichen großer Rotorradien und im Betrieb ausschließlich an den Profileintrittsflächen. Bei den heute üblichen Anlagen mit Nabenhöhen über 100 m und Rotorblättern über 50 m Länge kann sich die Eisablagerung auch lediglich durch das Durchlaufen der äußeren Blattbereiche durch Gebiete hoher Feuchtigkeit in tief hängenden Wolken oder Hochnebel ergeben.

Bei tieferen Temperaturen (unterhalb -7°C) liegen nur sehr geringe Luftfeuchtigkeiten vor. Große freie Wasserflächen in der Nähe der Anlagen führen üblicherweise nur in bodennahen Schichten zu erhöhter Luftfeuchtigkeit.

Wegen der dynamischen Lasten der Rotorblätter, d.h. ihrer wechselnden Verformungen platzen dicke Eisschichten ab und werden aufgrund der hohen Blattspitzengeschwindigkeiten je nach Winkelposition des Abbrechens z.T. mehr als 100 m weit vom Anlagenstandort weg geschleudert [2]. Dünne Eisschichten nehmen einerseits gewisse Verformungen auf [3] und zerlegen sich andererseits aufgrund von aerodynamischen Kräften zu ungefährlichen kleinen Bruchstücken geringer Energie. Ebenso geht von den Rotorblättern abgeschleudeter frisch gefallener Schnee und Reifeis keine nennenswerte Gefährdung aus.

Dicke, massive Eisschichten, die sich stetig aufgebaut haben, stellen jedoch in der Nähe von bewohntem Gebiet bzw. Verkehrsflächen eine nicht tolerable Gefährdung dar.

Die Eisbildung an nicht rotierenden Rotorblättern ist wesentlich geringer. Sie ist ~~vergleichbar mit der Eisbildung an hohen frei stehenden Gebäuden oder Konstruktionen wie z. B. Hochspannungsmasten mit ihren Isolatoren.~~

1.2 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 [4] ist eine deutliche Veränderung beider Koeffizienten bereits bei einer Vereisungsdicke von 3 % der lokalen Profilsehne deutlich erkennbar. Dies macht sich bei Pitchanlagen im Bereich unterhalb der Nennleistung – d.h. nicht gepitchte Blätter – in einer auffallend niedrigeren Leistungsabgabe im Vergleich zum freien Blatt bemerkbar [3]. 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 [5].

1.3 Gebräuchliche Eiserkennungssysteme

Kommerziell werden verschiedene Eiswarndetektoren angeboten, die nach verschiedenen Prinzipien arbeiten. Diese werden i.d.R. auf der Gondel montiert.

So wird z.B. bei einem recht verbreiteten System, das aus je einem beheiztem und einem nicht beheiztem Anemometer besteht, die Fehlanzeige des eingefrorenen Anemometers als Eiserkennungssignal ausgewertet.

Ein anderes System nutzt das im Vergleich zu flüssigen Wasser völlig andere Dämpfungsverhalten von Eis als Erkennungsmerkmal aus.

Eiswarndetektoren auf Basis der Veränderungen des Schallspektrums eines vereisten Blattes befinden sich noch in der Erprobungsphase.

Alle gondelmontierten Systeme können nicht die Eisablagerungen beim Durchfahren feuchter Zonen (tiefe Wolken, Hochnebel) bei großen Anlagenhöhen detektieren.

Das von ENERCON seit mehreren Jahren eingesetzte System zur Eiserkennung und Maschinenabschaltung nutzt den deutlichen Einfluss des Eisansatzes auf die Aerodynamik des Blattes aus.

2 Funktionsweise des ENERCON Systems

Das ENERCON System ist in den folgenden Dokumenten beschrieben:

- [a] ENERCON GmbH: Bericht Eisabschaltung_01.doc
Revision 0, von T. Jepsen, vom 10.11.2004, 6 Seiten
- [b] ENERCON GmbH: ENERCON-Eiserkennungssystem
Auftrag mit technischen Details, von T. Jepsen, vom 10.12.2007, 2 Seiten

Das optimierte System gemäß 2.1 wird nach [b] in den – den jeweiligen Anlagen angepassten Versionen – seit mehreren Jahren in die folgenden Maschinen serienmäßig eingebaut.

Datum	Anlagentypen
ab Februar 2005	E-30/3, E-33, E-40/6, E-58, E-66, E-70/18, E-70 E4
ab August 2005	E-30, E-40
ab Januar 2006	E-44, E-48, E-53, E-70, E-82, E-112

Alle aktuellen Anlagen werden mit dem optimierten System ausgestattet.

2.1 Eiserkennung und Maschinenstillsetzung

Um eine empfindliche Eiserkennung zu erreichen, ist die generelle, d.h., für alle Maschinen eines Typs gleiche, Soll-Leistungskennlinie des jeweiligen Anlagentyps als Basis für den Vergleich mit den aktuellen Parametern der Anlage (Windgeschwindigkeit, Leistung und Pitchwinkel) wegen ihrer zu geringen Genauigkeit ungeeignet. Deshalb wird bei dem System von ENERCON bei Umgebungsbedingungen ohne Eisbildungswahrscheinlichkeit durch laufendes Auswerten der Betriebsparameter eine jeweils für die individuelle Anlage am individuellen Standort vorliegende Kennlinie aufgenommen und als laufender Mittelwert in der Maschinenregelung abgespeichert. Dadurch werden Streuungen der Maschinen und Standorte, schleichende Veränderungen und Verschmutzungen der Anlage und des Messsystems berücksichtigt.

