

Technische Beschreibung

Wölfel-Eisansatzerkennung

ENERCON Platform Independent Control System (PI-CS)

Herausgeber

ENERCON Global GmbH ▪ Dreckamp 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: Uwe Eberhardt, Ulrich Schulze Südhoff
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 202549
Ust.Id.-Nr.: DE285537483

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 Global GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON Global 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 Global 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 Global 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 Global 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	D03017802/1.0-de		
Vermerk	Originaldokument		
Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2025-12-03	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Documentation Department

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Aufbau	5
3	Integration in das Betriebsführungssystem	7
3.1	Sicherheitsrelevante Signale des externen Eisansatzerkennungssystems	7
3.2	Sicherheitsrelevante Signale der Anlagensteuerung	7
3.3	Nicht sicherheitsrelevante Funktionen der Anlagensteuerung	7
3.4	Überwachung der Verfügbarkeit des Eisansatzerkennungssystems	8
4	Kritischer Eisansatz und Eisfreiheitsmeldung	9
5	Anhalten der Windenergieanlage	10
6	Wiederanlaufen der Windenergieanlage	11
6.1	Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage	11
6.2	Manueller Wiederanlauf	11
6.3	Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter	12
6.4	Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung	14
6.5	Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung	16
6.6	Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung	17
7	Parameter	19
	Fachwortverzeichnis	20

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 folgendem Steuerungstyp:

- PI-CS

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 einer Wölfel App und mindestens 3 Beschleunigungssensoren der Fa. Pulsotronic.

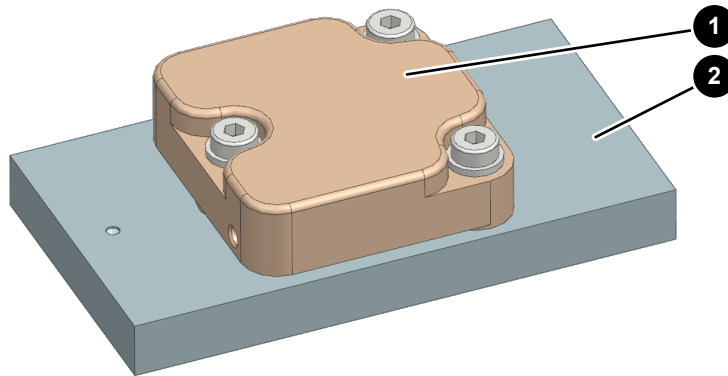


Abb. 1: Montage des Pulsotronic-Sensors auf der GFK-Montageplatte

1	Pulsotronic-Sensor	2	GFK-Montageplatte
---	--------------------	---	-------------------

Die Beschleunigungssensoren erfassen jeweils die Schwingbeschleunigungen (Abb. 2, S. 5) 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 Signalauflösung.

