

Gutachtliche Stellungnahme zum Eisfall

für einen Windpark bei Ostbevern (Nordrhein-
Westfalen)

Windkraft Schirl Frankenbach GmbH & Co.KG



März 2024

Gutachtliche Stellungnahme zum Eisfall

Ermittlung für einen Windpark bei
Ostbevern (Nordrhein-Westfalen)

Berichtsnummer: G240320WAF2a

Aufgestellt: Gevensleben, im März 2024

Auftragnehmer

SOWIWAS - Energie GmbH
Watenstedter Straße 11
38384 Gevensleben

Tel.: 0 53 54 / 99 06 - 235
Fax: 0 53 54 / 99 06 - 219

E-mail gutachten@sowiwas.de
Internet www.sowiwas.de

Auftraggeber

Windkraft Schirl Frankenbach GmbH & Co.KG

Schirl 24
48346 Ostbevern

Telefon 0173 7384822

E-Mail m.stadtman@googlemail.com

INHALT

1	ZUSAMMENFASSUNG	3
2	EINLEITUNG	4
3	STANDORTBESCHREIBUNG	5
4	GRUNDLAGEN ZUR RISIKOABSCHÄTZUNG	9
4.1	INDIVIDUELLES RISIKO	9
4.2	KOLLEKTIVES RISIKO	10
5	RISIKOANALYSE	11
5.1	EISWURF UND EISFALL	11
5.1.1	BESTIMMUNG DER EISABWURFWEITEN	12
5.1.2	MAßNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR EISWURF IM BETRIEB	15
6	RISIKOBEWERTUNG	16
6.1	EISWURF UND EISFALL	16
6.1.1	VEREISUNGSPOTENTIAL	16
6.1.2	GEFÄHRDUNGSRADIUS	17
6.1.3	INDIVIDUALRISIKO	17
6.1.4	KOLLEKTIVRISIKO	18
7	MODELL- UND DATENUNSIHERHEITEN	20
8	BEWERTUNG UND EMPFEHLUNGEN	21
9	VERWENDETE ABKÜRZUNGEN	24
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	24
11	TABELLENVERZEICHNIS	25
12	LITERATURVERZEICHNIS	26

Anhang

- Standortdokumentation
- Technische Beschreibung ENERCON Eisansatzerkennung ENERCON Plattform Independent Control System (PI-CS)
- Technische Beschreibung Wölfel-Eisansatzerkennung ENERCON Control System (CS82, CS101, CS126, EP3-CS-02, EP4-CS-01)

1 Zusammenfassung

Im Windpark Ostbevern werden beim Neubau von Windenergieanlagen (WEA, Typ Enercon E-175 EP5 (2x) und E-138 (1x)) die Mindestabstände zu Verkehrsflächen (hier mehrere Wirtschafts- und Feldwege, sowie eine Straße) bzgl. Eisabwurf - 1,5 mal (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) – bei zwei Anlagen unterschritten.

Eine Verschiebung der Standorte ist aufgrund der Lage rings um die Windparkfläche nicht möglich. Durch verschiedene Maßnahmen kann die Gefährdung durch Eisabfall deutlich minimiert werden:

1. WEA N1, N2: Installation eines Systems zur automatischen Erkennung von Eisansatz an den Rotorblättern und Abschaltung der WEA nach Vorgabe des Anlagenherstellers [2].
2. WEA N1, N2: Automatische Erkennung der Eisfreiheit der Rotorblätter durch ein weiteres zertifiziertes Eiserkennungssystem (hier System Wölfel IDD Blade [5, 7], siehe Anhang).
3. Aufstellung von Warnhinweisen (Gefährdung durch Eisfall) an den Zufahrtswegen zum Windpark an den Grenzen des Gefährdungsbereichs.

Bei Umsetzung der oben beschriebenen Maßnahmen liegen die o.g. Risikowerte auch nach den konservativen IEA Empfehlungen [16] im unkritischen Bereich (Individualrisiko kleiner 10^{-6} ; Kollektivrisiko kleiner 10^{-4}).

2 Einleitung

Der Auftraggeber plant südöstlich der Ortschaft Ostbevern (Landkreis Warendorf, Nordrhein-Westfalen) die Erweiterung eines Windparks. Dabei sind drei weitere WEA (2x E-175 und 1x E-138) am südlichen Rand der Parkfläche vorgesehen.

Bei zwei Anlagen (N1, N2) wird der erforderliche Mindestabstand $1,5 \times$ (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) zu Wirtschafts- und Feldwegen unterschritten.

Nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) sind genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist nachzuweisen, dass die öffentliche Sicherheit durch die geplanten Anlagen nicht beeinträchtigt wird. Nach den Vorgaben des Niedersächsischen Windenergieatlasses gelten Abstände größer als $1,5 \times$ (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) zu öffentlichen Verkehrswegen als ausreichend. Sofern diese Abstände nicht eingehalten werden, ist eine gutachterliche Stellungnahme erforderlich, um eine Abweichung zu begründen und die Funktionssicherheit von zusätzlichen Einrichtungen (z.B. Rotorblattheizung, automatische Abschaltung bei Eisansatz, Monitoringsysteme zur Eisansatzerkennung) zu gewährleisten.

Bei einer Nabenhöhe der Neuanlagen von 162 m (E-175), bzw. 160 m (E-138) und einem Rotordurchmesser von 175 m (E-175), bzw. 138,4 m (E-138) sind daher auftretende Abstände unter 505 m (E-175), bzw. 448 m (E-138) m zu Verkehrswegen gesondert zu überprüfen.

Dazu werden die vorgesehenen technischen Maßnahmen zur Vermeidung von Eisabwurf und Eisabfall beschrieben und bewertet. Ergänzend wird eine Berechnung der Eisabfallwahrscheinlichkeit im Umkreis der WEA erstellt.

3 Standortbeschreibung

Eine Standortbesichtigung am geplanten Anlagenstandort wurde nicht durchgeführt. Die Standorte sind dem Auftragnehmer im Rahmen früherer Untersuchungen bekannt.

Vom Auftraggeber wurde 2024 eine aktuelle Fotodokumentation erstellt (Anhang).

Die geplante Windparkerweiterung befindet sich südöstlich der Ortschaft Ostbevern (Landkreis Warendorf, Nordrhein-Westfalen) auf landwirtschaftlichen Nutzflächen mit verbreiteten Busch- und Baumpflanzungen entlang der Feldwege und Straßen.

Ostbevern liegt im Nordosten des Münsterlandes, etwa 18 km nordöstlich von Münster und 18 km nordwestlich von Warendorf an der Bever. Die nächstgelegenen Orte in der Umgebung sind der Ostbeverner Ortsteil Schirl im Norden, die Ortschaft Milte im Südosten, sowie mehrere Einzelhöfe im Osten und Süden.

Die neuen Standorte liegen östlich und südlich eines größeren Waldgebietes, der Schirler Heide. Die Landschaft ist von intensiver landwirtschaftlicher Nutzung geprägt, die dabei relativ kleinteilig ist. Äcker, Wiesen, Weiden, kleine und größere Wäldchen und Wallhecken ergeben ein abwechslungsreiches Landschaftsbild.

Das Gelände ist im nahen Umfeld eben mit Höhen zwischen 50 m und 70 m ü NN.

Die neuen Standorte befinden sich auf Höhen von 55-60 m NN.

Die folgende Karte zeigt die geplanten WEA und die Abstandskreise (Radius 505 m, bzw. 448 m) um die Standorte, innerhalb derer eine erhöhte Gefährdung vorliegt.



Abbildung.1a: Gefährdungsradien (rot) rings um die neuen WEA : geplante WEA mit Gefährdungskreis und Rotorkreis (blau). Betroffen sind die umliegenden Feld- und Wirtschaftswege, sowie die Kreisstraße K18.



Abbildung.1b: Gefährdungsradien (rot) rings um die neuen WEA und betrachtete Wege- und Straßenbereiche (rot markiert) innerhalb des Gefährdungskreises.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der betroffenen Verkehrswege und der näher betrachteten Windenergieanlagen.

Tabelle 1: Übersicht der betrachteten WEA und der gefährdeten Streckenbereiche.

lfd. Nr	Bezeichnung	Typ	Nabenhöhe (m)	Rotordurchmesser (m)	UTM WGS84 Zone 32	
					Ost	Nord
Neue WEA						
1	WEAN1	Enercon E-175	6.000	162	175,0	421.810
2	WEAN2	Enercon E-175	6.000	162	175,0	422.635
3	WEAN3	Enercon E-138	4.260	160	138,4	422.698
Betroffene Verkehrswege						
	Bezeichnung	WEA im Abstand < 505m, bzw.448 m		Lage		
E1	Kreisstraße K18	Nr. 2: 600 m		Nr. 2: 327 m (Nord)		
E2	Verbindungsweg östl.N2,N3	Nr. 2: 770 m		Nr. 2: 250 m (West)		
E3	Feldweg nördlich N1	Nr. 1: 1.140 m		Nr. 1: 80 m (Süd)		
		Nr. 2: 312 m		Nr. 2: 390 m (Ost)		

Die WEA N3 ist weit genug entfernt von Wegen und Straßen und wird daher nicht weiter betrachtet.

4 Grundlagen zur Risikoabschätzung

Für die vorliegende Fragestellung werden verschiedene Quellen zur Ermittlung eines Risikogrenzwertes herangezogen, da es deutschlandweit kein einheitliches Risikoakzeptanzkriterium gibt:

- Prinzip der minimalen endogenen Mortalität (MEM, [1])
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE, [8])
- Risk Criteria in EU [9]
- Deutsche Störfall Kommission-Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung [10]
- Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen VdTÜV [11]

Erhöht sich das Risiko infolge der betrachteten Gefährdung durch die WEA signifikant, so sind entsprechende Maßnahmen abzuleiten. In Anlehnung an das MEM Prinzip [1] wird eine Risikoerhöhung um mehr als 10% als signifikant erachtet.

Im Rahmen der Beurteilung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmern im öffentlichen Straßen- und Schienenverkehr werden die Gefährdung der einzelnen Verkehrsteilnehmer und die des Straßen- und Schienenverkehrs in den betroffenen Verkehrsabschnitten berücksichtigt. Für die Bewertung einzelner Verkehrsteilnehmer werden Bewertungsmaßstäbe für das Individualrisiko herangezogen (Kap. 4.1).

4.1 Individuelles Risiko

MEM Prinzip

Das Prinzip der MEM [1] beschreibt das akzeptierte (unvermeidliche) Risiko, durch eine betreffende Technologie zu Tode zu kommen.

Sie wird in der CENELEC-Norm EN 50126 beschrieben und konkretisiert als **0,0002 Todesfälle pro Person und Jahr** (in wirtschaftlich gut entwickelten Ländern). Da jeder Mensch „vielen“ (normiert: 20) technischen Systemen gleichzeitig ausgesetzt ist, wird pro System ein Schwellwert von $1/20$ MEM = 0,00001 Tote/Jahr festgesetzt.

Dieser Wert darf von geplanten Neuerungen nicht überschritten werden. Im Gegenteil müssen neue Technologien in aller Regel sicherer sein als alte, da der technische Fortschritt das ermöglicht (ALARP-Prinzip, von englisch *as low as reasonably practicable* [6]).

GBE Statistik

Nach den Unfallstatistiken der GBE [8] und mit der Annahme eines Anstiegs des Risikos um maximal 10% (noch nicht signifikant), erhält man:

- Risiko eines tödlichen Freizeitunfalls $6,0 \cdot 10^{-6}$ (0,000006) je Person und Jahr.

VdTÜV

In [11] wird empfohlen, für Deutschland den in den Niederlanden geltenden Risikogrenzwert von $1,0 \cdot 10^{-6}$ für Neuanlagen zu übernehmen, solange in Deutschland keine rechtlich verbindliche Regelung vorliegt.

Ein Vergleich der drei Ansätze zeigt, dass die Risikoakzeptanzkriterien in einem Bereich von $1,0 \cdot 10^{-6}$ pro Person und Jahr (unterer Grenzwert des Individualrisikos) bis $1,0 \cdot 10^{-5}$ pro Person und Jahr (oberer Grenzwert des Individualrisikos) liegen.

Ein Individualrisiko unterhalb von $1,0 \cdot 10^{-6}$ ist als akzeptabel oder unkritisch zu bewerten. Im Bereich zwischen $1,0 \cdot 10^{-6}$ und $1,0 \cdot 10^{-5}$ ist das Risiko tolerabel. Nach dem ALARP Prinzip [6] sind in diesem Fall jedoch Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich, bzw. zu prüfen.

Ein Individualrisiko oberhalb von $1,0 \cdot 10^{-5}$ gilt als unakzeptabel. In diesem Fall müssen weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung durchgeführt werden.

4.2 Kollektives Risiko

Die Bewertung des ermittelten Kollektivrisikos richtet sich nach den IEA Empfehlungen [16] vom April 2022. Laut Tabelle 5 des o.g. Dokuments sind Risikowerte $< 10^{-4}$ unkritisch, im Bereich 10^{-3} bis 10^{-4} tolerabel und bei $> 10^{-3}$ nicht akzeptabel (vgl. S.28, Tabelle 5 in [16]).

Diese Grenzwerte gelten unabhängig von der tatsächlichen Verkehrsbelastung an den untersuchten Straßen und Wegen. Sie sind insbesondere für Nebenstraßen, Waldwege, und für Fußgänger anzuwenden.

Bei Risiken $> 10^{-3}$ müssen weiterführende Maßnahmen zur Risikominimierung ergriffen werden. Dazu zählen laut Tabelle 7, letzte Spalte auf S.31 (in [16]) Maßnahmen zur Eiserkennung und zum Wiederanlauf nach Eiserkennung.

Alternativ kann zur Beurteilung der Gefährdung des Straßen- und Schienenverkehrs das allgemein vorliegende Unfallrisiko im Straßenverkehr betrachtet werden. Dazu werden die aktuellen Statistiken von Unfällen herangezogen. Bei einer signifikanten Risikoerhöhung (größer 10% in Anlehnung an das MEM Prinzip [1]) sind entsprechende Maßnahmen zur Minderung vorzusehen.

5 Risikoanalyse

5.1 Eiswurf und Eisfall

Die Begriffe Eiswurf und Eisfall werden meist in Zusammenhang mit Windenergieanlagen verwendet und bezeichnen das Abfallen (bei stehender Anlage), bzw. Abwerfen (Abwurf) von Eis von den Rotorblättern. Die Gefahr von herabfallenden Eisstücken bei entsprechender Witterung geht jedoch grundsätzlich von allen hohen Gebäuden und Bauwerken aus.

Bei bestimmten Wetterlagen (insbesondere bei Nebel oder Regen und Temperaturen um den Gefrierpunkt oder darunter) können sich auf den Rotorblättern von Windenergieanlagen Eisschichten bilden, die sich bei Tauwetter oder bei Erreichen einer bestimmten Eisdicke ablösen.

Je nach Betriebszustand der Anlage lassen sich drei Fälle unterscheiden:

1. Die Anlage ist während der Eisbildung in Betrieb, durch die Rotordrehung und die Biegung der Rotorblätter werden Eisstücke in Drehrichtung des Rotors abgeworfen. Dieser Betriebszustand kann durch ein automatisches System zur Erkennung von Eisansatz ausgeschlossen werden.
2. Im Stillstand – insbesondere bei einsetzendem Tauwetter – kann das angesetzte Eis abfallen und durch den vorherrschenden Wind zusätzlich entgegen der Windrichtung verdriftet werden.
3. Beim Wiederanlauf der Anlage nach Stillstand und nicht vollständig abgetauten Rotorblättern werden Eisstücke in Drehrichtung des Rotors abgeworfen.

