

Gutachten

Gefährdungspotenzial durch Eisabwurf von einer Windenergieanlage

Auftraggeber: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
xxxxx
D - 65549 Limburg

Aktenzeichen: **xx x/ xxxxxx u.a.**
Standort der Windenergieanlage: Gemeinde xxxxxxxx
Gemarkung xxxxxx
Flur x, Flurstück xxx -
xxxxx xxxxx

Hersteller der Windenergieanlage: Enercon GmbH
Dreekamp 5 D - 26605
Aurich

Ersteller des Gutachtens: Xxxxxxxxxxxxxx
Xxxxxxxxxxxxxx
Xxxxxxxxxxxxxx
Xxxxx xxxxxxx

Nummer des Gutachtens: xxxxx /2002

Für den konkreten Streitfall (Windenergieanlage des Typs E-40 auf der Gemarkung xxxxxxxxx) stellt sich das Gefährdungspotenzial wie folgt dar:

2.1. Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Vereisungswetterlagen

Vereisungsbedingungen an Windenergieanlagen wurden im Rahmen des von der Europäischen Kommission geförderten Forschungsprojektes **WECO** (Wind Energy Production in Cold climates) [1] umfassend untersucht. Im Verlauf des Projektes wurde eine Vereisungskarte für Europa erstellt (siehe Anhang 1). Dort wird dargestellt, für wieviele Tage im Jahr mit Vereisungswetterlagen in der jeweiligen Region zu rechnen ist. Für den Standort xxxxxxxx im xxxxxxxx sind durchschnittlich 8-14 Tage Vereisungswetterlagen pro Jahr zu erwarten.

2.2. Wurfweiten von weggeschleuderten Eisstücken bei drehendem Rotor

Die Flugweite von weggeschleuderten Eisstücken werden auf der Basis der Untersuchungsergebnisse des Forschungsprojektes WECO [1] abgeschätzt. Auf eine exakte Berechnung wird aufgrund des hohen Berechnungsaufwandes verzichtet, da eine Abschätzung für eine Bewertung des konkreten Problems genügend genau ist. Die Ergebnisse der Abschätzung werden zur Verifizierung mit Ergebnissen aus Betreiberumfragen verglichen.

Die Abschätzung der Wurfweiten basiert auf folgenden Annahmen:

- Windenergieanlage E-40 mit 65 Meter Nabenhöhe und 40 Meter Rotordurchmesser bzw. 20 Meter Rotorradius.
Drehzahlvariabler Betrieb im Teillastbereich. Konstante Drehzahl im Volllastbereich. Windgeschwindigkeiten bis maximal 15m/s in Vereisungswetterlagen.
- Typische Vereisung der Rotorblattnasen, Eisquerschnitte von 0,1 m x 0,15m mit Längen nach dem Abbrechen von 0,2m (längere Eisstücke führen wegen des größeren Luftwiderstandes zu kürzeren Wurfweiten).
- Widerstandsbeiwert der Eisbrocken: $C_w = 1$.
- Dichte des Eises: 700 kg/m^3 ([2] DiBt-Richtlinie für Windkraftanlagen, Fassung 1993).

Bei der Abschätzung wird davon ausgegangen, dass sich das Eis an der äußersten Blattspitze (höchste Umfangsgeschwindigkeit) und bei der Rotorposition, die die größte Wurfweite ergibt, ablöst.