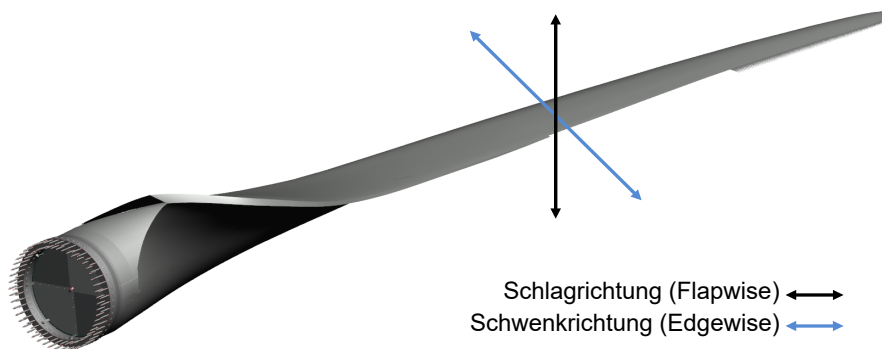


Abb. 2: Erfasste Schwingbeschleunigungen durch Beschleunigungssensoren

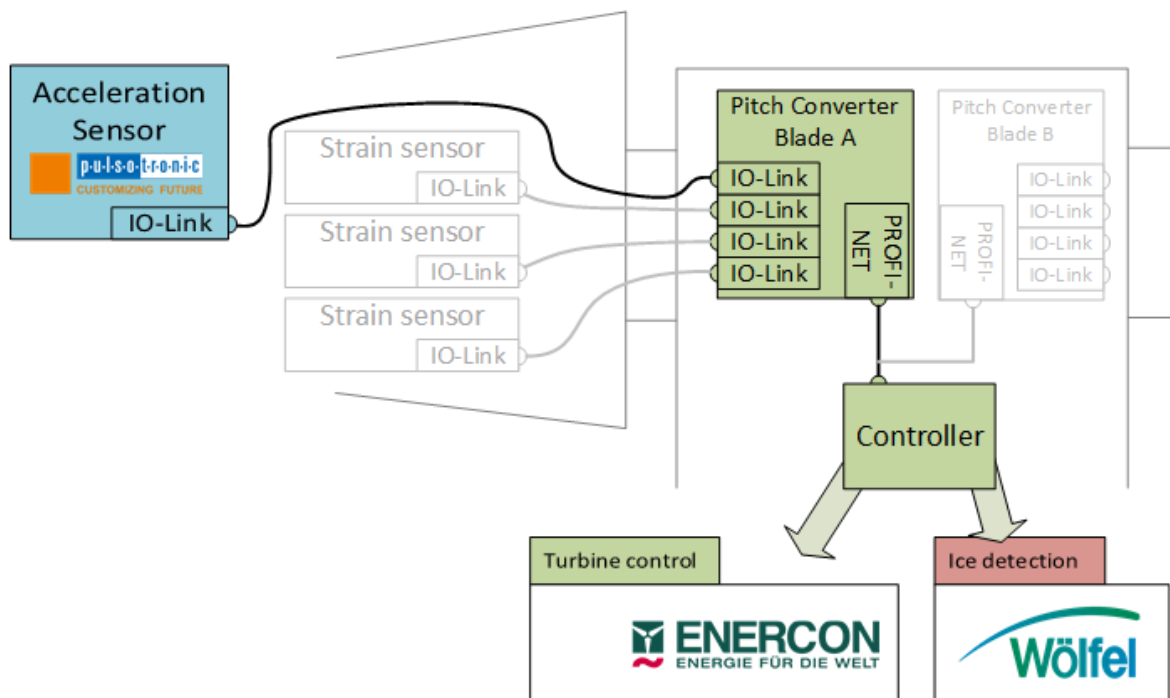


Abb. 3: Schematische Darstellung der Einbindung in die Anlagensteuerung

Die Beschleunigungssensoren sind über IO-Link mit der Anlagensteuerung verbunden.

Die Wölfel App besteht aus einer Laufzeitumgebung (SHM.Inside), die von Wölfel speziell für das Hosting von Structural Health Monitoring (SHM) Anwendungen auf Phoenix Contact Steuerungen entwickelt wurde.

3 Integration in das Betriebsführungssystem

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. Diese sind unter anderem:

- Blattverstellwinkel
- Rotordrehzahl
- Außentemperatur

3.3 Nicht sicherheitsrelevante Funktionen der Anlagensteuerung

Die Anlagensteuerung stellt dem externen Eisansatzerkennungssystem nicht sicherheitsrelevante Funktionen zur Verfügung. Diese 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 Parameter des Eisansatzerkennungssystems werden durch ein internes ENERCON Tool eingestellt.
- 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.

Das Eisansatzerkennungssystem gilt als verfügbar, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Das Eisansatzerkennungssystem ist aktiviert.
- Die SHM-Laufzeitumgebung ist betriebsbereit.
- Die SHM-Laufzeitumgebung ist in Betrieb.
- Der SHM-Zeitstempel steigt nach einer parametrisierten Zeit an.
- Die ICE-Funktionalität ist betriebsbereit.
- Die ICE-Funktionalität ist in Betrieb.

Bei Vereisungsbedingungen wird die Windenergieanlage angehalten, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Parameter WMET1/Ice1/IceIWflSensFailStTrg = true.
- Das Eisansatzerkennungssystem ist nicht verfügbar.



Die schwingungsbasierte Eisansatzerkennung muss nach der Installation das normale, eisfreie Schwingungsverhalten der jeweiligen Blätter referenzieren. Um die Eisfreiheit sicherzustellen, erfolgt die Referenzierung nur bei Temperaturen über 4°C.

Es ist zu beachten, dass die Referenzierung der schwingungsbasierten Eisansatzerkennung vollständig abgeschlossen sein muss, bevor die Funktion einsatzbereit ist.

4 Kritischer Eisansatz und Eisfreiheitsmeldung

Die Datenverarbeitungseinheit wertet die Signale der Beschleunigungssensoren 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.