Rechnerisch sind je nach Windgeschwindigkeit Wurfweiten von mehreren hundert Metern möglich. In der Realität tritt kritischer Eiswurf selten bei hohen Windgeschwindigkeiten auf. Eiswetterlagen sind meist schwachwindig, schon Eisansatz in Millimeterstärke reduziert Auftrieb und Drehzahl des Rotors und das Eis wird in kleinen Stücken bereits durch die auf sie wirkende Zentripetalkraft abgeworfen. Je nach Eisform wirkt der Luftwiderstand begrenzend auf die Wurfweite. Parameter für die Wurfweite sind Drehzahl, Anlagenhöhe, Rotordurchmesser, ablenkende Windgeschwindigkeit quer zur Wurfrichtung und Eisform (Luftwiderstand).

Es wird daher empfohlen, einen Abstand von $1,5 \cdot x$ (Nabenhöhe + Durchmesser) zu den nächsten gefährdeten Objekten einzuhalten [3]. Ist dies nicht möglich, sollte die Anlage in Zeiten möglicher Vereisung automatisch abgeschaltet bleiben, es sei denn, der Wind kommt aus Richtungen, die eine Gefährdung dieser Objekte durch Eisabwurf ausschließen oder eine Vereisung wird durch aktive Beheizung der Blätter verhindert.

Durch eine Gondelverstellung kann das Risiko des Eisfalls im Stillstand auf eine gefährdete Fläche unter einem Abstand von $1,5 \cdot x$ (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) zudem minimiert werden.

5.1.1 Bestimmung der Eisabwurfweiten

Die Gefährdung durch Eisabwurf im laufenden Betrieb der WEA wird durch das eingesetzte Eiserkennungssystem weitgehend ausgeschlossen. Die WEA wird bei Eisansatzerkennung automatisch gestoppt. Im Stillstand, bzw. im Trudelbetrieb abfallendes Eis – insbesondere während des Abtauens - kann je nach Windrichtung und Windgeschwindigkeit, sowie Größe und Form der Eisstücke verdriftet werden und damit auch außerhalb der Rotorkreisfläche zum Boden gelangen.

In einer umfangreichen internationalen Studie zum Eisansatz an WEA (*Wind Energy in Cold Climate, WECCO Projekt*, [3]) wurde ein Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Verdriftung entwickelt und mit beobachteten Abwurfweiten verifiziert (*H. Seifert 2007*; [4]).

Neben der Windgeschwindigkeit hängt die Verdriftungsweite danach wesentlich von Luftwiderstandsbeiwert c_w des Eises ab. Längliche Eisstücke (typische Längen bis 2 m und Querschnitt 8 cm mal 13,5 cm, die häufig beim Abtauen vereister Rotorblätter auftreten, werden danach bei gleicher Windgeschwindigkeit aufgrund ihres gegenüber kompakten (runden) Eiskörpern höheren c_w Werts deutlich weiter von der WEA verdriftet (nach [4]).

Für die Bestimmung der Auftreffwahrscheinlichkeit im Umfeld der WEA wird daher im Folgenden von großen, länglichen Eisstücken ausgegangen.

Die maximalen Abwurfweiten werden dabei nach folgender Gleichung bestimmt (vgl. in [4]):

$$d_{max} = (v + vr) * \left(\frac{D}{2} + H\right) / 15$$

mit

d_{max} : maximale Abwurfweite durch Verdriftung bei stillstehender WEA;

v : Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe;

vr : Geschwindigkeit des Rotorblatts im Trudelbetrieb

D : Rotordurchmesser

H : Nabenhöhe

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe der WEA für verschiedene Windrichtungen und die Verteilung der Häufigkeit der Windrichtungen in einem durchschnittlichen Jahr werden mit Hilfe von benachbarten Wetterstationsdaten (Deutscher Wetterdienst) ermittelt.

Für die Zeiträume mit potenzieller Vereisung wird folgende Verteilung angenommen:

Tabelle 2: Verwendete Windstatistiken im Windpark, langjährige Mittelwerte.

Richtungssektor	Windgeschwindigkeit in 149 m Höhe über Grund (Mittel)	Windrichtung Häufigkeit
	m/s	Prozent
0 (Nord)	4,1	3,9
1	4,45	5,3
2	6,33	7,6
3 (Ost)	6,13	6,8
4	4,66	10
5	4,12	8,6
6 (Süd)	6,12	7,6
7	8,03	13
8	7,65	16
9 (West)	6,3	10,8
10	5,24	5,9
11	4,68	4,5
Mittel windrichtungsgewichtet	6,05	100

Aus den Daten und mit Hilfe der o.g. Gleichung kann die Auftreffwahrscheinlichkeit von Eisstücken im Umkreis der WEA berechnet werden. Die auf der nächsten Seite dargestellte Karte stellt die Auftreffwahrscheinlichkeit für abfallendes Eis in Prozent je Quadratmeter Grundfläche dar.

Wie erwartet, nimmt die Wahrscheinlichkeit rasch mit dem Abstand zum Anlagenmittelpunkt ab. Innerhalb der vom Rotorkreis überstrichenen Fläche (Abstand < 75 m vom WEA Mittelpunkt) sind ca. 60% des abfallendes Eises zu erwarten.

Die größten Abfallweiten sind in nordöstlicher und östlicher Richtung zu erwarten, da die höchsten Windgeschwindigkeiten im langjährigen Mittel bei Südwest bis Westwind auftreten und diese Windrichtungen am häufigsten auftreten (vgl. Tabelle 2).

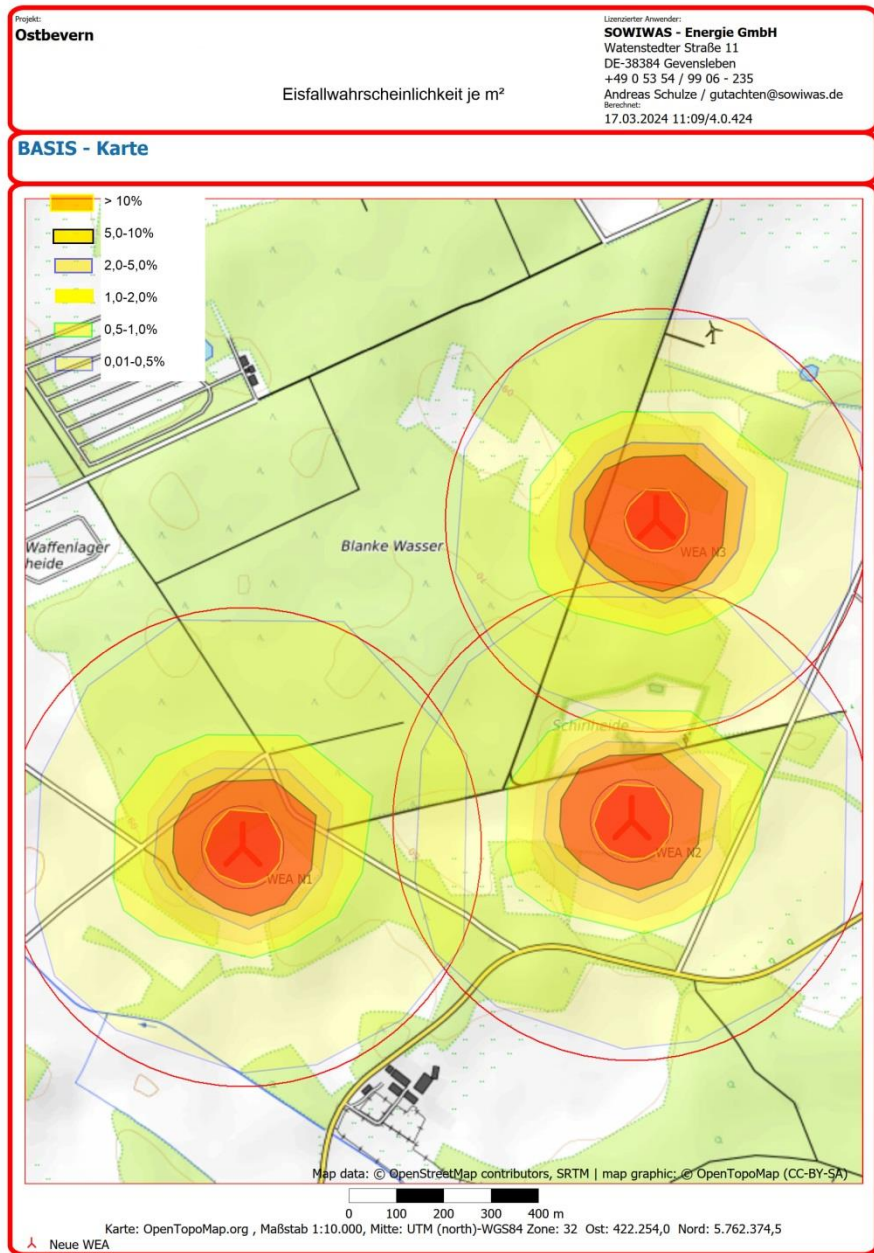


Abbildung 2: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten von den WEA N1-N3; Gefährdungskreis rot, Durchmesser 1,5 mal (Durchmesser + Nabenhöhe=505 m bei WEA N1 und N2, bzw. 448 m bei WEA N3).

5.1.2 Maßnahmen zum Schutz vor Eiswurf im Betrieb

Die WEA kann vom Hersteller mit einem zertifizierten System zur automatischen Erkennung von Eisansatz an den Blättern ausgestattet werden. Das System wird im Anhang ausführlich beschrieben [2, 5].

Ein Eisansatz wird dabei durch zwei unabhängige Systeme erkannt:

1. Detektion von Unwucht und Vibrationen in den Rotorblättern und der Gesamtanlage durch anwachsendes Eis;
2. Feststellung von nicht plausiblen Werten der gemessenen Windgeschwindigkeit und Anlagenleistung, z.B. zu geringe Leistung trotz ausreichend Wind (durch Veränderung der Aerodynamik am Rotorblatt durch Eis). Dazu wird die aktuell gültige Leistungskennlinie der WEA mit den aktuell gemessenen Werten verglichen;

Durch die voneinander unabhängigen Erkennungssysteme ist eine sichere Detektion von Eisansatz möglich, insbesondere auch beim Wiederanlauf nach Stillstand. Dies wird durch die Zertifizierung des Systems bestätigt (siehe Anhang).

6 Risikobewertung

6.1 Eiswurf und Eisfall

Abfallende Eisstücke aus großer Höhe und mit entsprechend hoher Geschwindigkeit können für Verkehrsteilnehmer im Trefferbereich eine ernste Gefahr darstellen. Bei Schienenfahrzeugen ist die Beschädigung der Frontscheibe des Triebwagens, bzw. der Lokomotive relevant bzgl. Eisfall. Aufgrund des Fallwinkels von Eisstücken und der Bewegungsrichtung des Zuges sind die Waggonscheiben nicht gefährdet.

Die betrachteten WEA können mit einem System zur automatischen Abschaltung bei Eisansatz von drehenden Rotorblättern ausgestattet werden. Das zertifizierte System ist bei mehreren Anlagenherstellern im Einsatz und hat sich hier in den vergangenen Jahren bewährt.

Im Folgenden wird daher nur die Gefährdung bei Eisfall von stehenden Rotorblättern betrachtet.

6.1.1 Vereisungspotential

Die Vereisung durch Eisregen oder Raueis ist abhängig von den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Feuchte und Windgeschwindigkeit, die durch das Standortklima und die jeweiligen Witterungsverhältnisse vorgegeben sind. Ferner beeinflussen Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form der Rotorblätter den Vereisungsgrad.

Allgemeingültige Aussagen über das Auftreten von Vereisung können daher nicht gemacht werden. Bevorzugt tritt sie im Gebirge, in Küstennähe, in der Nähe großer Binnengewässer und an Flussläufen auf.

Aufgrund des Druckabfalls an der Hinterseite der Rotorblätter sinkt dort die Lufttemperatur und Vereisung kann bereits bei Außentemperaturen unter ca. 2°C auftreten. Eisabfall von Rotorblättern kann nach jeder Vereisungswetterlage mit anschließendem Tauwetter auftreten. Die abgeschalteten WEA unterscheiden sich dabei nicht wesentlich von anderen hohen Objekten wie z.B. Brücken oder Strommasten.

Für die Standorte bei Ostbevern ist gemäß den Statistiken des Deutschen Wetterdienstes für das ca. 16 km entfernte Münster mit 36 Vereisungstagen (Frosttage mit hoher Luftfeuchtigkeit) im Jahr zu rechnen). Für den Eisfall entscheidend sind die Vereisungsereignisse, die in der Regel aus mehreren zusammenhängenden Vereisungstagen bestehen. Erst am Ende einer Vereisungsperiode (bei Tauwetter) tritt Eisfall auf. Die 36 Vereisungstage in Münster lassen sich in rund neun durchgehende Vereisungsereignisse aufteilen.

Da die Wintertemperaturen der letzten Jahre angestiegen sind und aufgrund des Klimawandels weiter ansteigen, ist zukünftig mit einer geringeren Zahl von Vereisungstagen zu rechnen.

Zusätzlich zu den Vereisungsereignissen muss die Anzahl der möglichen Eisfallereignisse je Vereisung bekannt sein. Hierzu werden Daten einer Fallstudie eines Schweizer Forschungsprojekts (Alpine Test Site Gütsch) verwendet [12]. Dabei wurden die abgefallenen und abgeworfenen Eisobjekte

bei einer WEA mit 44 m Rotordurchmesser (Enercon E-40 6.44) statistisch über einen Zeitraum von vier Jahren erfasst. Insgesamt wurden 250 Eisobjekte bei einer Vereisungshäufigkeit von 10-30 Tagen pro Jahr erfasst. Damit lässt sich die Anzahl von Eisobjekten pro Vereisung abschätzen zu:

250 /4 Jahre/10 Vereisungen pro Jahr oder 6-7 Eisobjekte pro Vereisung.

Nimmt man an, dass ein Teil der Eisobjekte (ca. 1/3) nicht gefunden wurde, lässt sich konservativ ein Wert von 10 Eisobjekten je Vereisung annehmen. Zur Übertragung der Ergebnisse der Feldstudie auf andere Typen von WEA muss der unterschiedliche Rotordurchmesser berücksichtigt werden. Die gebildete Eismenge bei drehendem Rotor ist in erster Näherung proportional zur Rotorfläche und damit zum Quadrat des Rotordurchmessers.

Das Verhältnis der Rotorflächen Enercon E-175 zu Enercon E-40 6.44 beträgt 15,8 (E-175), bzw. 9,9 (E-138). D.h. für die E-175 ist mit $15,8 \times 10 = 158$ Eisobjekten je Vereisung zu rechnen (E-138 99).

Auf das Jahr umgerechnet erhält man damit 158 Eisobjekte \times 10 Vereisungsereignisse = 1.580 Eisabfall Ereignisse pro WEA und Jahr (E-138: 990).