Das Ergebnis der Abschätzungen ist graphisch dargestellt als ein von Eisschlag gefährdeter ellipsenförmiger Bereich in Abwindrichtung der Anlage (siehe Abbildung 1). Das Ausmaß des gefährdeten Bereiches ist abhängig von der vorherrschenden Windgeschwindigkeit. Es werden hier die Ergebnisse für drei unterschiedliche Windgeschwindigkeiten (5m/s und 10m/s und 15m/s) dargestellt:

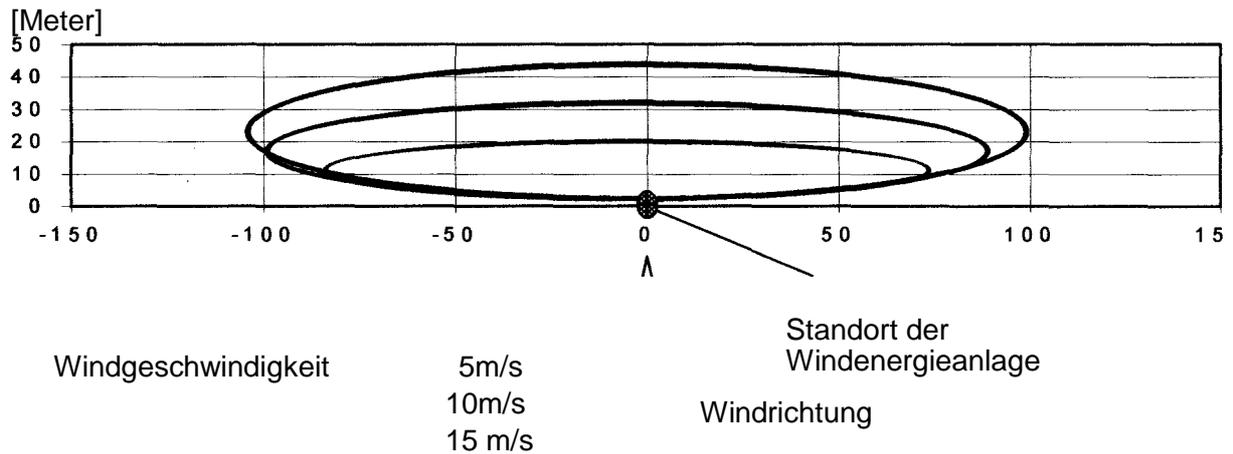


Abbildung 1: Darstellung der Bereiche, in denen Eisfragmente bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten aufschlagen können.

Eisstücke können bei drehender Anlage und hoher Windgeschwindigkeit noch in einer Entfernung von ca. 110m am Boden auftreffen. Die Ausdehnung der von Eisschlag betroffenen Flächen ist parallel zur Rotorebene deutlich größer als senkrecht zur Rotorebene und nimmt mit ansteigender Windgeschwindigkeit deutlich zu. Im Luv der Anlage treffen keine Eisfragmente auf.

2.3. Fallweiten von Eisstücken bei ruhendem Rotor

Für still stehende Anlagen geben einschlägige Richtlinien [2] einen Eisansatz von 30mm vor, der die gesamte Anlage bedeckt. Unter der Annahme, dass die Rotorblätter eine typische Nasenvereisung zeigen [1], ergeben sich Eisquerschnitte von 0,1m mal 0,15m mit Längen nach dem Abbrechen von ~1,0m. Im Gegensatz zum rotierenden Rotorblatt kann sich bei stillgesetzter Anlage und beginnendem Tauwetter auch ein längeres Eisstück lösen.

Das wegfallende Eisstück wird durch vorherrschenden Wind weggetragen. Für die Abschätzung der Flugweiten wird angenommen, dass die Windgeschwindigkeit bei Vereisungswetterlagen und stillstehender Anlage 15m/s nicht überschreitet und der Widerstandsbeiwert der Eisstücke $C_w = 1$ beträgt.

Für den Eisabfall von der still stehenden Anlage sind zwei Rotorstellungen zu untersuchen, die zu maximalen Fallweiten führen: Entweder steht ein Rotorblatt senkrecht und das Eis löst sich von der Blattspitze in 85 Meter Höhe (Variante A) oder ein Rotorblatt steht waagrecht und der Abwurfpunkt ist auf einer Höhe von 65 Metern und entsprechend der Blattlänge 20 Meter vom Turmmittelpunkt entfernt, wobei der Wind von der Seite kommt (Variante B1). Wird die Anlage von vorne angeströmt, reduziert sich die Fallweite (Variante B2).