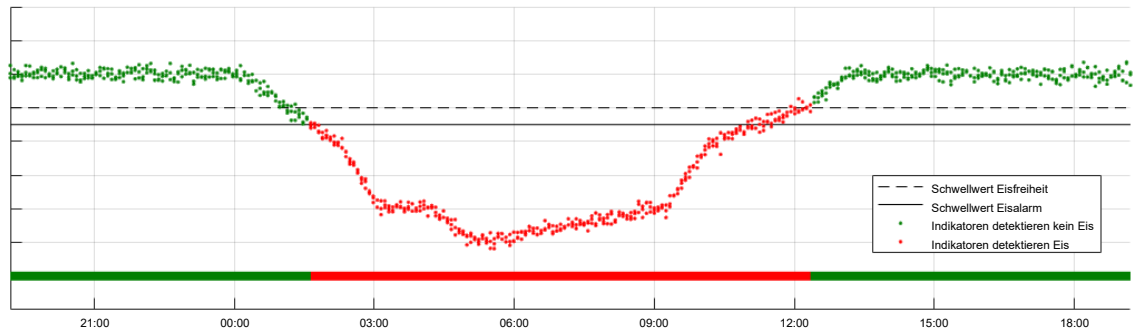


Abb. 4: Berechnete Zustandsindikatoren des Wölfel-Eisansatzerkennungssystems

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.

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. Ein manuell eingeleiteter Wiederanlauf erfolgt nicht durch ENERCON.

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

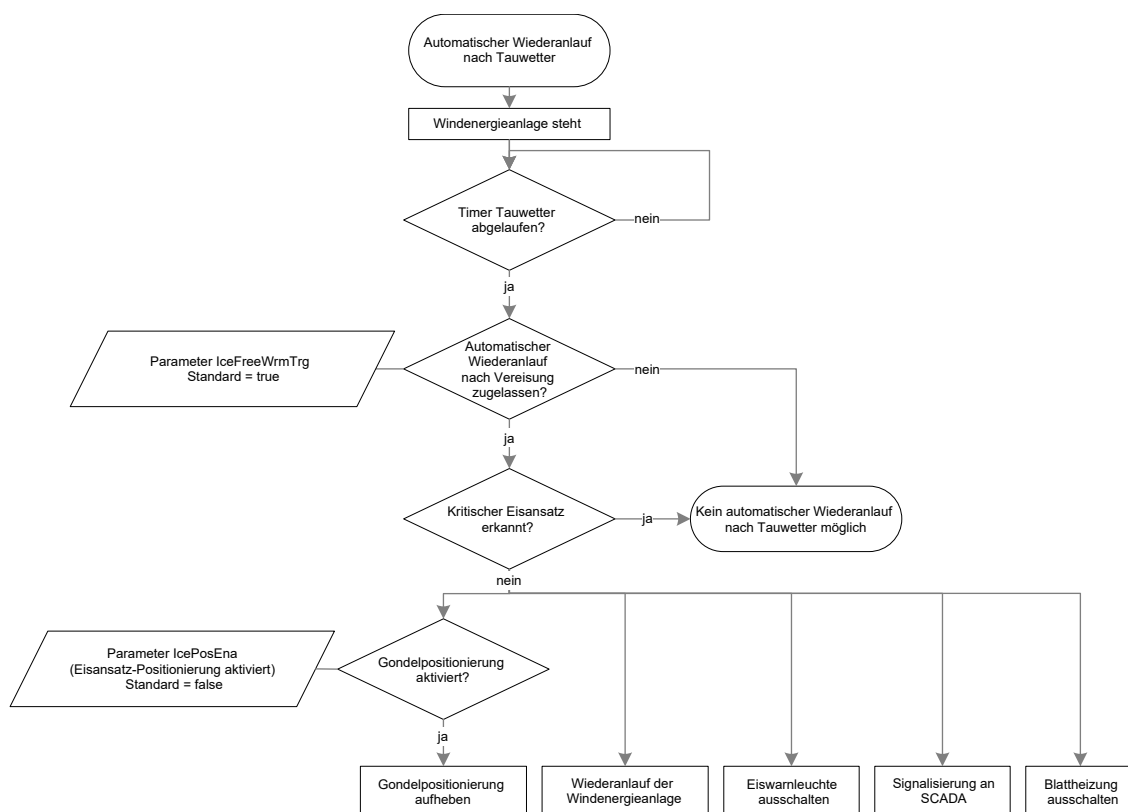


Abb. 5: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter

Standardeinstellung:

- IceFreeWrmTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Vereisung) = true

Voraussetzung:

- ✓ IceFreeWrmTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Vereisung) = true
- ✓ 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.