6.1.2 Gefährdungsradius

Die maximale Fallweite von Eisstücken bestimmt den Gefährdungsradius rings um die Windenergieanlage. Bei einer Windgeschwindigkeit von 25 m/s (das 99,9% Quantil der Häufigkeitsverteilung in Nabenhöhe) beträgt die Fallweite ca. 420 m (E-175), bzw. 382 m (E-138), jeweils für flache, flächige Eisobjekte mit maximalen Fallweiten.

Innerhalb dieses Abstands verlaufen die in Tabelle 1 beschriebenen Wege und Straßen.

6.1.3 Individualrisiko

Auf Basis der in Abbildung 2 (Gefährdungsflächen bei Eisabfall) dargestellten Trefferhäufigkeiten kann das Risiko eines Unfalls auf den Wegen (E1-E3) ermittelt werden. Dabei wird konservativ eine durchschnittliche Fahrtgeschwindigkeit von 30 km/h (E1), bzw. 10 km/h (E2, E3) angenommen (was die Aufenthaltsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höheren Fahrtgeschwindigkeit deutlich erhöht). Die Verkehrsdichte wird bei E1 mit 500 Fahrzeugen pro Tag und bei E2 und E3 mit 50 Fahrrädern, bzw. Fußgängern pro Tag angenommen.

Trifft der Eisabfall zeitlich und örtlich mit dem zu betrachtenden Fahrzeug überein, besteht eine Gefährdung des Verkehrs:

Es gilt folgender Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{vj} * h_{Ev} * h_{Tej} * A_T * P_{VA} * P_{Aj}$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj}$$

Mit

H_{Tj} Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr;

H_T Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr;

- h_{vj} Häufigkeit der Vereisung pro Jahr (9 Vereisungsereignisse);
- h_{Ev} Häufigkeit Eisabfall pro Vereisung (158 für den Anlagentyp E-175, 99 für die E-138);
- h_{Tej} Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Eisabfall;
- A_T Trefferfläche: ca. 2 m² (konservative Annahme),
- P_{VA} Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit an einem Vereisungstag. Beispiel Anwohner oder Pendler, der die Strecke einmal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg). $P_{VA} = (225 * 2)/365$
- P_{Aj} Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Gefährdungsbereich j eintritt: $P_{Aj} = \left(\frac{l_j}{v_f t}\right) / 24$; l_j : Länge des Gefährdungsbereichs (siehe Tab.1, $v_f = 30 \frac{km}{h}$, bzw. 10 km/h

Damit erhält man die in der folgenden Tabelle dargestellte Trefferhäufigkeit pro Jahr (Individualrisiko). Dabei wird konservativ angenommen, dass jeder Treffer der Windschutzscheibe einen Unfall mit Personenschaden zur Folge hat.

Tabelle 3: Individualrisiko pro Jahr bei Eisabfall (ohne weiterführende Maßnahmen)

Verkehrsweg	WEA	Treffer bei 30 km/h (E1), bzw. 10 km/h bei E2, E3
E1	Nr. 2	$1,66 \cdot 10^{-13}$
E2	Nr. 2	$4,15 \cdot 10^{-7}$
E3	Nr. 1	$5,58 \cdot 10^{-5}$
	Nr. 2	$2,09 \cdot 10^{-11}$
	Summe E3	$5,58 \cdot 10^{-5}$

Ein Individualrisiko von $5,58 \cdot 10^{-5}$ bei E3 bedeutet im Mittel alle 17.900 Jahre einen lebensbedrohlichen Treffer durch Eisabfall. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

6.1.4 Kollektivrisiko

Das Kollektivrisiko berechnet sich nach den Randbedingungen für das Individualrisiko und nach der geschätzten Verkehrsdichte auf dem Weg. Es gilt folgender Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{vj} * h_{Ev} * h_{Tej} * A_T * h_{aVT} * P_{Aj}$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj}$$

Mit

- H_{Tj} Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr;
- H_T Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr;
- h_{vj} Häufigkeit der Vereisung pro Jahr;
- h_{Ev} Häufigkeit Eisabfall pro Vereisung
- h_{Tej} Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Eisabfall;
- A_T Trefferfläche des Fahrzeugs: ca. 2 m².
- h_{aVT} Verkehrsdichte: 50 Fahrräder, bzw. Personen pro Tag bei E2, E3 und 500 bei E1 (maximal geschätzt).

P_{Aj} Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Gefährdungsbereich j eintritt: $P_{Aj} = \left(\frac{l_j}{v_f}\right) / 24$; l_j : Länge des Gefährdungsbereichs (siehe Tab. 1), $v_f = 30 \frac{km}{h}$, bzw. $10 \frac{km}{h}$

Damit erhält man die in der folgenden Tabelle dargestellte Trefferhäufigkeit pro Jahr (Kollektivrisiko). Dabei wird konservativ angenommen, dass jeder Treffer der Windschutzscheibe einen Unfall mit Personenschaden zur Folge hat.

Tabelle 4: Kollektivrisiko pro Jahr bei Eisabfall (ohne weiterführende Maßnahmen)

Verkehrsweg	WEA	Treffer bei 30 km/h (E1), bzw. 10 km/h bei E2, E3
E1	Nr. 2	$1,34 \cdot 10^{-10}$
E2	Nr. 2	$3,37 \cdot 10^{-5}$
E3	Nr. 1	$3,50 \cdot 10^{-3}$
	Nr. 2	$1,69 \cdot 10^{-9}$
	Summe E3	$3,50 \cdot 10^{-3}$

Das ermittelte Kollektivrisiko von $3,50 \cdot 10^{-3}$ bei E3 bedeutet, dass sich im Mittel alle 286 Jahre ein schwerer Unfall durch Eisabfall ereignet. Eine Aussage zum Zeitpunkt lässt sich daraus nicht ableiten.

7 Modell- und Datenunsicherheiten

Die Risikoanalyse verwendet vereinfachte Annahmen und Randbedingungen, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten und den Analyseaufwand zu begrenzen.

Sämtliche Annahmen und Randbedingungen sind dabei konservativ gewählt.

Modellrechnungen erfassen die Realität lediglich annähernd, sie können daher nur als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung dienen. Die ermittelten Risikowahrscheinlichkeiten gelten nur unter den genannten Randbedingungen. Insbesondere die Abgrenzung der Gefährdungsbereiche im Ereignisfall ist in der Realität nicht so scharf, wie hier dargestellt. Das gilt in besonderem Maße für das Brandrisiko und das Risiko des Bauteilversagens.

Die dargestellten Ergebnisse dienen der Orientierung.

8 Bewertung und Empfehlungen

Die nachstehende Tabelle fasst die errechneten Unfallwahrscheinlichkeiten an öffentlichen Verkehrswegen bei Eisfall zusammen:

Tabelle 5: Unfallrisiken beim Betrieb der WEA N1-N3 (**ohne weiterführende Maßnahmen**). Fett-druck kursiv: Werte oberhalb des unkritischen Bereichs, Normaldruck: Werte im unkritischen Bereich.

Risiko Unfall	Eisfall	untere Risiko-schwelle
E1		
Summe Individualrisiko	1,66 10^{-13}	1,00 10^{-6}
Summe Kollektivrisiko	1,34 10^{-10}	1,00 10^{-4} nach [16]
E2		
Summe Individualrisiko	4,15 10^{-7}	1,00 10^{-6}
Summe Kollektivrisiko	3,37 10^{-5}	1,00 10^{-4} nach [16]
E3		
Summe Individualrisiko	5,58 10^{-5}	1,00 10^{-6}
Summe Kollektivrisiko	3,50 10^{-3}	1,00 10^{-4} nach [16]

An der Straße (E1) und dem Weg E2 liegen Individual- und Kollektivrisiko deutlich im unkritischen Bereich (Individualrisiko kleiner $1,0 \cdot 10^{-6}$, Kollektivrisiko kleiner $1,00 \cdot 10^{-4}$).

Am Weg (E3) sind die Risiken aufgrund des Abstands der WEA N1 zum Weg oberhalb des unkritischen Bereichs, so dass hier nach dem ALARP Prinzip [7] und nach IEA [16] Maßnahmen zur Risikominderung von Eisfall erforderlich sind. Durch folgende Maßnahmen kann die Eisbildung an den beweglichen Anlagenteilen verringert werden und Eisabwurf beim Wiederanlauf verhindert werden:

Eisfall:

Für alle WEA (Nr.1, 2): Einsatz eines erweiterten Eiserkennungssystems (System IDD von Wölfel, [5]), das Eisansatz auch im Stillstand erkennt und automatische Warnmeldungen an das Betriebspersonal sendet. Diese Systeme sind für die Enercon E-175 erhältlich, siehe [2, 5]. Sie minimieren die Eisansatzbildung und verhindern den Wiederanlauf bei Gefahr von Eisabwurf.

Mit diesen Maßnahmen wurde eine erneute Risikobewertung durchgeführt. Das Eisfallrisiko lässt sich dadurch deutlich verringern, die verbleibenden Risiken liegen nach IEA [16] danach im unkritischen Bereich (sowohl Individualrisiko als auch Kollektivrisiko).

Tabelle 6: Unfallrisiken beim Betrieb der WEA N1-N3 (**mit weiterführenden Maßnahmen bei N1 und N2**: hier Eisansatzerkennung). Alle Werte liegen im unkritischen Bereich.

Risiko Unfall	Eisfall	untere Risikoschwelle
E1		
Summe Individualrisiko	$3,31 \cdot 10^{-15}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
Summe Kollektivrisiko	$2,69 \cdot 10^{-12}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$ nach [16]
E2		
Summe Individualrisiko	$8,30 \cdot 10^{-9}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
Summe Kollektivrisiko	$6,73 \cdot 10^{-7}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$ nach [16]
E3		
Summe Individualrisiko	$8,62 \cdot 10^{-7}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
Summe Kollektivrisiko	$6,99 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$ nach [16]

Die WEA Nr.3 (N3) liegt mit ihrem Gefährdungskreis außerhalb von Wegen und Straßen. Für diese WEA sind daher keine weiteren Maßnahmen notwendig.

Da die Annahmen zur Häufigkeit von Eisansatz aus vergangenen Zeiträumen abgeleitet wurden, sollten die tatsächlichen Vereisungsereignisse an den WEA erfasst werden. Ggf. können die Annahmen zur Berechnung des Eisfallrisikos dadurch überprüft und ggf. angepasst werden.

Zur Risikominimierung auf den Feld- und Fußwegen innerhalb des Gefährdungsbereichs im Windpark wird die Aufstellung von Warnhinweisen an den Zugängen empfohlen (vgl. Abbildung 1a, 1b).

Die vorstehenden Angaben sind unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen ermittelt worden. Schadensersatzansprüche sind ausgeschlossen. Abschriften und Auszüge dürfen ohne Genehmigung des Verfassers nur vom Auftraggeber erstellt werden, um am beschriebenen Standort das Projekt zu realisieren.

SOWIWAS - Energie GmbH

Energie aus Sonne, Wind, Wasser und mehr

Watenstedter Straße 11

3 8 3 8 4 G e v e n s l e b e n

Telefon: 05354 - 99 06.235

Telefax: 05354 - 99 06.219

Internet: www.sowiwas.de

E-mail: gutachten@sowiwas.de

Gevensleben, den 20. März 2024



(Dr. Jost Constantin)



Sven Schmidt
(Geschäftsführung)

9 Verwendete Abkürzungen

IEC:	International Electrotechnical Commission
Rev.	Revision
TR:	Technische Richtlinie
ü.Gr.	über Grund
ü NN:	über Normal Null
WEA:	Windenergieanlage

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung.1a: Gefährdungsradien (rot) rings um die neuen WEA: geplante WEA mit Gefährdungskreis und Rotorkreis (blau). Betroffen sind die umliegenden Feld- und Wirtschaftswege, sowie die Kreisstraße K18.

Abbildung.1b: Gefährdungsradien (rot) rings um die neuen WEA und betrachtete Straßen und Wegebereiche innerhalb des Gefährdungskreises.

Abbildung 2: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten von den WEA N1-N3; Gefährdungskreis rot, Durchmesser 1,5 mal (Durchmesser + Nabenhöhe=505 m bei WEA N1 und N2, bzw. 448 m bei WEA N3).

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der betrachteten WEA und des gefährdeten Streckenbereichs.

Tabelle 2: Verwendete Windstatistiken im Windpark, langjährige Mittelwerte.

Tabelle 3: Individualrisiko pro Jahr bei Eisabfall (**ohne weiterführende Maßnahmen**)

Tabelle 4: Kollektivrisiko pro Jahr bei Eisabfall (**ohne weiterführende Maßnahmen**)

Tabelle 5: Unfallrisiken beim Betrieb der WEA N1-N3 (ohne weiterführende Maßnahmen). Fettdruck kursiv: Werte oberhalb des unkritischen Bereichs, Normaldruck: Werte im unkritischen Bereich.

Tabelle 6: Unfallrisiken beim Betrieb der WEA N1-N3 (mit weiterführenden Maßnahmen bei N1 und N2: hier Eisansatzerkennung). Alle Werte liegen im unkritischen Bereich.

12 Literaturverzeichnis

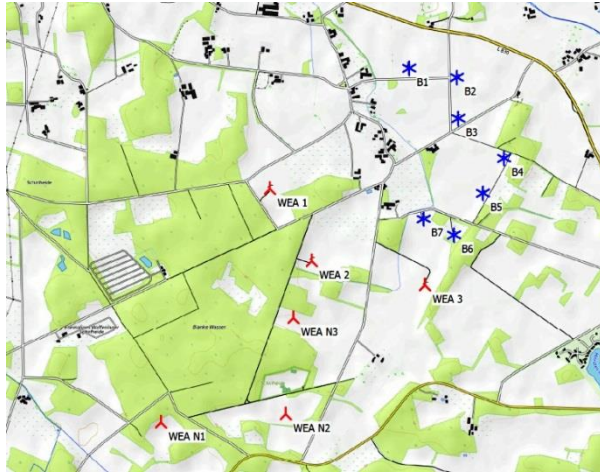
- (1) https://de.wikipedia.org/wiki/Minimale_endogene_Mortalität, Abruf vom 22.2.2019
- (2) Allgemeine Dokumentation: Eiserkennung an Nordex Windenergieanlagen. Rev. 04/08.2.2023, Dok. Nr. E0003946627Nordex Energy SE & Co. KG.
- (3) Betrieb von Windenergieanlagen unter Vereisungsbedingungen. Ergebnisse und Empfehlungen aus einem EU – Forschungsprojekt. H. Seifert, Deutsches Windenergie – Institut GmbH, Wilhelmshaven, Deutschland. Oktober 1999
- (4) Wind Energy in Cold Climate, WECO. Seifert, Henry; Tammelin, Bengt: Icing of wind turbines: Final report; Jou2-CT93-03B66 /Deutsches Windenergie-Institut, Wilhelmshaven (Herausgeber); Finnish Meteorological Institute, Helsinki. Wilhelmshaven: DEWI, 1997.
- (5) Option Rotorblatt-Eisdetektion in Nordex- Windenergieanlagen. Gültig für Nordex K08-Anlagen Generation gamma und delta. Dok. Nr. K0801_055240_DE, Revision 01 / 26.04.2016.
- (6) <https://de.wikipedia.org/wiki/ALARP>, Abruf vom 22.2.1019
- (7) **Zusammenfassung des Gutachtens: Zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an NORDEX Windenergieanlagen. TÜV NORD Bericht Nr.: 8118365241 D Rev.1**
- (8) GBE Hest 52-Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) 2013
- (9) Trbojevic V.M. Risk Criteria in EU, ESREL 2005. 27-30 June 2005
- (10) Störfall Kommission. Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung. SFK-GS-41, 2004
- (11) Hauptmanns, U., Marx, M. : Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen, Verlag VdTÜV-Band 16, 2010
- (12) Cattin, R. et al. Four years of monitoring a wind turbine under icing conditions. IWAIS 2009, 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Bern 2009.
- (13) WKA Störfallregister.
<http://mrandreasmarciniak.blogspot.com/2016/08/liste-von-unfallen-windkraftanlagen-in.html>. Abruf vom 10.2.2020
- (14) WKA Störfallregister. <https://www.vernunftkraft.de/unfaelle-mit-windkraftanlagen/>. Abruf vom 10.2.2020
- (15)
- (16) IEA Wind TCP Task 19 Technical Report International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Revision No.: 1 ; April 2022.