Berechnungsergebnis	Variante A	Variante B1	Variante B2
Fallweite	38,40 Meter	48,06 Meter	34,41 Meter

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Annahmen ist bei stillgesetzter Anlage im Umkreis von über 48 Metern keinesfalls mit dem Auftreffen von Eisstücken zu rechnen. Dieser Abstand kann durch eine entsprechend gesteuerte Parkposition der Gondel (Vermeidung von Variante B1) auf 38,4 Meter verringert werden.

2.4. Konkretes Gefährdungspotenzial für das Flurstück 21

Die Anlage wurde in etwa mittig auf dem Flurstück xx in Flur 2 auf der Gemarkung xxxxxxxx errichtet (vgl. Auszug aus der Liegenschaftskarte, 32 d. A.).

Das Flurstück xx des Klägers grenzt direkt an. Die minimale Entfernung zwischen dem Standort der Anlage und der Flurstücksgrenze beträgt ~38m. Der auf dem Nachbarflurstück befindliche Schuppen ist von der Anlage aus gesehen in Richtung West-Süd-West in einem Abstand von ~60 Metern positioniert.

Die bei drehender Anlage von Eisschlag betroffenen Flächen können mit Hilfe einer Folie in Verbindung mit der Flurkarte gut dargestellt werden (siehe Abbildung 3). Durch Drehen der Folie können beliebige Windrichtungen simuliert werden.

Es ist zu erkennen, dass auf dem Flurstück xx Eisfragmente auftreffen können. Insbesondere bei Wind aus nördlichen Richtungen liegt auch der Schuppen, der auf dem Flurstück xx errichtet wurde, in dem durch Eisschlag gefährdeten Bereich.

Bei still gesetzter Anlage werden vom Rotor abrutschende Eisstücke nur auf dem Flurstück xx landen (siehe graue Fläche auf der Folie), sofern Variante B1 durch die Anlagensteuerung ausgeschlossen ist. Eine Gefährdung des Nachbarflurstückes 21 kann bei ruhendem Rotor ausgeschlossen werden.

3. Fragenkatalog

3.1. Lässt sich die ausgehende Gefahr des Eisabwurfes von der Windkraftanlage der Firma Enercon (Typ E-40, Seriennummer 40943) dadurch wirksam abstellen, dass die vorhandenen Rotorblätter durch beheizbare Rotoren ersetzt werden?

Antwort:

Die ausgehende Gefahr des Eisabwurfes kann durch die Verwendung einer Rotorblattheizung nicht wirksam abgestellt werden. Die Rotorblattheizung verringert jedoch Stillstandzeiten aufgrund von Eisansatz an Rotorblättern.

Begründung:

An den Rotorblättern der betreffenden E-40 bildet sich zunächst bei Eiswetterlagen Eisansatz, völlig unabhängig davon, ob die Rotorblätter beheizbar sind oder nicht.

Eine wirksame Verhinderung von Eisansatz wäre nur durch einen präventiven Dauerbetrieb einer Rotorblattheizung im Fall von Eiswetterlagen möglich. Dies kann die optional erhältliche Rotorblattheizung von ENERCON nicht leisten, wie in der Betriebsanleitung [3] in Kapitel 8.2.2 dargelegt wird: *„Die Rotorblattheizung ist so ausgelegt, dass sie mit relativ geringer Heizleistung vorhandenen Eisansatz an den Rotorblättern abtauen kann. Die Heizung kann Eisansatz jedoch nicht von vornherein generell verhindern, denn dies würde einen Dauerbetrieb der Heizung erfordern.“*

Mit der standardisierten Ausrüstung kann die Anlage Eisansatz nur indirekt bei drehendem Rotor erkennen, entweder über verminderte Leistungsumsetzung oder durch Rotorunwuchten bei gleichzeitig geringen Umgebungstemperaturen um den Gefrierpunkt. Im Stillstand ist die Detektion von Eisansatz nicht möglich. Das heißt, dass der mit Eisansatz behaftete Rotor zunächst für einen gewissen Zeitraum von einigen Minuten drehen muss, bevor Eisansatz erkannt und der Rotor stillgesetzt wird. Und für diesen Zeitraum kann die Gefährdung durch Eisabwurf nicht wirksam abgestellt werden.