Die Gondelpositionierung kann nur durchgeführt werden, wenn sich das Azimutsystem in einem Status befindet, in dem eine automatische Positionierung zugelassen ist (Yaw capability = automatic).

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

Außentemperatur in °C	Dauer in Minuten
> 6,0 bis ≤ 7,0	72
> 7,0 bis ≤ 8,0	60
> 8,0 bis ≤ 9,0	51
> 9,0 bis ≤ 10,0	45
> 10,0	0

6.4 Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung

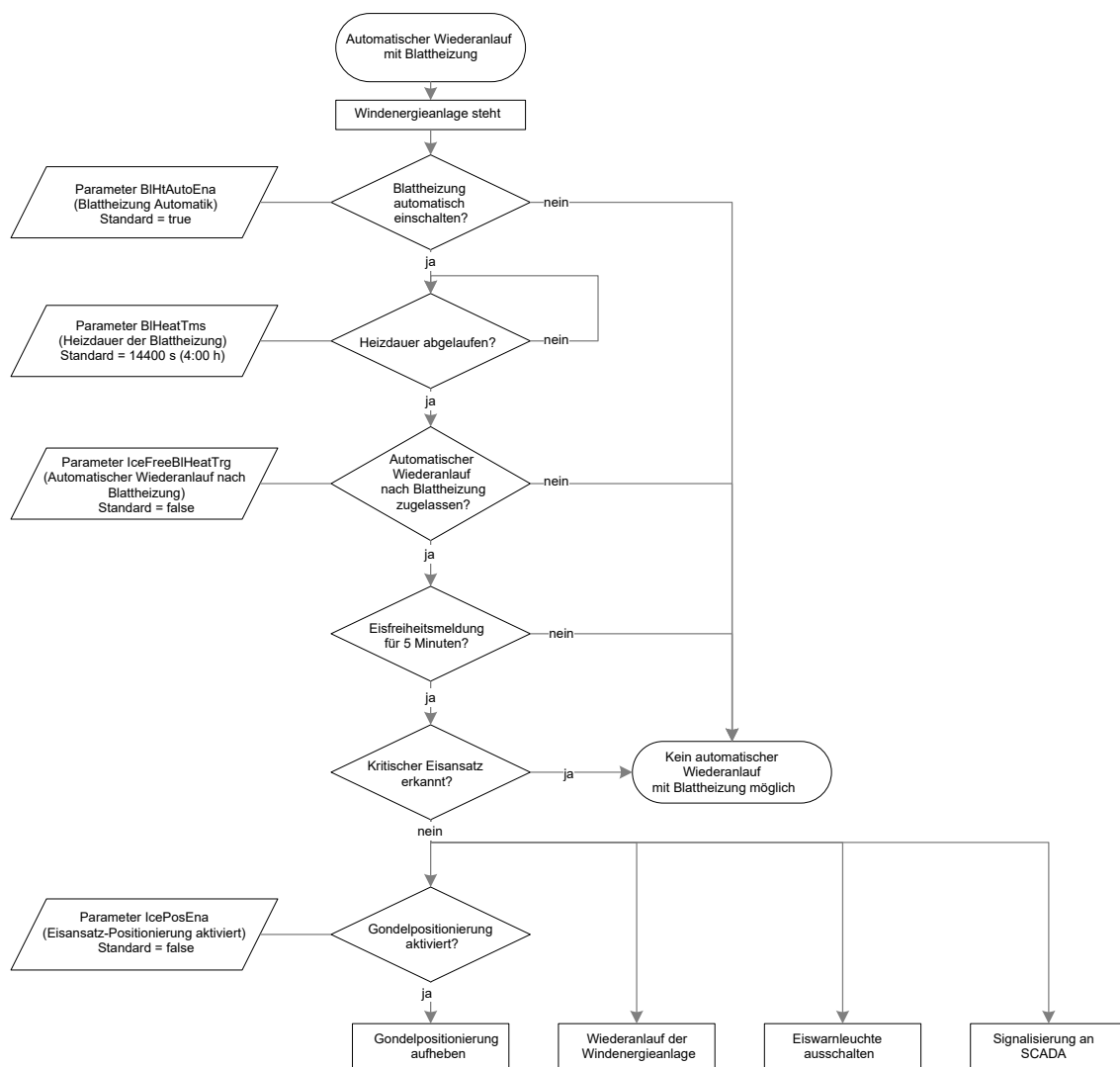


Abb. 6: Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung

Standardeinstellung:

- BIHtAutoEna (Blattheizung Automatik) = true
- IceFreeBIHeatTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = false

Voraussetzung:

- ✓ BIHtAutoEna (Blattheizung Automatik) = true
- ✓ IceFreeBIHeatTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = true
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

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

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.