Anhang

- Standortdokumentation
- Allgemeine Dokumentation: Eiserkennung an Nordex Windenergieanlagen. Rev. 04/08.2.2023, Dok. Nr. E0003946627Nordex Energy SE & Co. KG
- Option Rotorblatt-Eisdetektion in Nordex- Windenergieanlagen
Gültig für Nordex K08-Anlagen Generation gamma und delta. Dok. Nr. K0801_055240_DE, Revision 01 / 26.04.2016.
- Zusammenfassung des Gutachtens: Zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an NORDEX Windenergieanlagen. TÜV NORD Bericht 8118365241 D Rev.1

Standortdokumentation

Fotostandort bei WEA N3



Blick nach Nord



Blick nach Nordosten



Blick nach Osten



Blick nach Südost



Technische Beschreibung

ENERCON Eisansatzerkennung

ENERCON Platform Independent Control System (PI-CS)

Herausgeber ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D02531399/1.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2022-10-05	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Technische Redaktion

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	ENERCON Kennlinienverfahren	5
2.1	Funktionsweise	5
2.2	Sicherheit	6
2.3	Grenzen	6
2.4	Anpassung der Detektionszeit	6
2.5	Einfluss einer angehaltenen Windenergieanlage auf die Detektionszeit	6
2.6	Präventiver Halt nach Störungen	7
3	Zustände der Windenergieanlage	8
4	Anhalten der Windenergieanlage	9
5	Wiederanlaufen der Windenergieanlage	10
5.1	Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage	10
5.2	Manueller Wiederanlauf	10
5.3	Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter	11
5.4	Automatischer Wiederanlauf während Vereisungsbedingungen	13
5.5	Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung	14
5.6	Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung	15
6	Parameter	16
7	Statusmeldungen	19
	Fachwortverzeichnis	23

1 Einleitung

An den Rotorblättern kommt es bei bestimmten Witterungsverhältnissen zur Bildung von Eis-, Reif- oder Schneeablagerungen, die den Wirkungsgrad der Windenergieanlage reduzieren und die Lärmemission erhöhen. Durch diese Ablagerungen entsteht eine Unwucht, die zu erhöhter Materialbelastung führt. Die Ablagerungen können so stark werden, dass von ihnen beim Herabfallen (unvermeidbarer Eisfall, wie von hohen Gebäuden) oder Wegschleudern (Eiswurf) Gefahren für Personen und Sachen ausgehen.

Das ENERCON Kennlinienverfahren ist ein integraler Bestandteil des ENERCON Betriebsführungssystems und kann nicht deaktiviert werden. Das ENERCON Kennlinienverfahren nutzt die in der Anlagensteuerung vorhandenen Sensoren. Alle benötigten Eingangsgrößen wie Außentemperatur, Windgeschwindigkeit, Drehzahl, Leistung und Blattwinkel stehen dem ENERCON Kennlinienverfahren ständig zur Verfügung. Wird ein Fehler in der Sensorik festgestellt, wird die Windenergieanlage automatisch angehalten.

Dieses Dokument gibt eine Übersicht über das ENERCON Kennlinienverfahren und dessen Einfluss auf die Start- und Haltevorgänge der Windenergieanlage und ist gültig für ENERCON Windenergieanlagen mit folgendem Steuerungstyp:

- PI-CS

2 ENERCON Kennlinienverfahren

2.1 Funktionsweise

Bei Rotorblättern werden hochwertige aerodynamische Profile eingesetzt, die in einem weiten Betriebsbereich einen optimalen Wirkungsgrad erzielen. Die aerodynamischen Eigenschaften dieser Profile reagieren sehr empfindlich auf Kontur- und Rauheitsänderungen durch Eisansatz. Die daraus resultierende signifikante Änderung des Betriebskennfelds der Windenergieanlage (Zusammenhang von Wind/Drehzahl/Leistung/Blattwinkel) wird vom Eisansatzerkennungssystem genutzt. Jede Windenergieanlage verfügt über eine Standard-Betriebskennlinie, welche während des Betriebs durch einen selbstlernenden Algorithmus automatisch an den jeweiligen Standort angepasst wird. Dazu werden bei Außenlufttemperaturen $> +2\text{ °C}$, witterungsgeschützt heckseitig unterhalb der Gondel gemessen, die anlagenspezifischen Betriebszusammenhänge (Wind/Leistung/Blattwinkel) als Langzeit-Mittelwerte erfasst. Bei Außenlufttemperaturen $\leq +2\text{ °C}$ werden die aktuellen Betriebsdaten mit den Langzeit-Mittelwerten verglichen, da es in diesem Temperaturbereich zu Eisansatz an den Rotorblättern kommen kann.

Dazu wird über die anlagenspezifische Wind-Leistungs- und Wind-Blattwinkelkennlinie ein empirisch ermitteltes Toleranzband gelegt. Dieses basiert auf Simulationen, Versuchen und mehrjähriger Erfahrung an einer Vielzahl von Windenergieanlagen der unterschiedlichen Baureihen. Wenn die Betriebsdaten von Leistung oder Blattwinkel im Rahmen einer gleitenden Mittelung außerhalb des Toleranzbands liegen, wird die Windenergieanlage mit dem Hauptstatus `14:XX Eisansatz` angehalten (Trudelbetrieb).

Die Art der Abweichung vom Toleranzband wird ebenfalls ausgewertet und in Form eines Zusatzstatus angezeigt.

Wenn die gemessene mittlere Leistung unterhalb des Leistungsfensters liegt, deutet dies auf Eisansatz an den Rotorblättern hin. Die Windenergieanlage wird dann mit dem Status `14:11 Eisansatz : Rotor (Leistungsmessung)` angehalten (Trudelbetrieb).

Bei Eisansatz an den Rotorblättern stellen sich im Regelbereich kleinere Blattwinkel ein als bei eisfreien Rotorblättern. Wenn der gemessene mittlere Blattwinkel unterhalb des Blattwinkelfensters liegt, deutet dies auf Eisansatz an den Rotorblättern hin. Die Windenergieanlage wird dann mit dem Status `14:13 Eisansatz : Rotor (Blattwinkelmessung)` angehalten (Trudelbetrieb).

Zeit bis zum Anhalten

Das Toleranzband ist relativ schmal. Deshalb erfolgt das Anhalten der Windenergieanlage erst nach Ablauf der Eisansatz-Detektionszeit (Kap. 2.4, S. 6). Die bis dahin entstandene Dicke der Eisschicht führt nicht zu einer Gefährdung der Umgebung. Auch im eisfreien Betrieb liegen regelmäßig einzelne Betriebspunkte außerhalb der Toleranz. Dies führt jedoch durch die gleitende Mittelung üblicherweise nicht zum Anhalten.

2.2 Sicherheit

Die Betriebssicherheit der Eisansatzerkennung nach dem ENERCON Kennlinienverfahren ist sehr hoch. Über 2 voneinander unabhängige Temperatursensoren auf der Unterseite der Gondel wird ein eventueller Ausfall einer dieser Temperatur-Messstellen überwacht.

Alle relevanten Messgrößen der Windenergieanlage werden permanent durch die Steuerung auf Plausibilität überprüft. Gegebenenfalls werden unplausible Messwerte von der Steuerung aus Sicherheitsgründen als Eisansatz interpretiert, auch wenn kein Eisansatz vorliegt.

Das ENERCON Kennlinienverfahren kann Eisansatz auch erkennen, wenn von externen Eisansatzerkennungssystemen noch kein Eisansatz erkannt wurde.

2.3 Grenzen

Da sich der Rotor für das ENERCON Kennlinienverfahren drehen und die Windenergieanlage Leistung produzieren muss, kann mit dem ENERCON Kennlinienverfahren kein Eisansatz bei Stillstand des Rotors erkannt werden. Bei Windgeschwindigkeiten unterhalb von 3 m/s vermindert sich die Empfindlichkeit des Verfahrens. Bei Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s gibt es keine Einschränkungen.

Wenn der Rotor anläuft, kann es bereits zum Eisfall/Eiswurf kommen. Da sich der Rotor jedoch lediglich mit einer geringen Geschwindigkeit dreht, wird das Eis nicht weggeschleudert, sondern fällt herunter, wie bei anderen hohen Bauwerken auch.

2.4 Anpassung der Detektionszeit

Die Detektionszeit ist der Zeitraum zwischen der ersten Abweichung vom Toleranzband bis zum Anhalten der Windenergieanlage. Die Zähler der Detektionszeit werden in Sekunden gezählt. Zur Vereinfachung wird die Detektionszeit über den Parameter MaxVallceCnt (Kap. 6.4, S. 17) in Minuten eingestellt.

- Jede Sekunde, in der eine Abweichung vorliegt, wird der Zähler um 1 erhöht. Bei Erreichen des in MaxVallceCnt eingestellten Zählerstands hält die Windenergieanlage mit einer der folgenden Statusmeldungen an:

14:11 Eisansatzerkennung : Rotor (Leistungsmessung)

14:13 Eisansatzerkennung : Rotor (Blattwinkelmessung)

- Jede Sekunde, in der keine Abweichung vorliegt, wird der Zähler um 1 verringert.

Mit der Standardeinstellung des Parameters wird Eisansatz ausreichend zuverlässig erkannt. Je niedriger der Parameter eingestellt wird, desto schneller detektiert die Steuerung der Windenergieanlage Eisansatz, was aber auch zu verfrühtem Anhalten führen kann. Für Windenergieanlagen an Standorten, an denen aufgrund der örtlichen Vereisungs- und Windbedingungen und der Nutzung der Umgebung ein erhöhtes Risiko durch Eiswurf zu befürchten ist, kann die Einstellung des Parameters reduziert werden.

2.5 Einfluss einer angehaltenen Windenergieanlage auf die Detektionszeit

Zusätzlich zu der beschriebenen Funktion der Detektionszeit werden die Zähler für den Status 14:11 und 14:13 bei möglichem Eisansatz und stillstehender Windenergieanlage langsam erhöht. Da die Eisanwachsrates bei stehendem Rotor geringer ist als bei laufendem, erreichen die Zähler erst nach 3 Stunden einen Wert, der 3 Minuten unterhalb der eingestellten Detektionszeit liegt. Wenn die Windenergieanlage jetzt startet, ist da-

durch die Detektionszeit der Eisansatzerkennung je nach Dauer des Stillstands auf minimal 3 Minuten verkürzt. Die Anlagensteuerung detektiert schnell möglichen Eisansatz, und die Windenergieanlage hält unmittelbar wieder an.

2.6 Präventiver Halt nach Störungen

Auch bei längerem Stillstand der Windenergieanlage aufgrund einer Störung besteht bei Temperaturen unter +2 °C und entsprechend hoher Luftfeuchtigkeit die Möglichkeit, dass die Rotorblätter vereisen. Wird die Windenergieanlage dann durch die Fernsteuerung neu gestartet, besteht das Risiko von Eiswurf. Die Wurfweite des Eises hängt dabei u. a. stark von der Drehzahl der Windenergieanlage und damit von der zum Zeitpunkt des Wiederanlaufs vorherrschenden Windgeschwindigkeit ab.

Um dieses Risiko zu minimieren, ermittelt die Steuerung die Dauer des Stillstands in Folge einer Störung. Beruhend auf Erfahrungswerten von ENERCON für Standorte im Mittelgebirge läuft die Windenergieanlage bis zu einer Stillstandsdauer von 2 Stunden und 59 Minuten nach einem Störungsreset wieder selbstständig an. Erreicht oder überschreitet die Stillstandsdauer 3 Stunden, läuft die Windenergieanlage nach dem Reset der Störung nicht automatisch wieder an, wenn die gleitende, mittlere Windgeschwindigkeit über 10 Minuten größer als 5 m/s ist.

Diese Funktion wird wie folgt realisiert: Bei einer Störung wird bei möglichem Eisansatz der Zähler für den Status 14:16 Eisansatzerkennung : Anlage präventiv gestoppt erhöht. Nach 3 Stunden erreicht der Zähler den vorgegebenen Wert von 180 Minuten und wird dann automatisch nochmal um weitere 5 Minuten auf 185 Minuten erhöht. Wenn die Windenergieanlage jetzt neu gestartet wird, wird bei einem 10-Minuten-Mittelwert der Windgeschwindigkeit größer 5 m/s ein automatischer Wiederanlauf durch den Status 14 : 16 verhindert.

Wenn die mittlere Windgeschwindigkeit jedoch unterhalb von 5 m/s liegt, läuft die Windenergieanlage zunächst wieder an und beginnt, den Zähler für den Status 14 : 16 zu senken. Da der Zähler in den ersten 5 Minuten größer 180 ist, wird weiterhin die Windgeschwindigkeit beobachtet. Wenn die mittlere Windgeschwindigkeit innerhalb dieser Zeit auf über 5 m/s ansteigen sollte, wird die Windenergieanlage wieder angehalten. Erst wenn der Zähler unter 180 Minuten gesunken ist, bleibt die Windenergieanlage auch bei Windgeschwindigkeiten über 5 m/s in Betrieb.

Der Zähler für den Status 14 : 16 wird während des Betriebs der Windenergieanlage gesenkt und erreicht somit erst nach 3 Stunden den Wert 0. Wenn die Windenergieanlage in der Zwischenzeit erneut eine Störung haben sollte, wird der Zähler vom jeweiligen aktuellen Wert aus wieder hochgezählt und erreicht entsprechend früher den Wert von 180 Minuten.

Der Status 14 : 16 wird automatisch quittiert, wenn der automatische Wiederanlauf nach Vereisung (Kap. 6.1, S. 16) eingeschaltet ist und der Timer für möglichen Eisansatz wieder auf 0 steht. Eventuelles Eis ist dann aufgrund von Außentemperaturen oberhalb von +2 °C abgetaut, sodass die Windenergieanlage gefahrlos starten kann.

Der präventive Halt nach Störungen kann über den Parameter IceFreeAftStopTrg (Kap. 6.5, S. 17) ein- oder ausgeschaltet werden.

