

# Gutachten

## zur Einbindung dreier Eiserkennungssysteme in GE Cypress Windenergieanlagen

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8116 342 969 D Rev. 2

**Gegenstand der Prüfung:** Einbindung der Eiserkennungssysteme BLADEControl, Labkotec und Self-Learning Power Curve an GE Cypress Windenergieanlagen

Dieser Bericht umfasst 22 Seiten.

Rev.	Datum	Änderungen
0	26.02.2019	Erste Fassung
1	05.02.2020	Korrektur formaler Fehler
2	19.02.2021	Update Eiserkennung bei niedriger Windgeschwindigkeit, Revision von Dokumenten

## Inhalt

1	Einleitung.....	4
1.1	Ausgangssituation .....	4
1.2	Aufgabenstellung.....	5
1.3	Eiserkennungssystem BLADEcontrol .....	5
1.4	Leistungskurvenverfahren SLPC .....	7
1.5	Labkotec Eissensor .....	8
2	Sicherheitstechnik der GE Windenergieanlagen .....	9
2.1	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem .....	9
2.2	Einbindung der Eiserkennungssysteme in die GE-Anlagensteuerung.....	9
2.2.1	Einbindung BLADEcontrol .....	10
2.2.2	Einbindung SLPC.....	14
2.2.3	Einbindung Labkotec .....	14
2.3	Einbauverfahren und Inbetriebnahme .....	15
2.3.1	BLADEcontrol .....	15
2.3.2	SLPC .....	15
2.3.3	Labkotec .....	16
2.4	Parametrierung.....	16
2.4.1	Parametrisierung BLADEcontrol .....	16
2.4.2	Parametrisierung SLPC .....	16
2.4.3	Parametrisierung Labkotec Eissensor .....	17
2.5	Wiederkehrende Prüfungen.....	17
2.6	Vermeidung des Anfahrens bei Vereisung .....	18
3	Bewertung .....	20
4	Dokumente und Literaturverzeichnis .....	21
4.1	Bewertete Dokumente .....	21
4.2	Literatur & Quellen.....	22

## Abbildungen

Abbildung 1: Systemarchitektur von BLADEcontrol.....	6
Abbildung 2: Logik der Verbundenen Eiserkennungssysteme.....	10
Abbildung 3: Kommunikation ECU und Betriebsführung .....	11
Abbildung 4: Logik BLADEcontrol Eiserkennung im BFS.....	13
Abbildung 5: Logik Eisalarm SLPC.....	14
Abbildung 6: Logik Eisalarm Labkotec.....	15
Abbildung 7: Freigabelogik nach Abschaltung durch Eisansatz .....	18

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Die Rotorblätter von Windenergieanlagen (WEA), die in Regionen mit Temperaturen unter 3°C aufgestellt werden, können bei ungünstigen Bedingungen Eis ansammeln. Aus der dann entstehenden Eisschicht können sich beispielsweise durch Abtauen oder Blattverformung Eisbrocken ablösen, die im Betrieb der Anlage vom Rotorblatt abgeworfen werden und zu Personen- oder Sachschäden im Wurfbereich der Anlage führen können. Ab einer bestimmten Masse der abgeworfenen Brocken besteht damit eine potentielle Gefahr. Beobachtungen zeigen abgeworfene Brocken mit einer Masse von mehreren kg, jedoch sind dem TÜV NORD bisher keine Personenschäden bekannt geworden.

An den WEA installierte Eiserkennungssysteme dienen dem Zweck, dass die Anlage bei erkannter Vereisung der Rotorblätter abgeschaltet wird und somit keine Gefahr durch Eisabwurf mehr besteht. Das Eis wird dann von den Blättern der stehenden / trudelnden WEA abfallen, bevor die WEA wieder manuell oder automatisch in Betrieb genommen wird. Eisabfall von abgeschalteten WEA ist nicht vermeidbar und vergleichbar mit Eisabfall von Strommasten oder Brücken.