Die Gondelpositionierung kann nur durchgeführt werden, wenn sich das Azimutsystem in einem Status befindet, in dem eine automatische Positionierung zugelassen ist (Yaw capability = automatic).

6.5 Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung

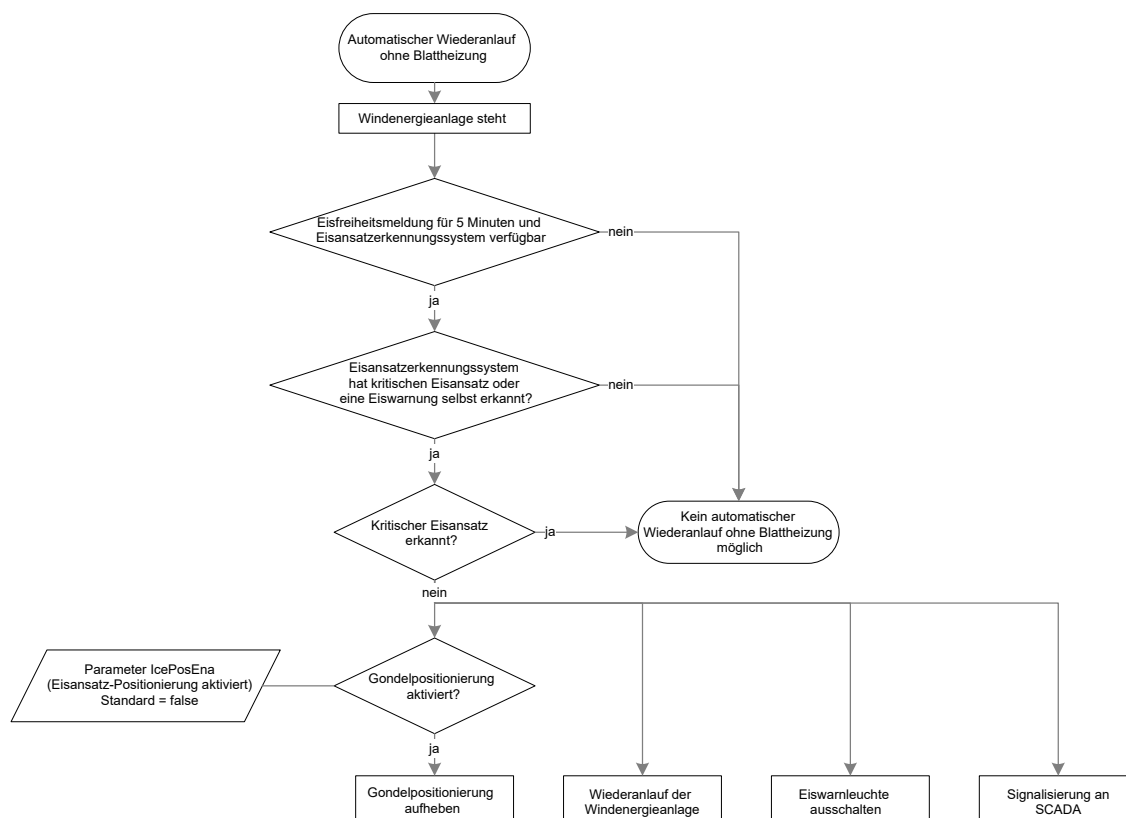


Abb. 7: Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung [PI-CS Wölfel]

Voraussetzung:

- ✓ 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.

Die Gondelpositionierung kann nur durchgeführt werden, wenn sich das Azimutsystem in einem Status befindet, in dem eine automatische Positionierung zugelassen ist (Yaw capability = automatic).