3 Zustände der Windenergieanlage

Die Windenergieanlage kann sich in den folgenden Zuständen befinden:

Zustand	Beschreibung
IceFree Thaw	Der Zustand wird aufgrund von Außentemperaturen über 2 °C als eisfrei erkannt.
IceFree DelayRestart	Der Zustand wird aufgrund eines Wiederanlaufs nach einer vordefinierten Verzögerungszeit als eisfrei erkannt.
IceFree ManualReset	Der Zustand wird aufgrund eines manuellen Resets als eisfrei erkannt.
IceFree BladeHeating	Der Zustand wird aufgrund eines vollständigen Durchlaufs eines Blattheizungszyklus als eisfrei erkannt.
IceFree ParkIcing	Der Zustand wird aufgrund eines unter den Grenzwert gesunkenen Windparkvereisungsgrads als eisfrei erkannt. Voraussetzung ist, dass sich die Windenergieanlage zuvor im vereisten Zustand auf Grund von Windparkvereisung befunden hat.
IceFree PreventiveStandstill	Der Zustand wird aufgrund von geringen Windgeschwindigkeiten nach einem längeren Stillstands unter Eisbedingungen als eisfrei erkannt.
IceFree ExternalSystem	Der Zustand wird, da ein externes Eisansatzerkennungssystem Eisfreiheit festgestellt hat, als eisfrei erkannt.
IcedUp PowerCurve	Der Zustand wird aufgrund des ENERCON Kennlinienverfahrens als vereist erkannt (Leistungsmessung).
IcedUp BladeAngle	Der Zustand wird aufgrund des ENERCON Kennlinienverfahrens als vereist erkannt (Blattwinkelmessung).
IcedUp ParkIcing	Der Zustand wird aufgrund eines über den Grenzwert gestiegenen Windparkvereisungsgrads als vereist erkannt.
IcedUp PreventiveStandstill	Der Zustand wird, da die Windenergieanlage länger unter Vereisungsbedingungen still gestanden hat, als vereist erkannt.
IcedUp ExternalSystem	Der Zustand wird, da ein externes Eisansatzerkennungssystem Eisansatz festgestellt hat, als vereist erkannt.

4 Anhalten der Windenergieanlage

Erkennt das Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz, wird die Windenergieanlage angehalten (Trudelbetrieb). Zusätzlich erfolgt eine Signalisierung an ENERCON SCADA.

Je nach Parametrierung kann die Gondel in einer bestimmten Stellung positioniert werden. Optional wird die Blattheizung oder eine Eiswarnleuchte eingeschaltet.

5 Wiederanlaufen der Windenergieanlage

5.1 Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage

Das Anhalten der Windenergieanlage hat immer eine höhere Priorisierung als das Wiederanlaufen der Windenergieanlage. Das bedeutet, dass die Windenergieanlage nicht wiederanlaufen kann, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt, obwohl ein anderes Eisansatzerkennungssystem Eisfreiheit meldet.

5.2 Manueller Wiederanlauf

Ein manuell eingeleiteter Wiederanlauf nach einer Eisansatzerkennung ist nur direkt an der Windenergieanlage nach entsprechender Sichtkontrolle möglich. Der Eisreset kann über das Human-machine interface (HMI) vor Ort ausgelöst werden. Dabei obliegt dem Personal vor Ort die Verantwortung für die eventuell vom Wiederanlauf ausgehende Gefährdung.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

5.3 Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

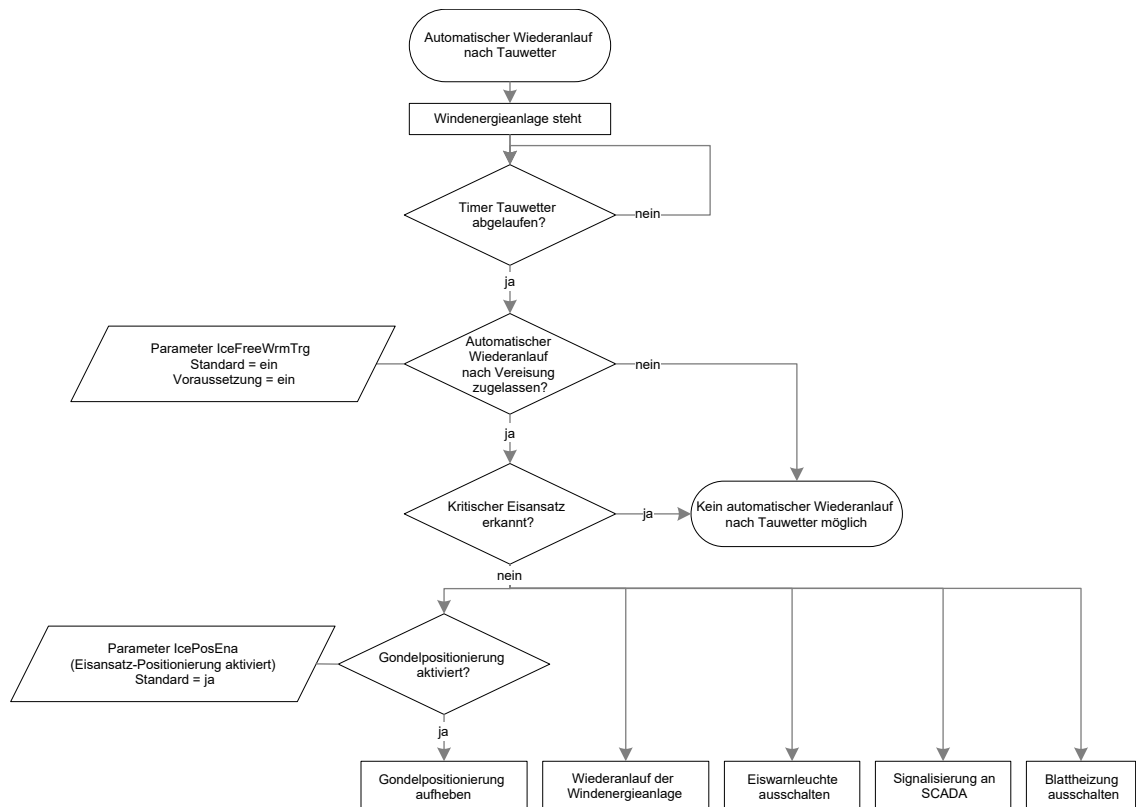


Abb. 1: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

Standardeinstellung:

- IceFreeWrmTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Vereisung) = ein

Voraussetzung:

- ✓ IceFreeWrmTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Vereisung) = ein
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt.

Wenn anhand der zurückliegenden Außentemperaturmessungen Tauwetterlage erkannt wird und ein automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter parametrierbar ist, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Wenn ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt, ist der automatische Wiederanlauf nach Tauwetter nicht möglich.

Tab. 1: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

Außentemperatur in °C	Dauer in Minuten
> 2,0 bis ≤ 2,5	1200
> 2,5 bis ≤ 3,0	360
> 3,0 bis ≤ 4,0	180
> 4,0 bis ≤ 5,0	120
> 5,0 bis ≤ 6,0	90
> 6,0 bis ≤ 7,0	72
> 7,0 bis ≤ 8,0	60

Außentemperatur in °C	Dauer in Minuten
> 8,0 bis ≤ 9,0	51
> 9,0 bis ≤ 10,0	45
> 10,0	0

5.4 Automatischer Wiederanlauf während Vereisungsbedingungen



Abb. 2: Automatischer Wiederanlauf während Vereisungsbedingungen

Standardeinstellung:

- IceFreeDIDurTrg (Automatischer Wiederanlauf während Vereisungsbedingungen) = aus

Voraussetzung:

- ✓ IceFreeDIDurTrg (Automatischer Wiederanlauf während Vereisungsbedingungen) = ein
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Wenn der automatische Wiederanlauf während Vereisungsbedingungen parametrierbar ist, unternimmt die Windenergieanlage während der Vereisungsbedingungen (u. a. anhaltende Temperaturen unter +2 °C) im Abstand von 6 Stunden (IceDIDurTmh) einen Startversuch.

Die Zähler der Eisansatz-Detektionszeit des ENERCON Kennlinienverfahrens werden hierbei auf einen definierten Wert gesetzt. Dieser Wert liegt 3 Minuten unter dem voreingestellten Wert der Eisansatz-Detektionszeit. Falls noch Eisansatz erkannt wird, wird die Windenergieanlage daraufhin nach wenigen Minuten wieder angehalten.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

5.5 Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung



Abb. 3: Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung

Standardeinstellung:

- BIHeatAct (Aktivierung Blattheizung) = ein
- IceFreeBIHeatTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = aus

Voraussetzung:

- ✓ BIHeatAct (Aktivierung Blattheizung) = ein
- ✓ IceFreeBIHeatTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = ein
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Wenn ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkannt hat und die Windenergieanlage angehalten wurde, wird die Blattheizung eingeschaltet.

Nachdem ein Blattheizungszyklus durchlaufen wurde, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Die Zähler der Eisansatz-Detektionszeit des ENERCON Kennlinienverfahrens werden nach dem Durchlauf des Blattheizungszyklus auf einen definierten Wert gesetzt. Dieser Wert liegt 3 Minuten unter dem voreingestellten Wert der Eisansatz-Detektionszeit. Falls noch Eisansatz erkannt wird, wird die Windenergieanlage daraufhin nach wenigen Minuten wieder angehalten.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

5.6 Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung



Abb. 4: Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung

Standardeinstellung:

- IceFreeAftFarmIceTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung) = ein
- FarmIceDetLim (Grenzwert für Windpark-Eisansatzerkennung) = 100 %

Voraussetzung:

- ✓ IceFreeAftFarmIceTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung) = ein
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Wird an einer Windenergieanlage kein kritischer Eisansatz mehr erkannt und die entsprechende Statusmeldung zurückgesetzt, gibt die Windenergieanlage diese Meldung über ENERCON SCADA an alle Windenergieanlagen im Windpark ab. Jede Windenergieanlage löscht die entsprechende Information und berechnet erneut den Windparkvereisungsgrad. Wenn der Windparkvereisungsgrad niedriger als der an der jeweiligen Windenergieanlage eingestellte Wert ist, wird der Startvorgang eingeleitet, sofern die Windenergieanlage selbst keinen kritischen Eisansatz detektiert hat oder durch längeren Stillstand bei niedrigen Temperaturen präventiv stillstehen muss.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

6 Parameter

Die einzustellenden Werte der nachfolgenden Parameter werden von der zuständigen Genehmigungsbehörde oder vom Betreiber vorgegeben. Gewünschte Änderungen vom Betreiber müssen dokumentiert (Formular Änderung Standardeinstellungen) und von ENERCON geprüft, freigegeben und eingestellt werden.

6.1 Automatischer Wiederanlauf nach Vereisung

Parameter: *WMET1/Ice1.IceFreeWrmTrg* (Ice free warm trigger)

Gibt an, ob die Windenergieanlage bei ausreichend hohen Außentemperaturen automatisch wieder starten darf. Dieser Parameter bezieht sich auf das ENERCON Kennlinienverfahren sowie die Eisansatzerkennung durch externe Systeme.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	ein

6.2 Automatischer Wiederanlauf während Vereisungsbedingungen

Parameter: *WMET1/Ice1.IceFreeDIDurTrg* (Ice free delay duration trigger)

Gibt an, ob die Windenergieanlage während Vereisungsbedingungen im Abstand von 6 Stunden (*IceDIDurTmh*) einen Startversuch unternehmen soll. Dieser Parameter kann nur aktiviert werden, wenn der automatische Wiederanlauf nach Vereisung aktiviert ist (*IceFreeWrmTrg* = ein).

Mit diesem Parameter kann ein automatischer Wiederanlauf an unkritischen Standorten erreicht werden.

Hinweis: Wenn *IceFreeDIDurTrg* = ein, erhöht sich das Eiswurfrisiko!

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	aus

6.3 Dauer der Verzögerung des automatischen Wiederanlaufs während Vereisungsbedingungen

Parameter: *WMET1/Ice1.IceDIDurTmh* (Ice delay duration time in hours)

Gibt an, in welchem Abstand die Windenergieanlage während Vereisungsbedingungen einen Startversuch unternehmen soll.

Einstellmöglichkeiten	Standard
0 – 144 h	6 h

6.4 Eisansatz-Detektionszeit

Parameter: *WMET1/Ice1.MaxVallIceCnt* (Maximum value ice counter)

Gibt an, wie viel Zeit der Windenergieanlage zur Detektion von Eisansatz zur Verfügung gestellt werden soll.

An der Empfindlichkeit des Eisansatzerkennungssystems ändert eine kürzere Detektionszeit nichts. Die Windenergieanlage reagiert lediglich früher, wenn das Toleranzband der Kennlinie verlassen wird. Somit besteht auch ein geringfügig höheres Risiko einer unberechtigten Abschaltung.

Bei einem automatischen Wiederanlauf während der Vereisung (Parameter *IceFreeDIDurTrg* = ein) oder bei einem Wiederanlauf nach erfolgter Enteisung durch die Blattheizung werden die Zähler für die Status 14:11 bis 14:14 (Leistungs- und Blattwinkelmessungen) jeweils definiert zurückgesetzt. Der definierte Wert liegt 3 Minuten unter dem voreingestellten Wert der Eisansatz-Detektionszeit. Falls noch Eisansatz vorliegt, wird die Windenergieanlage nach wenigen Minuten angehalten. Dies geschieht unabhängig von der eingestellten Eisansatz-Detektionszeit.

Hinweis: Eisansatzdetektionszeiten > 15 Minuten können zu einer Beeinträchtigung der zertifizierten Funktionalität des Eisansatzerkennungssystems führen.

Einstellmöglichkeiten	Standard	
10 – 30 Minuten	Kritischer Standort	15 Minuten
	Unkritischer Standort	30 Minuten
	Länderspezifische Ausnahmen	
	Deutschland BeNeLux Österreich	15 Minuten

6.5 Präventive Eisansatzerkennung nach 3 Stunden Störung

Parameter: *WMET1/Ice1.IceFreeAftStopTrg* (Ice free after stop trigger)

Gibt an, ob die Windenergieanlage bei möglichem Eisansatz nach einer länger als 3 Stunden dauernden Störung mit Status 14:16 Eisansatzerkennung: Anlage präventiv gestoppt stehen bleibt.

Hinweis: Wenn *IceFreeAftStopTrg* = aus, erhöht sich ggf. das Eiswurfrisiko!

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	ein

6.6 Sensitivität der Eisansatzerkennung

Gibt an, mit welcher Sensitivität das Toleranzband des Eisansatzerkennungssystems (ENERCON Kennlinienverfahren) eingestellt ist.

Je höher die Sensitivität, desto geringere Eismengen werden als Eisansatz erkannt.

Die Standardeinstellung entspricht dem Dokument D0367983 „TÜV NORD Bericht Nr.: 8111 881 239: Gutachten zur Bewertung der Funktionalität von Eisansatzerkennungssystemen zur Verhinderung von Eisabwurf an ENERCON Windenergieanlagen: Eisansatzerkennung nach dem ENERCON-Kennlinienverfahren“.

Hinweis: Geringe Sensitivität und verringerte Sensitivität entsprechen nicht dem Stand der Technik und können zu erhöhten Lasten auf den Rotorblättern führen und die Windenergieanlage negativ beeinflussen!