Eiserkennungssysteme verfügen generell über einen Sensor und eine Auswerteeinheit. Das Sensorsignal wird durch vereiste Rotorblätter beeinflusst und kann beispielsweise die Leistung der Anlage oder die Blattbeschleunigung sein. Die Auswerteeinheit übernimmt die Aufgabe, aus dem Sensorsignal einen Indikator für Vereisung zu generieren. Üblicherweise gibt es einen Schwellwert, bei dessen Überschreitung das Eiserkennungssystem ein Abschalten der Anlage initiiert. Oft ist dieser Schwellwert spezifisch für jeden Anlagentyp oder gar jede Anlage einzustellen.

Die Bewertung von Eiserkennungssystemen erfolgte bisher in Gutachterlichen Stellungnahmen über Plausibilitätsprüfungen. Es wurde Stellung bezogen zum physikalischen Prinzip der Erkennung bzw. zu der Frage, ob die durch den Eisansatz hervorgerufene Veränderung der Anlageneigenschaften zu einer detektierbaren Veränderung des Sensorsignals führt. Außerdem wurde Stellung bezogen zu auftretenden Lücken der Messung im Betriebsbereich der Anlage. Die Bewertung beschränkte sich jedoch auf eine rein qualitative Bewertung bzw. Plausibilitätsprüfung.

Gerade vor dem Hintergrund, dass ein Eiserkennungssystem immer im Zusammenhang mit der Anlage und der vorliegenden Vereisung zu bewerten ist, wurden seitens der Genehmigungsbehörden die Anforderungen an die Bewertung von Eiserkennungssystemen in den letzten Monaten erhöht. Es ist durch genauere, teilweise quantitative Untersuchungen zu indizieren, dass das Eiserkennungssystem

- die kritische Eismasse zuverlässig detektiert,
- hinsichtlich der Schwellwerte und Parameter korrekt auf die Anlage eingestellt ist und
- sicherheitstechnisch zuverlässig funktioniert.

Die Bewertung soll in Bezug auf das sichere Abschalten der WEA bei kritischem Eisansatz an den Rotorblättern erfolgen. Anhaltspunkte zur Bewertung liefern die von der Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord herausgegebenen Papiere „Anforderungsprofil für ein Gutachten gemäß Merkblatt Sicherheitsnachweise hinsichtlich Eisabwurf – Rheinland-Pfalz“ – Arbeitsentwurf 09.08.2013 sowie „Sicherheitsnachweise hinsichtlich Eisabwurf“ – Arbeitsentwurf Stand 09.08.2013.

Auf Wunsch des Auftraggebers erfolgt eine Trennung der Aufgabenstellungen. Die Aspekte der zuverlässigen Detektion der kritischen Eismasse sollen in separaten Gutachten für die verwendeten Eiserkennungssysteme „BLADEcontrol“, „Labkotec Eissensor“ sowie „Self-Learning Power Curve (SLPC)“ bewertet werden. Im vorliegenden Gutachten sollen ausschließlich die weiteren sicherheitstechnischen Fragestellungen in Bezug auf die Einbindung des Systems in GE Cypress WEA bewertet werden.

## 1.2 Aufgabenstellung

Es sollen die folgenden sicherheitstechnischen Kriterien für die GE Cypress WEA bewertet werden:

1. Die logische Einbindung der Systeme in die Betriebsführung der WEA
2. Die praktischen Einbauverfahren
3. Die Möglichkeiten der Parametrierung
4. Inbetriebnahme und wiederkehrende Prüfungen
5. Die Vermeidung des (wieder-) Anfahrens bei Vereisung

Die Bewertung bezieht sich ausschließlich auf *Eisabwurf*. Eine Bewertung bezüglich Eisabfall erfolgt hier nicht, denn Eisabfall von einer stehenden / trudelnden Anlage kann nicht verhindert werden.

Zur Zuverlässigkeit der Detektion einer kritischen Eismasse durch die verwendeten Systeme bzw. zur Sensibilität der Eiserkennung werden im Rahmen dieses Gutachtens keine Aussagen gemacht.