Falls Hinweise auf Eisansatz auftreten, muss die Anlage gestoppt werden und darf erst dann wieder in Betrieb genommen werden, wenn der Eisansatz durch Änderung der Wetterlage selbsttätig abgetaut ist, was nach Kapitel 2.1 bis zu 14 Tage dauern kann. Um diese langwierigen Stillstandzeiten zu vermeiden, kann durch sekundäre technische Maßnahmen wie z.B. die Rotorblattheizung der Eisansatz beseitigt werden.

Mit Hilfe der Rotorblattheizung werden die Rotorblätter von innen erwärmt, die Temperatur an den äußeren Oberflächen steigt auf Werte oberhalb des Gefrierpunktes und das Eis taut ab [3]. Das an der Blattoberfläche angesetzte Eis rutscht in Brocken unterschiedlicher Größe von den ruhenden Rotorblättern ab, mit entsprechend geringen Fallweiten (vgl. Kapitel 2.3).

Kurz nach dem Ende des Heizvorganges kann die Anlage wieder in Betrieb gehen, auch bei Vereisungswetterlagen, allerdings wird die Eisfreiheit der Rotorblätter nur für einen gewissen Zeitraum von mehreren Stunden anhalten, dann kann sich aufgrund einer Auskühlung erneut Eisansatz an den Rotorblättern bilden und in Folge besteht wiederum kurzzeitig eine Gefährdung durch Eisabwurf bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Regelung wegen Anhaltspunkten für Eisansatz die Anlage erneut stoppt und die Heizung aktiviert.

3.2. Kann der Gefahr des Eisabwurfes durch die eingebaute Abschaltautomatik bei Unwucht am Rotor wirksam vorgebeugt werden?

Antwort:

Der Gefahr des Eisabwurfes kann durch die eingebaute Abschaltautomatik bei Unwucht am Rotor nicht wirksam vorgebeugt werden, es wird jedoch eine deutlich geringere Wahrscheinlichkeit von Eisabwurf erreicht.

Begründung:

Auch hier gilt die Begründung wie unter 3.1. Mit der standardisierten Ausrüstung kann die Anlage Eisansatz nur indirekt bei drehendem Rotor erkennen, zum Beispiel durch das Messen von Rotorunwuchten bei gleichzeitig geringen Umgebungstemperaturen um den Gefrierpunkt. Im Stillstand ist das Messen von Unwuchten nicht möglich. Das heißt, dass der mit Eisansatz behaftete Rotor zunächst für einen gewissen Zeitraum von einigen Minuten drehen muss, bevor Eisansatz durch Unwuchtskräfte erkannt werden und der Rotor stillgesetzt wird. Und für diesen Zeitraum kann der Gefährdung durch Eisabwurf nicht wirksam vorgebeugt werden.

Weiterhin ist festzustellen, dass Unwuchten nur dann erkannt werden, wenn sie tatsächlich vorhanden sind. Bei gleichmäßigem Eisansatz an allen drei Rotorblättern ist jedoch keine Unwucht vorhanden. Dann könnte die Anlage über einen längeren Zeitraum auch mit Eisansatz an den Rotorblättern drehen, sofern nicht andere Auswertungen (z.B. Leistungsüberwachung) zum Abschalten der Anlage führen.

Durch die Messung der Rotorunwuchten und der Leistungsüberwachung wird die Wahrscheinlichkeit von Eisabwurf deutlich verringert. Diese Messmethoden erfassen vorhandenen Eisansatz in einem Zeitfenster von einigen Minuten, bevor die Anlage stillgesetzt wird. Im Gegensatz dazu drehen Anlagen ohne diese Messeinrichtungen trotz Eisansatz unbegrenzt weiter.