Einstellmöglichkeiten	Standard
Geringe Sensitivität	Normale Sensitivität
Verringerte Sensitivität	
Normale Sensitivität	
Erhöhte Sensitivität	
Hohe Sensitivität	

7 Statusmeldungen

Tab. 2: Statusmeldungen

Typ	Nr.	Name	Beschreibung / Grund	Ausgelöste Anhalteprozedur
I	14:11	Ice detection: Rotor (power measurement)	Eisansatzerkennung auf Rotorblättern über Leistungsmessung erkannt. Erkennt das ENERCON Kennlinienverfahren eine Abweichung der Leistung von der Leistungskennlinie länger als die vordefinierte Dauer von Parameter MaxVallIceCnt, wird Eisansatz erkannt und die Windenergieanlage angehalten.	Standard stop
I	14:13	Ice detection: Rotor (blade angle)	Eisansatzerkennung auf Rotorblättern über Blattwinkelmessung erkannt. Erkennt das ENERCON Kennlinienverfahren eine Abweichung des Blattwinkels von der Blattwinkelkennlinie länger als die vordefinierte Dauer von Parameter MaxVallIceCnt, wird Eisansatz erkannt und die Windenergieanlage angehalten.	Standard stop
I	14:15	ice detection: park icing	Wenn der Windparkvereisungsgrad einen vorgegebenen Grenzwert erreicht, wird davon ausgegangen, dass die Windenergieanlage ebenfalls vereist ist.	Standard stop
I	14:16	ice detection: preventive standstill	Wenn die Windenergieanlage für eine längere Zeit unter Vereisungsbedingungen still steht, wird ein Wiederanlauf bei hohen Windgeschwindigkeiten verhindert.	Standard stop
I	14:43	ice detection: external system	Wenn ein externes Eisansatzerkennungssystem Eisansatz erkennt, wird die Windenergieanlage angehalten.	Standard stop
W	14:81	Power curve beneath tolerance	Warnung bei Unterschreitung der Untergrenze beim Abgleich der korrigierten Leistungskennlinie mit der voreingestellten Leistungskennlinie. Diese Warnung weist darauf hin, dass entweder die Windgeschwindigkeitsmessung oder die von der Windenergieanlage erzeugte Leistung nicht korrekt ist. Einer oder mehrere der Leistungswerte der korrigierten Leistungskennlinie liegen länger als 3 Tage unter der unteren Grenze.	-

Typ	Nr.	Name	Beschreibung / Grund	Ausgelöste Anhalteprozedur
W	14:82	Power curve above tolerance	<p>Warnung bei Überschreitung der Obergrenze beim Abgleich der korrigierten Leistungskennlinie mit der voreingestellten Leistungskennlinie. Diese Warnung weist darauf hin, dass entweder die Windgeschwindigkeitsmessung oder die von der Windenergieanlage erzeugte Leistung nicht korrekt ist.</p> <p>Einer oder mehrere der Leistungswerte der korrigierten Leistungskennlinie liegen länger als 3 Tage über der Obergrenze.</p>	-
I	14:83	Power Curve beneath tolerance during icing conditions	<p>Information bei Unterschreitung der Untergrenze beim Abgleich der korrigierten Leistungskennlinie mit der voreingestellten Leistungskennlinie. Diese Information weist darauf hin, dass entweder die Windgeschwindigkeitsmessung oder die von der Windenergieanlage erzeugte Leistung nicht korrekt ist. Diese Information wird ausgelöst, wenn die Möglichkeit einer Vereisung der Windenergieanlage besteht (Außentemperatur unter 2 °C).</p> <p>Dies hat zum Ziel, dass Änderungen oder Reparaturen, die aufgrund von Warnmeldungen an der Windenergieanlage vorgenommen werden, nicht bei Minusgraden durchgeführt werden (Fehlfunktionen des Eisansatzerkennungssystems vermeiden).</p> <p>Einer oder mehrere der Leistungswerte der korrigierten Leistungskennlinie liegen länger als 3 Tage unter der unteren Grenze und die Außentemperatur liegt unter 2 °C.</p>	-
I	14:84	Power curve above tolerance during icing conditions	<p>Information bei Überschreitung der Obergrenze beim Abgleich der korrigierten Leistungskennlinie mit der voreingestellten Leistungskennlinie. Diese Information weist darauf hin, dass entweder die Windgeschwindigkeitsmessung oder die von der Windenergieanlage erzeugte Leistung nicht korrekt ist. Diese Information wird ausgelöst, wenn die Möglichkeit einer Vereisung der Windenergieanlage besteht (Außentemperatur unter 2 °C).</p> <p>Dies hat zum Ziel, dass Änderungen oder Reparaturen, die aufgrund von Warnmeldungen an der Windenergieanlage vorgenommen werden, nicht bei Minusgraden durchgeführt werden (Fehlfunktionen des Eisansatzerkennungssystems vermeiden).</p>	-

Typ	Nr.	Name	Beschreibung / Grund	Ausgelöste Anhalteprozedur
			Einer oder mehrere der Leistungswerte der korrigierten Leistungskennlinie liegen länger als 3 Tage über der Obergrenze und die Außentemperatur liegt unter 2 °C.	
I	14:101	ice free: manual restart	Die Windenergieanlage befindet sich aufgrund eines manuellen Wiederanlaufs im Zustand <i>IceFree ManualReset</i> . Befindet sich die Windenergieanlage im Zustand <i>IcedUp</i> , kann ein manueller Reset über das HMI ausgelöst werden.	-
I	14:151	ice free: delayed restart	Die Windenergieanlage befindet sich aufgrund eines verzögerten automatischen Wiederanlaufs nach der vordefinierten Dauer von Parameter <i>IceDIDurTmh</i> im Zustand <i>IceFree DelayRestart</i> . Befindet sich die Windenergieanlage im Zustand <i>IcedUp</i> , kann ein automatischer Wiederanlauf aktiviert werden und löst nach einer vordefinierten Zeit einen Wiederanlauf der Windenergieanlage aus.	-
I	14:152	ice free: blade heating	Die Windenergieanlage befindet sich aufgrund eines vollständigen Durchlaufs des Blattheizungszyklus im Zustand <i>IceFree BladeHeating</i> . Befindet sich die Windenergieanlage im Zustand <i>IcedUp</i> , kann zum Zustand <i>IceFree BladeHeating</i> gewechselt werden, wenn der Blattheizungszyklus vollständig durchlaufen wurde. Diese Funktionalität muss aktiviert sein.	-
I	14:153	ice free: thaw	Die Windenergieanlage befindet sich aufgrund von Außentemperaturen über 2 °C im Zustand <i>IceFree Thaw</i> . Befindet sich die Windenergieanlage im Zustand <i>IcedUp</i> , kann zum Zustand <i>IceFree Thaw</i> gewechselt werden, wenn Auftaubedingungen herrschen. Diese Funktionalität muss aktiviert sein.	-
I	14:154	ice free: preventive standstill	Wenn die Windenergieanlage aufgrund eines präventiven Stillstands angehalten ist, wechselt sie bei geringen Windgeschwindigkeiten in den Zustand <i>IceFree PreventiveStandstill</i> .	-

Typ	Nr.	Name	Beschreibung / Grund	Ausgelöste An- halteprozedur
I	14:155	ice free: park icing	Wenn die Windenergieanlage aufgrund von Windparkvereisung angehalten wurde, wechselt sie in den Zustand <i>IceFree ParkIcing</i> , wenn der Windparkvereisungsgrad unterhalb des entsprechenden Grenzwerts sinkt.	-
I	14:156	ice free: external system	Wenn ein externes Eisansatzerkennungssystem Eisfreiheit erkannt hat, wechselt die Windenergieanlage in Zustand <i>IceFree ExternalSystem</i> .	-

Fachwortverzeichnis

Eisfall	Herabfallen von Eis bei angehaltener Windenergieanlage, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern bilden kann. Die fallenden Eisstücke können Sach- und Personenschäden bewirken.
Eiswurf	Abwurf von Eis bei drehendem Rotor, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern von Windenergieanlagen bilden kann.
Kritischer Eisansatz	Entstehung von Eis, das aufgrund seiner Aufprallenergie eine Gefahr für ungeschützte Personen darstellt, wenn es herabfällt oder weggeschleudert wird.
Trudelbetrieb	Betriebsart einer ENERCON Windenergieanlage, bei der sich die Rotorblätter in einem Rotorblattwinkel von in der Regel 60° (in der sogenannten Trudelstellung) befinden, wodurch sich die Windenergieanlage im Leerlauf befindet. Der Rotor dreht nur sehr langsam. Im Trudelbetrieb wird keine Energie erzeugt und die Rotordrehzahl wird überwacht. Bei hohen Windgeschwindigkeiten wird der Rotorblattwinkel erhöht, damit die maximale Trudeldrehzahl nicht überschritten wird.

Technische Beschreibung

Wölfel-Eisansatzerkennung

ENERCON Control System (CS82, CS101, CS126, EP3-CS-02,
EP4-CS-01)

Herausgeber ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0734076/3.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2022-10-05	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Technische Redaktion

Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

Dokument-ID	Dokument
D0160588	Technische Beschreibung Gondelpositionierung bei Eisansatz
D02481600	Wölfel IDD.Blade - Überblick zur Referenzierung für den Kunden
D0258603	Technische Beschreibung Windpark-Eisansatzerkennung
D0441885	Technische Beschreibung Blattheizung
D0783573	Formular Änderung Standardeinstellungen Wölfel-Eisansatzerkennung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Aufbau	6
3	Integration in das Betriebsführungssystem	8
3.1	Sicherheitsrelevante Signale des externen Eisansatzerkennungssystems	9
3.2	Sicherheitsrelevante Signale der Anlagensteuerung	9
3.3	Nicht sicherheitsrelevante Funktionen der Anlagensteuerung	9
3.4	Überwachung der Verfügbarkeit des Eisansatzerkennungssystems	10
4	Kritischer Eisansatz und Eisfreiheitsmeldung	11
5	Anhalten der Windenergieanlage	12
6	Wiederanlaufen der Windenergieanlage	13
6.1	Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage	13
6.2	Manueller Wiederanlauf	13
6.3	Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter	14
6.4	Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung	16
6.5	Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung	18
6.6	Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung	19
7	ENERCON SCADA System	21
8	Parameter	22
	Fachwortverzeichnis	25

1 Einleitung

An den Rotorblättern kommt es bei bestimmten Witterungsverhältnissen zur Bildung von Eis-, Reif- oder Schneeablagerungen, die den Wirkungsgrad der Windenergieanlage reduzieren und die Lärmemission erhöhen. Durch diese Ablagerungen entsteht eine Unwucht, die zu erhöhter Materialbelastung führt. Die Ablagerungen können so stark werden, dass von ihnen beim Herabfallen (unvermeidbarer Eisfall, wie von hohen Gebäuden) oder Wegschleudern (Eiswurf) Gefahren für Personen und Sachen ausgehen.

Das externe Eisansatzerkennungssystem der Fa. Wölfel kann ab Werk oder als Nachrüstung eingesetzt werden.

Eingesetzte Eisansatzerkennungssysteme beeinflussen sich nicht gegenseitig.

Das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem funktioniert ab einer Windgeschwindigkeit von 2 – 3 m/s (unterhalb der Einschaltwindgeschwindigkeit) unabhängig vom Betrieb der Windenergieanlage, auch bei Stillstand der Windenergieanlage.

Dieses Dokument gibt eine Übersicht über das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem und dessen Einfluss auf die Start- und Haltevorgänge der Windenergieanlage.

Dieses Dokument ist gültig für ENERCON Windenergieanlagen mit folgenden Steuerungstypen:

- CS82, CS101, CS126, EP3-CS-02, EP4-CS-01

2 Aufbau

Das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem erkennt Eisdicken an Rotorblättern von Windenergieanlagen durch eine Frequenzanalyse der Rotorblattschwingungen mittels piezoelektrischen zweidimensionalen Beschleunigungssensoren.

Das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem besteht aus mindestens 3 Structural-Noise-Sensoren und einer Basisstation, welche eine Datenerfassungseinheit und eine Datenverarbeitungseinheit beinhaltet.

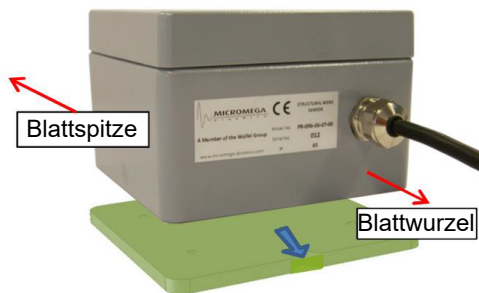


Abb. 1: Montageplatte und Structural-Noise-Sensor



Abb. 2: Basisstation

Die Structural-Noise-Sensoren erfassen jeweils die Schwingbeschleunigungen (Abb. 3, S. 6) und die Temperatur direkt im Rotorblatt. Es wird jeweils 1 Sensor innerhalb jedes Rotorblatts auf einer Montageplatte installiert (Standardkonfiguration). Die Sensoren sind gegen Überspannungen geschützt und haben ein extrem geringes Eigenrauschen und eine hohe Signalaufösung.

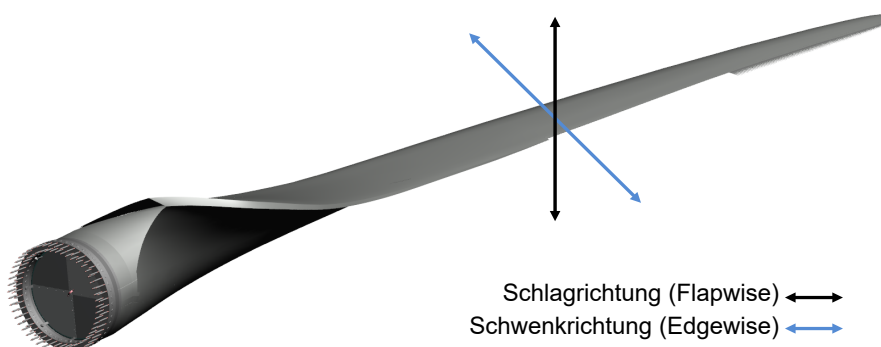


Abb. 3: Erfasste Schwingbeschleunigungen durch Structural-Noise-Sensoren

Die Datenerfassungseinheit bereitet die Sensorsignale zur Weiterverarbeitung in der Datenverarbeitungseinheit auf. Die Datenerfassung erfolgt kontinuierlich, um jederzeit Aussagen zum aktuellen Rotorblattzustand bereitstellen zu können.

In der Datenverarbeitungseinheit werden die Messdaten vollautomatisiert verarbeitet und die Zustandsindikatoren zur Eisdetektion berechnet.

Die Datenerfassungseinheit und die Datenverarbeitungseinheit befinden sich in der Basisstation, welche im Rotorkopf der Windenergieanlage installiert ist.