Die Bewertung erfolgt in Bezug auf das sichere Abschalten der WEA bei anstehendem Signal „Eis-Alarm“.

## 1.3 Eiserkennungssystem BLADEcontrol

Folgende Systemkomponenten des Eiserkennungssystems BLADEcontrol werden auf der WEA installiert:

- Zweidimensional messende Beschleunigungssensoren in jedem einzelnen Rotorblatt
- Ein zusätzlicher Beschleunigungssensor in der Nabe zur Messung von Anlagenschwingungen in Nick-Richtung
- Messerfassungseinheit in der Nabe, Hub Measurement Unit (HMU)
- Messdatenauswertungs- und Kommunikationseinheit (ECU)
- Datenkommunikationsverbindung von der WEA zum Monitoring Center, idR. über das Internet

Ergänzend kommen weitere Komponenten für die Spannungsversorgung und Datenübertragung hinzu.

Die art- und ortstypischen Details der Installation der Komponenten sind in Installationsanweisungen festgelegt, welche für die einzelnen WEA-Typen bestehen. Diese Anweisungen wurden in Abstimmung mit den jeweiligen Herstellern der Anlagen erstellt (s. Kap. 2.2).

Die Systemarchitektur von BLADEcontrol ist in Abbildung 1 dargestellt.

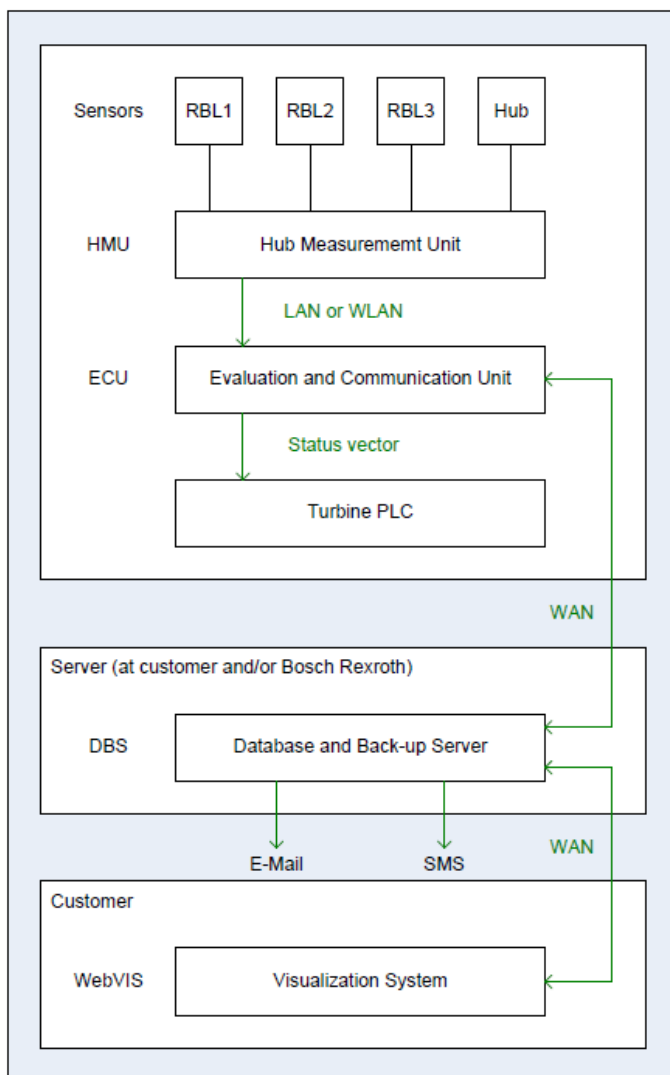


Abbildung 1: Systemarchitektur von BLADEcontrol

Die einzelnen Systemgruppen werden in /1/ wie folgt beschrieben.