6.6 Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung

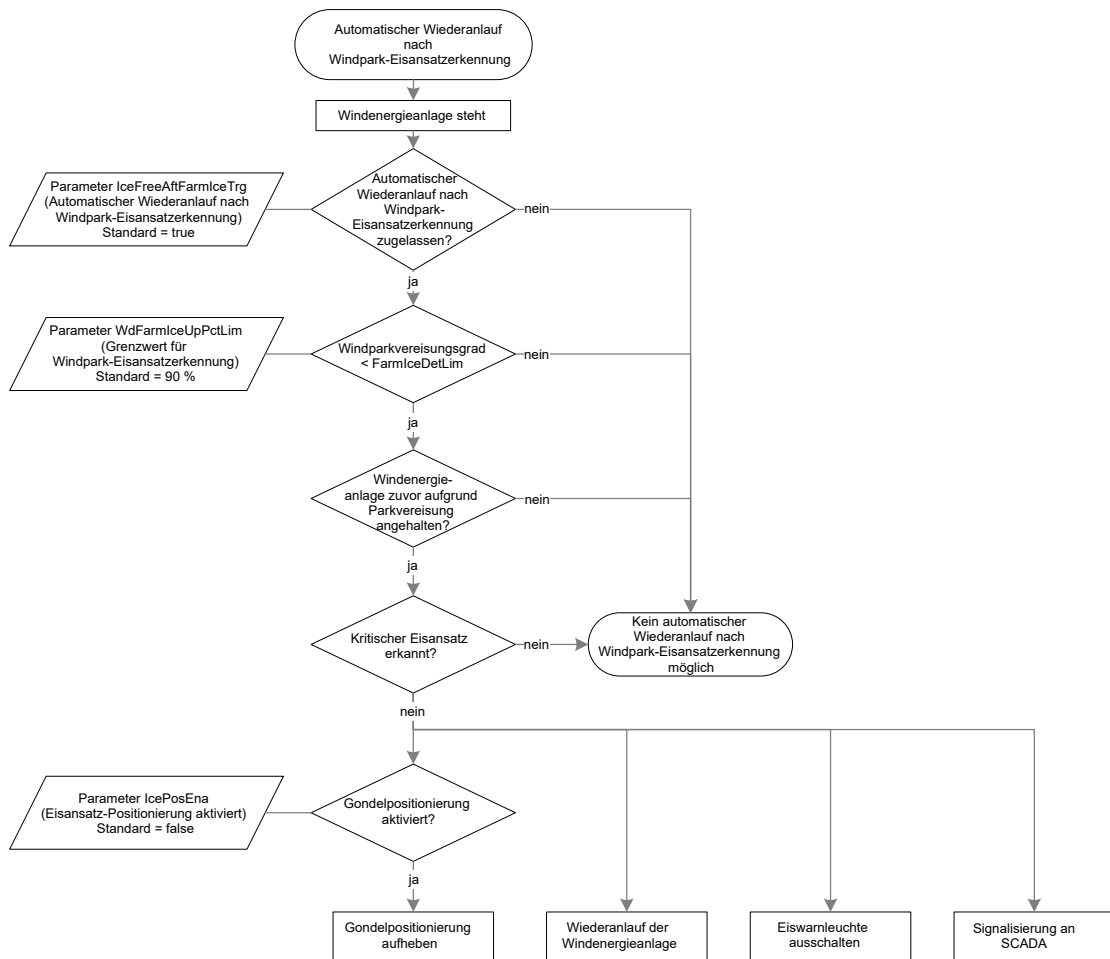


Abb. 8: Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung

Standardeinstellung:

- IceFreeAftFarmIceTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung) = true
- WdFarmIceUpPctLim (Grenzwert für Windpark-Eisansatzerkennung) = 90 %

Voraussetzung:

- ✓ IceFreeAftFarmIceTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung) = true
- ✓ 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.

Die Gondelpositionierung kann nur durchgeführt werden, wenn sich das Azimutsystem in einem Status befindet, in dem eine automatische Positionierung zugelassen ist (Yaw capability = automatic).

7 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.

Von der Inbetriebnahme der Windenergieanlage bis zur Unterzeichnung des Abnahmeprotokolls, können nur die Standardeinstellungen der Parameter eingestellt werden.

7.1 Anlagenverhalten Wölfel nicht verfügbar

Parameter: *WMET1/Ice1/IceIWflSensFailStTrg* (Technology interface ice detection Woelfel sensor failure status trigger)

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

- true = Bei Vereisungsbedingungen wird die Windenergieanlage angehalten.
- false = Bei Vereisungsbedingungen läuft die Windenergieanlage weiter.

Einstellmöglichkeiten	Standard
true/false	true

7.2 Wölfel Eisansatzerkennungssystem aktiviert

Parameter: *WMET1/Ice1/IceIWflAct* (Technology interface ice detection Woelfel active)

Gibt an, ob das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem installiert und aktiviert ist.

Einstellmöglichkeiten	Standard
true/false	false

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.