3 Integration in das Betriebsführungssystem

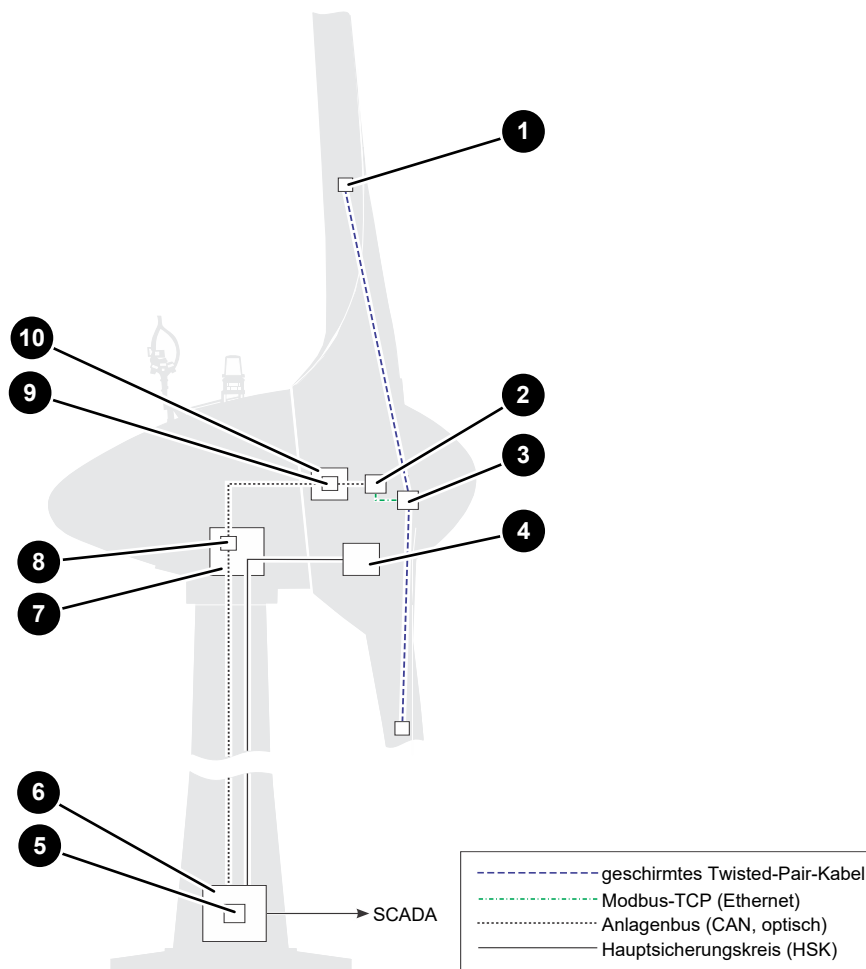


Abb. 4: Baugruppenübersicht für die Einbindung des Eisansatzerkennungssystems in das Betriebsführungssystem

1	Wölfel-Structural-Noise-Sensor	2	ENERCON Ice Detection Interface
3	Wölfel-Basisstation	4	Blattverstellungssystem, Notverstellungssystem
5	I/O-Board Steuerschrank 1	6	Steuerschrank
7	Gondelsteuerschrank	8	Optoverteiler Gondel
9	Optoverteiler Rotor	10	Rotorunterverteilung

Das externe Eisansatzerkennungssystem ist über eine Modbus-TCP-Schnittstelle (Ethernet) mit dem ENERCON Ice Detection Interface verbunden und somit in die Anlagensteuerung eingebunden.

Die Übertragung der sicherheitsrelevanten Signale erfolgt mithilfe eines Black-Channels. Die Auslegung des Black-Channels erfolgt nach DIN EN 61784-3.

3.1 Sicherheitsrelevante Signale des externen Eisansatzerkennungssystems

Das externe Eisansatzerkennungssystem stellt der Anlagensteuerung folgende sicherheitsrelevante Signale zur Verfügung:

- kritischer Eisansatz
- Verfügbarkeit des Eisansatzerkennungssystems
- Eisfreiheit

3.2 Sicherheitsrelevante Signale der Anlagensteuerung

Die Anlagensteuerung stellt dem externen Eisansatzerkennungssystem sicherheitsrelevante Signale zur Verfügung. Dies sind unter anderem:

- Blattverstellwinkel
- Rotordrehzahl
- Außentemperatur

3.3 Nicht sicherheitsrelevante Funktionen der Anlagensteuerung

Die Anlagensteuerung stellt dem externen Eisansatzerkennungssystem nicht sicherheitsrelevante Funktionen zur Verfügung. Dies sind unter anderem:

- Steuerung der Blattheizung
 - Aktivierung der Blattheizung zur Erwärmung der Rotorblätter
- Steuerung der Eisansatzsimulation
 - Zur Abnahmeprüfung und im Zuge der Wartung, um die korrekte Funktionsweise der Betriebsführung bei der Eisansatzerkennung zu kontrollieren (unter nichtvereisten Bedingungen).
- Parametrierung des Eisansatzerkennungssystems
 - Die Anlagesteuerung stellt zwei Schnittstellen zur Verfügung, um das Eisansatzerkennungssystem zu parametrieren. Die Parameter des Eisansatzerkennungssystems können bei der Inbetriebnahme per CompactFlash-Karte in die Anlagensteuerung eingespielt und am Anlagendisplay abgelesen werden. Die Übertragung der Daten an das Eisansatzerkennungssystem erfolgt mit einer CRC-Prüfung (zyklische Redundanzprüfung). Die Parameter sind durch die Überwachungsmechanismen der Anlagensteuerung abgesichert und werden kontinuierlich über das ENERCON SCADA System überwacht. Der ENERCON Service führt eine automatische Parameterüberwachung durch. Bei einer Abweichung der Parameterwerte wird der ENERCON Service benachrichtigt.
- Daten- und Ereignisprotokollierung
 - Alle durch das Eisansatzerkennungssystem ausgelösten Ereignisse werden über das ENERCON SCADA System protokolliert.
- Signalisierung von Teilsystemausfällen (z. B. Ausfall eines Sensors), um eine rechtzeitige Reparatur oder Wartung zu ermöglichen.

3.4 Überwachung der Verfügbarkeit des Eisansatzerkennungssystems

Die Anlagensteuerung überwacht die Verfügbarkeit des externen Eisansatzerkennungssystems.

Wenn der Anlagensteuerung die sicherheitsgerichteten Signale des installierten und parametrisierten externen Eisansatzerkennungssystems nicht mehr zur Verfügung stehen oder das externe Eisansatzerkennungssystem keine Verfügbarkeit meldet, wird eine Meldung über das ENERCON SCADA System generiert und eine der folgenden Ausfallreaktionen eingeleitet:

Standard-Ausfallreaktion

- Der Betrieb der Windenergieanlage ist bei Verfügbarkeit eines weiteren Eisansatzerkennungssystems zulässig.

Da das ENERCON Kennlinienverfahren standardmäßig zur Verfügung steht, ist der Betrieb der Windenergieanlage somit trotz Ausfall des externen Eisansatzerkennungssystems gegeben.

Alternativ parametrierbare Ausfallreaktionen

- Der Betrieb der Windenergieanlage ist immer zulässig.
- Der Betrieb der Windenergieanlage ist bei Tauwetter zulässig.
- Der Betrieb der Windenergieanlage ist nie zulässig.

4 Kritischer Eisansatz und Eisfreiheitsmeldung

Die Datenverarbeitungseinheit wertet die Structural-Noise-Sensorsignale zusammen mit den aktuellen Betriebs- und Umgebungsdaten der Windenergieanlage aus. Die Datenverarbeitungseinheit berechnet die Zustandsindikatoren, welche auf Strukturveränderungen und Eisansatz hinweisen. Unterschreiten die Zustandsindikatoren den Schwellwert für den Eisalarm, wird eine Alarmmeldung für kritischen Eisansatz generiert. Überschreiten die Zustandsindikatoren den Schwellwert für die Eisfreiheit, wird eine Eisfreiheitsmeldung generiert.

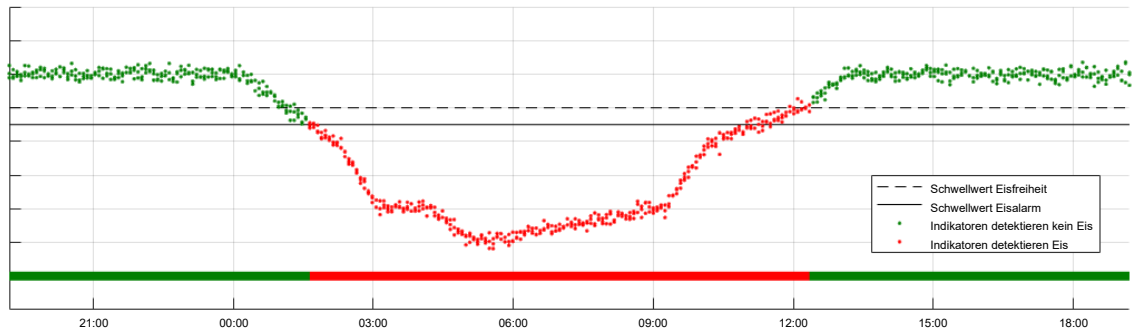


Abb. 5: Berechnete Zustandsindikatoren des Wölfel-Eisansatzerkennungssystems

Die aus den Messwerten berechneten Zustandsindikatoren werden, abhängig von den herrschenden Betriebs- und Umgebungsbedingungen, i. d. R. im Abstand von ca. 5 Minuten gebildet. Die Zustandsindikatoren werden genutzt, um Aussagen über den Rotorblattzustand zu treffen. Im Normalzustand (ohne Eisansatz) sind die Zustandsindikatoren im Bereich der Nulllinie. Bei Eisansatz weichen die Zustandsindikatoren von Null ab. Je stärker die Abweichung ist, umso ausgeprägter ist der Eisansatz. Zustandsindikatoren zur Eisansatzerkennung werden in praktisch allen relevanten Betriebszuständen gebildet, so dass eine permanente Überwachung sichergestellt ist.

Standardmäßig sind 2 Schwellwerte vorgegeben, auf deren Basis automatisch eine Alarmmeldung generiert und an die Anlagensteuerung kommuniziert wird. Die Schwellwerte werden für jeden Rotorblatttyp individuell angepasst.

Da die strukturdynamischen Eigenschaften von Rotorblättern komplex und stark vom Rotorblatttyp und Windenergieanlagentyp abhängig sind und zudem die Detektion von Vereisungen nur in Bezug auf einen bekannten Anfangszustand erfolgen kann, ist eine Systemreferenzierung erforderlich.

Informationen zur Referenzierung können dem Dokument D02481600 „Wölfel IDD.Blade - Überblick zur Referenzierung für den Kunden“ entnommen werden.

5 Anhalten der Windenergieanlage

Erkennt das Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz, wird die Windenergieanlage angehalten (Trudelbetrieb). Zusätzlich erfolgt eine Signalisierung an ENERCON SCADA.

Je nach Parametrierung kann die Gondel in einer bestimmten Stellung positioniert werden. Optional wird die Blattheizung oder eine Eiswarnleuchte eingeschaltet.

6 Wiederanlaufen der Windenergieanlage

6.1 Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage

Das Anhalten der Windenergieanlage hat immer eine höhere Priorisierung als das Wiederanlaufen der Windenergieanlage. Das bedeutet, dass die Windenergieanlage nicht wiederanlaufen kann, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt, obwohl ein anderes Eisansatzerkennungssystem Eisfreiheit meldet.

6.2 Manueller Wiederanlauf

Ein manuell eingeleiteter Wiederanlauf nach einer Eisansatzerkennung ist nur direkt an der Windenergieanlage nach entsprechender Sichtkontrolle möglich. Der Eisreset kann über den Taster am Steuerschrank oder über den ENERCON SCADA Server vor Ort ausgelöst werden. Dabei obliegt dem Personal vor Ort die Verantwortung für die eventuell vom Wiederanlauf ausgehende Gefährdung.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

6.3 Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

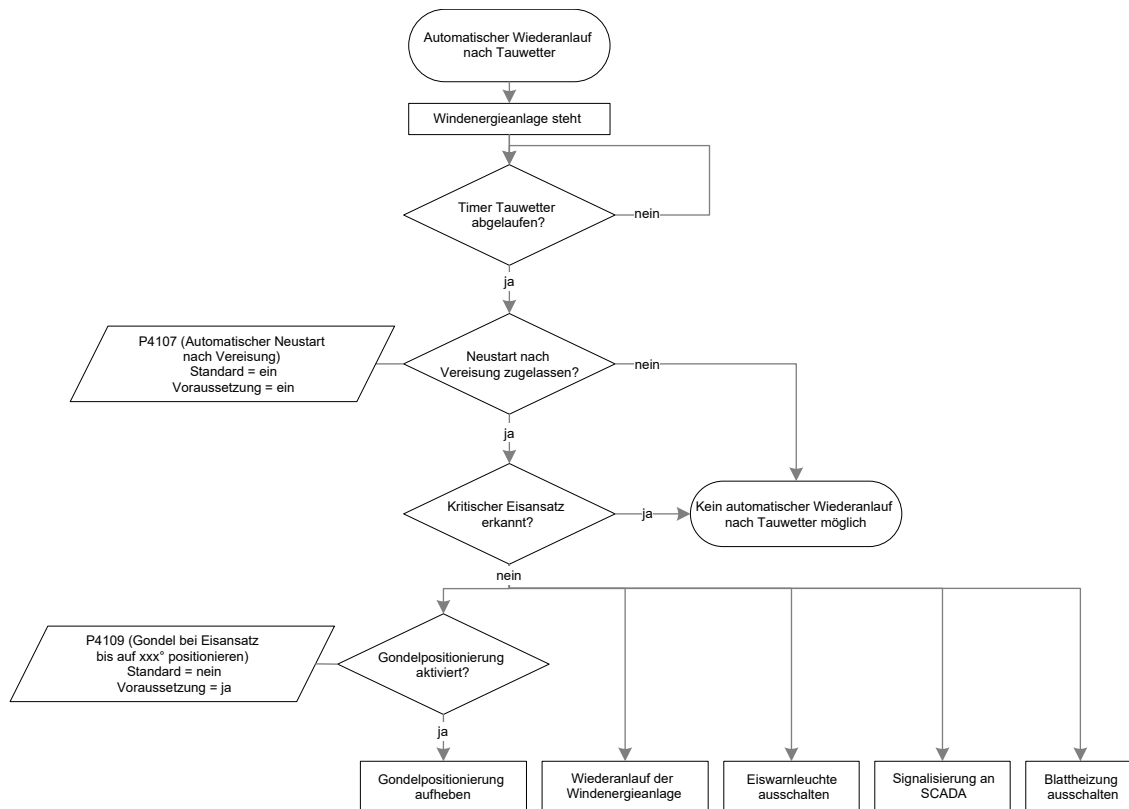


Abb. 6: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

Standardeinstellung:

- P4107 (Automatischer Neustart nach Vereisung) = ein

Voraussetzung:

- ✓ P4107 (Automatischer Neustart nach Vereisung) = ein
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt.

Wenn anhand der zurückliegenden Außentemperaturmessungen Tauwetterlage erkannt wird und ein automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter parametrierbar ist, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Wenn ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt, ist der automatische Wiederanlauf nach Tauwetter nicht möglich.