3.3. Wie kann der Gefahr des Eisabwurfes begegnet werden, wenn ein gleichmäßiger Eisansatz an allen Rotorblättern nicht zu einer Überschreitung der maximalen Schwingwege und damit zu einer Unwucht führt?

Der Gefahr durch Eisabwurf von rotierenden Windenergieanlagen kann nur dann wirksam begegnet werden, wenn Eisansatz nicht indirekt bei drehendem Rotor ermittelt wird, sondern direkt und unabhängig vom jeweiligen Anlagenzustand.

Eine direkte Erfassung von Eisbildung ist durch die Verwendung von sogenannten Eis-Sensoren möglich. Es sind Eis-Sensoren erhältlich, die teilweise schon im langjährigen Einsatz sind und ihre Funktionalität bei Anwendungen sowohl im Flugzeug- und Gasturbinenbereich als auch im Bereich der Windenergienutzung unter Beweis gestellt haben [4] [5]. Diese Sensoren sind teuer und werden deshalb nicht standardmäßig verwendet.

Eis-Sensoren geben bei Bildung einer geringen Eisschichtdicke ein Signal ab, das von einer Anlagensteuerung als Stopp-Signal verwendet werden kann. Die Anlage wird nach einem Stopp erst dann wieder automatisch in Betrieb genommen werden, wenn der Sensor Eisfreiheit meldet. Die Verwendung von Eis-Sensoren stellt somit eine sichere Methode dar, Gefährdungen durch Eisabwurf zu begrenzen.

Nach Verlautbarungen des Anlagenherstellers Enercon wird auch dort an einem Frühwarnsystem für Eisbildung an Rotorblättern gearbeitet, dessen Einsatztauglichkeit durch laufende

Versuche gerade verifiziert wird. Dieses System soll ab Sommer 2002 einsatzbereit sein und kann ggf. der Gefahr durch Eisabwurf auch wirksam begegnen.

Ein länger andauernder Stillstand der Anlage gerade im Winterhalbjahr führt zu nennenswerten wirtschaftlichen Einbußen. Um diese Einbußen zu reduzieren, sollte eine manuelle Wiederinbetriebnahme ermöglicht werden, wenn sich eine befugte und eingewiesene Person vor Ort davon vergewissert hat, dass unter den vorgefundenen örtlichen Bedingungen ein gefahrloser Betrieb möglich ist und eine Gefährdung nicht oder nicht mehr besteht.

4. Verwendete Literatur

- [1] Bengt Tammelin, Massimo Cavaliere, Hannelore Holtinnen, Colin Morgan, Henry Seifert, Kristiina Sääntti; Wind Energy in Cold Climate, Final Report WECO, ISBN 951-679-518-6, Finish Meteorological Institute, Helsinki, Finland, February 2000.
- [2] DiBT-Richtlinie für Windkraftanlagen, Fassung Juni 1993, Herausgeber: Deutsches Institut für Bautechnik in Berlin.
- [3] Betriebsanleitung E-40, Enercon, Version 1.1, Dezember 1997, erstellt von W. Winkler/ D. Gran
- [4] Data Sheet: Ice Detector family for wind turbines, Firma Labko, www.labko.fi [5] Applikationsblatt: Eissensor EW 140 von vibro-meter gmbh, Blatt 480-001 / 08.93 / D

Dieses Gutachten wurde erstellt nach bestem Wissen und Gewissen auf der Basis des dem Sachverständigen zum Zeitpunkt der Erstellung bekannten Sachstandes, unter Berücksichtigung des derzeitigen Standes der Technik und bei strikter Wahrung der Neutralität.

Dieses Gutachten umfasst 11 (elf) Seiten inkl. des Anhangs.

Dieses Gutachten wurde in dreifacher Ausführung erstellt.

Aurich, den xx.xx.02

Dipl.-Ing. xxxx xxxxx