Die folgenden aktuellen Betriebsparameter werden in die Maschinensteuerung laufend eingelesen:

- Pitchwinkel, gemessen über einen periodisch selbstkalibrierenden Blattwinkelgeber
- Windgeschwindigkeit, gemessen mit einem beheizten Anemometer auf der Gondel, dessen Schalen bei Vereisungstemperaturen zusätzlich über eine geeignete Heizung (z. B. Infrarotstrahler) eisfrei gehalten werden können (optional)
Alternative werden auch Ultraschallanemometer eingesetzt.
- Lufttemperatur, zur Umrechnung auf Standardatmosphäre
- elektrische Leistung der Anlage, die direkt abgefragt werden kann
- Rotordrehzahl, die ebenfalls direkt abgefragt werden kann.

Der in der Maschinensteuerung verwendete Rechenwert für die Dichte der Luft wird auf Basis der aktuellen Temperatur korrigiert. Aus dem laufenden Neu-Einlesen der aktuellen Parameter mit gleitender Mittelwertbildung und damit Überschreiben lange ~~vorher eingelesener Parameter ergibt sich dadurch eine Kennlinie, die bereits einen~~ Mittelwert der jahreszeitlichen Luftdichte beinhaltet.

Kurzfristige Temperaturschwankungen (z.B. Tag-Nacht) werden durch die Umrechnung auf Standardatmosphäre berücksichtigt.

Sobald die Abweichungen der Anlagenparameter von der Kennlinie einen empirisch ermittelten Wert überschreiten, erkennt die Steuerung auf Eisansatz und löst an der Maschine einen Normalstop (Pitchen der Blätter) aus. Wegen der hohen Empfindlichkeit der aerodynamischen Koeffizienten auf eine Eisbildung wird die Anlagen abgeschaltet bevor Eis in einer Dicke auf der Rotorvorderseite abgelagert wird, die zur Gefährdung der Umgebung führt.

In der Anlagensteuerung wird der Abschaltgrund „Eisansatz“ gespeichert.

2.2 Wiederanlaufen der Anlage

Um den Abwurf von großen Eisstücken von den Rotorblättern einer wegen Eiserkennung abgeschalteten Anlage beim Wiederanlauf zu auszuschließen, wird die Anlage erst

nach einer temperaturabhängigen Wartezeit nach Ende der Vereisungsbedingungen neu gestartet.

Dazu misst und registriert die Maschinensteuerung die Außentemperatur an der Gondel. Sobald Auftaubedingungen vorliegen, wird zusätzlich die Zeit erfasst, in der die Temperatur oberhalb von 2 °C liegt, und somit das Eis an der Luft und auf der Rotorblattoberfläche auftaut. Erst nach dem Erreichen eines von ENERCON empirisch ermittelten, in dem o.g. Bericht [a] dokumentierten Produkts aus Auftauzeit und gemessener Temperatur kann ein automatischer Wiederanlauf erfolgen.

Alternativ können die Anlagen so programmiert werden, dass ein Wiederanlaufen nur nach manuellem Startsignal durch den Betreiber an der Anlage möglich ist.

2.3 Felderfahrten

Nach telefonischer Aussage der Autobahnmeisterei Oldenburg wurden Autobahnstücke zwischen Oldenburg und Leer, in deren unmittelbarer Nähe neue Anlagen errichtet wurden, über mehrere Winter bei Frostwetter häufig inspiziert. Dabei wurden in keinem Fall von den Anlagen abgefallene Eisstücke beobachtet.

Ein Service-Mitarbeiter von ENERCON berichtete über Beschwerden von Betreibern in gebirgigen Standorten, dass die Anlagen zu oft wegen Eisansatz abschalteten. Die daraufhin inspizierten Anlagen wiesen Vereisungsdicken von ca. 5 mm auf.

3 Bewertung

Das von ENERCON angebotene System zur Erkennung von Eisansatz auf den Rotorblättern und Abschaltung vereister Anlagen basiert auf einem plausiblen und seit fünf Jahren erprobten Verfahren. Im Rahmen der Weiterentwicklung des Systems wurde die Ansprechgenauigkeit durch eine Korrektur des Wertes für die abgegebene Soll-Leistung auf Basis der aktuellen, temperaturabhängigen Luftdichte optimiert.

Die Beurteilung des Systems hat gezeigt, dass das System geeignet ist, den Abwurf von dickwandigen Eisstücken mit hohem Gefährdungspotential von den rotierenden Blättern der ENERCON Windenergieanlagen zu verhindern.

Das System ist bei Reifeis, Klareis und Schneeansammlungen wirksam.

Das Abwerfen von großvolumigen Eisstücken beim Wiederanfahren einer wegen Eisansatzes angehaltenen Anlage wird durch eine wohldurchdachte Maschinensteuerung, die das Abtauverhalten bei verschiedenen Temperaturen berücksichtigt, ausgeschlossen

Die Vereisung einer nicht rotierenden Anlage ist z.B. mit der Vereisung von Isolatoren von Hochspannungsanlagen vergleichbar. Sie stellt deshalb keine zusätzlich zu berücksichtigende Gefährdung dar.

4 Verwendete Literatur

- [1] Laakso, T. e.a.: State-of-the-art of wind energy in cold climates
- [2] Seifert, H., e.a.: Risk analysis of ice throw from wind turbines
Boreas VI, Pyhä, Finland, 2003
- [3] Seifert, H.: Technische Ausrüstung von Windenergieanlagen an extremen
Standorten
St. Poelten 2002
- [4] Seifert, H., Richert, F.: A recipe to estimate aerodynamics and loads on iced
rotor blades
Boreas IV, Hetta, Finland, 1998,
- [5] Seifert, H.: Technical requirements for rotor blades operating in cold climates
Boreas VI, Pyhä, Finland, 2003



Dr.-Ing. Reinhold Jonas
Sachverständiger der
TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG
Hamburg