Tab. 1: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

Außentemperatur in °C	Dauer in Minuten
> 2,0 bis ≤ 2,5	1200
> 2,5 bis ≤ 3,0	360
> 3,0 bis ≤ 4,0	180
> 4,0 bis ≤ 5,0	120
> 5,0 bis ≤ 6,0	90
> 6,0 bis ≤ 7,0	72
> 7,0 bis ≤ 8,0	60

Außentemperatur in °C	Dauer in Minuten
> 8,0 bis ≤ 9,0	51
> 9,0 bis ≤ 10,0	45
> 10,0	0

Wenn das Eisansatzerkennungssystem über einen Zeitraum von 5 Minuten Eisfreiheit signalisiert, nachdem ein Blattheizungszyklus durchlaufen wurde, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Diese Funktion ist auch unter Vereisungsbedingungen möglich.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

Detaillierte Informationen können der technischen Beschreibung entnommen werden:

- D0441885 „Technische Beschreibung Blattheizung“

6.5 Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung

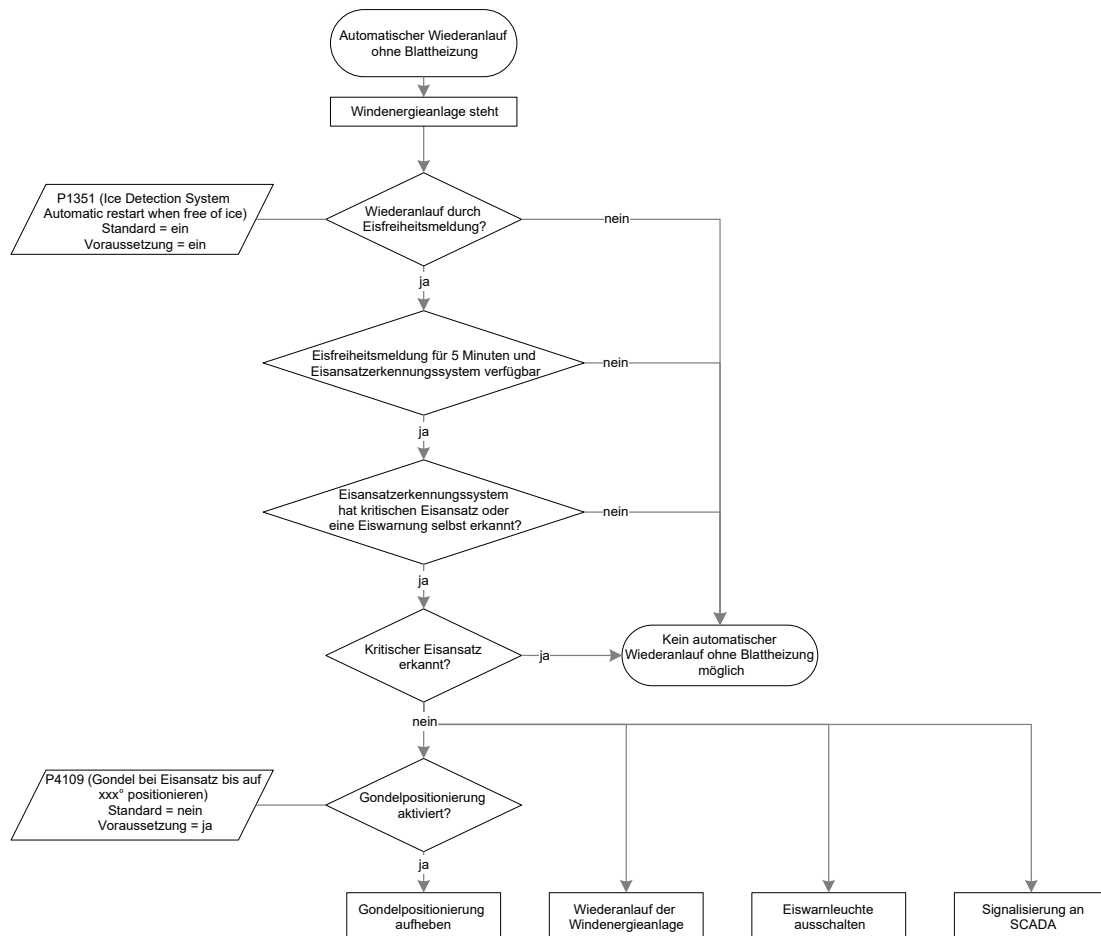


Abb. 8: Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung

Standardeinstellung:

- P1351 (Automatischer Wiederanlauf bei Eisfreiheitssign. durch ext. System) = ein

Voraussetzung:

- ✓ P1351 (Automatischer Wiederanlauf bei Eisfreiheitssign. durch ext. System) = ein
- ✓ Kritischer Eisansatz oder eine Eiswarnung wurden durch das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem erkannt
- ✓ Signalisierung von Eisfreiheit für mindestens 5 Minuten
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Ohne Blattheizung ist ein automatischer Wiederanlauf der Windenergieanlage durch das Eisansatzerkennungssystem möglich, wenn das Eisansatzerkennungssystem den kritischen Eisansatz oder die Eiswarnung selbst erkannt hat.

Wenn das Eisansatzerkennungssystem über einen Zeitraum von 5 Minuten Eisfreiheit signalisiert, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

6.6 Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung

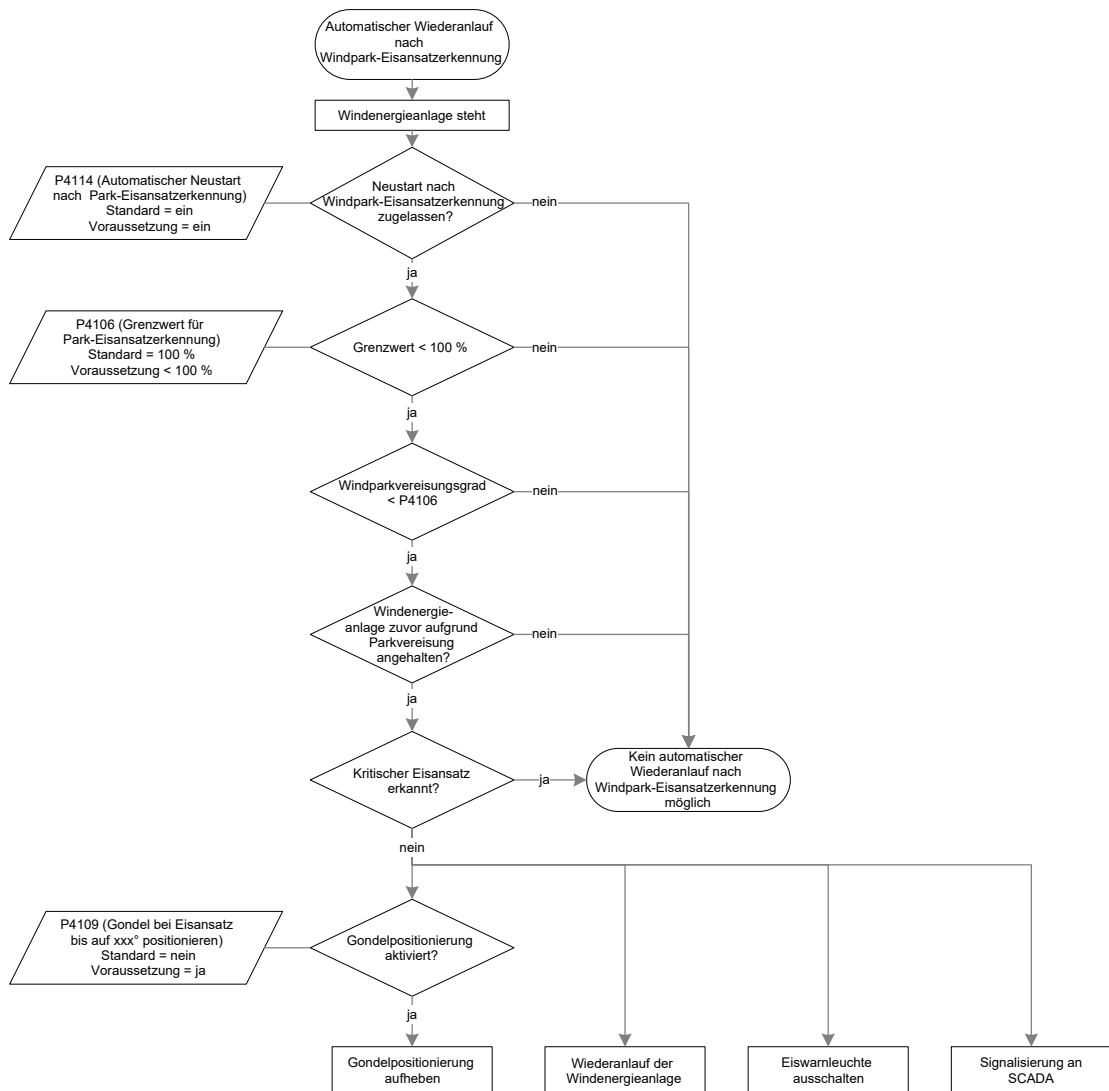


Abb. 9: Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung

Standardeinstellung:

- P4114 (Automatischer Neustart nach Park-Eisansatzerkennung) = ein
- P4106 (Grenzwert für Park-Eiserkennung) = 100 %

Voraussetzung:

- ✓ P4114 (Automatischer Neustart nach Park-Eisansatzerkennung) = ein
- ✓ P4106 (Grenzwert für Park-Eiserkennung) < 100 %
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Wird an einer Windenergieanlage kein kritischer Eisansatz mehr erkannt und die entsprechende Statusmeldung zurückgesetzt, gibt die Windenergieanlage diese Meldung über ENERCON SCADA an alle Windenergieanlagen im Windpark ab. Jede Windenergieanlage löscht die entsprechende Information und berechnet erneut den Windparkvereisungsgrad. Wenn der Windparkvereisungsgrad niedriger als der an der jeweiligen Windenergieanlage eingestellte Wert ist, wird der Startvorgang eingeleitet, sofern die Windenergieanlage selbst keinen kritischen Eisansatz detektiert hat oder durch längeren Stillstand bei niedrigen Temperaturen präventiv stillstehen muss.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

Detaillierte Informationen können der technischen Beschreibung entnommen werden:

- D0258603 „Technische Beschreibung Windpark-Eisansatzerkennung“

7 ENERCON SCADA System

Über das ENERCON SCADA System und die PDI-OPC-Schnittstelle können verschiedene Signale vom Wölfel-Eisansatzerkennungssystem empfangen werden.

Folgende Signale werden alle 10 Minuten aufgezeichnet:

- Zustands- oder Eisindikatoren pro Rotorblatt
- Schaltschranktemperatur der Wölfel-Basisstation
- Prozessortemperatur des ENERCON Ice Detection Interface

Wenn die Wölfel-Basisstation keine Daten sendet oder ein Sensor nicht konfiguriert ist, wird der Wert 65535 aufgezeichnet.

8 Parameter

Die einzustellenden Werte der nachfolgenden Parameter werden von der zuständigen Genehmigungsbehörde oder vom Betreiber vorgegeben. Gewünschte Änderungen vom Betreiber müssen dokumentiert (Formular Änderung Standardeinstellungen) und von ENERCON geprüft, freigegeben und eingestellt werden.

8.1 P1351: Ice Detection System Automatic restart when free of ice

Gibt an, ob die Windenergieanlage nach einer Eisfreiheitsmeldung durch ein externes Eisansatzerkennungssystem automatisch wieder starten darf.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	ein

8.2 P1352: Ice Detection System fall-back reaction

Gibt an, wie die Windenergieanlage mit einem installierten und parametrierten, jedoch nicht verfügbaren externen Eisansatzerkennungssystem betrieben werden darf.

- 0 = Der Betrieb ist bei Verfügbarkeit eines weiteren Eisansatzerkennungssystems zulässig.
- 1 = Der Betrieb ist immer zulässig.
- 2 = Der Betrieb ist bei Tauwetter zulässig.
- 3 = Der Betrieb ist nicht zulässig.

Hinweis: Wenn P1352 = 1, erhöht sich ggf. das Eiswurfrisiko!

Einstellmöglichkeiten	Standard
0 – 3	0

8.3 P1355: Ice Detection System Wölfel

Gibt an, ob ein Wölfel-Eisansatzerkennungssystem installiert ist.

Einstellmöglichkeiten	Standard
installiert/nicht installiert	nicht installiert

8.4 P1357: Ice Detection System only active with turbine stopped

Gibt an, ob das Eisansatzerkennungssystem nur bei angehaltener Windenergieanlage aktiv sein soll.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ja/nein	nein

8.5 P1358: Ice Detection System inactive from ...

Gibt an, ab welcher Windgeschwindigkeit das Eisansatzerkennungssystem inaktiv sein soll.

Einstellmöglichkeiten	Standard
2,0 – 60,0 m/s	3,0 m/s

8.6 P1359: Ice Detection System inactive to ...

Gibt an, bis zu welcher Windgeschwindigkeit das Eisansatzerkennungssystem inaktiv sein soll.

Einstellmöglichkeiten	Standard
2,0 – 60,0 m/s	3,0 m/s

Tab. 2: Auswirkung der Parameter 1357 bis 1359 auf die Funktionsweise des Eisansatzerkennungssystems

Funktionsweise	Einstellung der Parameter
Das Eisansatzerkennungssystem ist immer aktiv (Standard).	P1357 = nein P1358 = P1359
Das Eisansatzerkennungssystem ist nur aktiv, wenn die Windenergieanlage angehalten ist.	P1357 = ja P1358 = P1359
Das Eisansatzerkennungssystem ist nur aktiv, wenn die Windgeschwindigkeit außerhalb des eingestellten Bereichs liegt.	P1357 = nein P1358 < P1359
Das Eisansatzerkennungssystem ist aktiv, wenn die Windgeschwindigkeit außerhalb des eingestellten Bereichs liegt oder wenn die Windenergieanlage angehalten ist.	P1357 = ja P1358 < P1359

Hinweis: Eine Abweichung vom Standard schränkt den Aktivitätsbereich des Eisansatzerkennungssystems ein! Damit ist das Eisansatzerkennungssystem gemäß Zertifizierung und Stand der Technik nicht mehr vollständig funktionsfähig!

8.7 P7450: Woelfel certified Ice-Thres. active

Gibt an, ob das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem nur Parametrierungen akzeptieren darf, die der Zertifizierung entsprechen.

Hinweis: Wenn P7450 = nicht aktiv, können für die Parameter 7451 bis 7452 von der Zertifizierung abweichende Einstellungen vorgenommen werden.

Einstellmöglichkeiten	Standard
aktiv/nicht aktiv	aktiv

8.8 P7451: Woelfel Schwellwert Eis-Alarm

Gibt den Indikatorwert für den Schwellwert des Eis-Alarms an.

Die Einstellung des Parameters wird nicht berücksichtigt, wenn die Einstellung der Zertifizierung entsprechen muss (P7450 = aktiv).

Einstellmöglichkeiten	Standard
-30,000 – 32,767	-0,750

8.9 P7452: Woelfel Schwellwert Eisfreiheit

Gibt den Indikatorwert für den Schwellwert der Eisfreiheit an.

Die Einstellung des Parameters wird nicht berücksichtigt, wenn die Einstellung der Zertifizierung entsprechen muss (P7450 = aktiv).

Einstellmöglichkeiten	Standard
-30,000 – 32,767	-0,500

8.10 P7454: Woelfel Blade Heating Thres.

Gibt den Indikatorwert für den Einschaltenschwellwert der Blattheizung bei laufender Windenergieanlage an.

Einstellmöglichkeiten	Standard
-30,000 – 32,767	32,767 (deaktiviert)

Fachwortverzeichnis

Eisfall	Herabfallen von Eis bei angehaltener Windenergieanlage, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern bilden kann. Die fallenden Eisstücke können Sach- und Personenschäden bewirken.
Eiswurf	Abwurf von Eis bei drehendem Rotor, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern von Windenergieanlagen bilden kann.
Kritischer Eisansatz	Entstehung von Eis, das aufgrund seiner Aufprallenergie eine Gefahr für ungeschützte Personen darstellt, wenn es herabfällt oder weggeschleudert wird.
Trudelbetrieb	Betriebsart einer ENERCON Windenergieanlage, bei der sich die Rotorblätter in einem Rotorblattwinkel von in der Regel 60° (in der sogenannten Trudelstellung) befinden, wodurch sich die Windenergieanlage im Leerlauf befindet. Der Rotor dreht nur sehr langsam. Im Trudelbetrieb wird keine Energie erzeugt und die Rotordrehzahl wird überwacht. Bei hohen Windgeschwindigkeiten wird der Rotorblattwinkel erhöht, damit die maximale Trudeldrehzahl nicht überschritten wird.