### Sensoren

Die Schwingungen der einzelnen Rotorblätter sowie die Nickschwingungen der WEA insgesamt werden über Beschleunigungssensoren aufgenommen. Neben den Beschleunigungssensoren verfügt jedes Messmodul über einen Temperatursensor, der die jeweilige Rotorblatttemperatur erfasst.

Die signaltechnische Anbindung der Sensoren an die HMU in der Nabe erfolgt zur Unterdrückung elektromagnetischer Einflüsse über je ein geschirmtes Signalkabel.

### **Hub Measurement Unit (HMU)**

In der HMU werden die Sensorsignale in der Nabe erfasst, kalibriert und gefiltert. Anschließend werden die so aufbereiteten Signale als kontinuierlicher Datenstrom über WLAN an die ECU weiter geleitet.

### **Evaluation and Communication Unit (ECU)**

In der ECU werden die durch die HMU bereitgestellten Messdaten in Spektren umgewandelt und mit definierten Algorithmen analysiert. Die Messdaten wie auch die Spektren werden auf der ECU für eine definierte Zeit gespeichert. Die ECU baut selbsttätig eine Kommunikation zum Datenbankserver (DBS) im Monitoring Center auf und sendet dabei periodisch eine definierte Auswahl an Daten an den DBS.

Einen weiteren Kommunikationspfad unterhält die ECU mit der Anlagensteuerung (s. Kap. 2.2). Von dort bekommt sie zeitaktuelle Daten zum aktuellen Betriebspunkt der Anlage (z.B. Leistung, Pitchwinkel, Windgeschwindigkeit), welche für eine Ermittlung der momentanen Blattlast notwendig sind. Zurück an die Steuerung sendet die ECU einen Statusvektor, der neben Informationen zur momentanen eigenen Betriebsfähigkeit auch Warn- und Alarmerückmeldungen an die Anlagensteuerung enthält.

Das System startet bei Anschalten an die Spannungsversorgung bzw. bei Wiederherstellung der Versorgung nach einem Ausfall automatisch. Dabei bleiben alle relevanten Informationen im remanenten Speicher erhalten.

## **1.4 Leistungskurvenverfahren SLPC**

Das Messprinzip der Eiserkennung aus der Leistungskurve basiert auf der Änderung der aerodynamischen Eigenschaften der Blattprofile durch Eisansatz, welcher sowohl die Oberflächenrauigkeit als auch die Geometrie des Rotorblattes so verändert, dass es zu einem signifikanten Verlust an aerodynamischer Leistungsfähigkeit kommt. Theoretisch ist die Eiserkennung aus Messwerten im Produktionsbetrieb in der Lage, bereits eine erhöhte Rauigkeit der Oberfläche durch Raureif zu erkennen. Diese Aussage wird gestützt durch Veröffentlichungen wie /25/, in welcher ein hoher Verlust an Auftrieb bereits bei leichter Vereisung messtechnisch gezeigt wird. Der einzustellende Schwellenwert ist deshalb so zu wählen, dass Fehldetektionen und somit unnötige Abschaltungen der WEA vermieden werden.

Der Kern des leistungskurvenbasierten Eiserkennungssystems ist ein in der Steuerung der Anlage implementierter Algorithmus, der aus gemessenen Signalen (Drehzahl, Rotorblattwinkel, Windgeschwindigkeit) eine theoretische Leistung bildet und das Ergebnis mit der tatsächlichen Leistung vergleicht. Weichen theoretische und gemessene Leistung zu stark voneinander ab, führt dies, dort wo es gefordert ist, zum Abschalten der Anlage /13/.

Um eine möglichst akkurate Leistungskurve zu verwenden ist das System selbstlernend und aktualisiert die vorgegebene Leistungskurve im Eisfreien betrieb permanent /10/.

## 1.5 Labkotec Eissensor

Bei dem Labkotec L1D-3300IP handelt es sich um einen Eis-Detektor auf Ultraschallbasis. Er besteht aus der Steuereinheit die in der Gondel angebracht werden kann und einem LID/ISO Eissensor /12/. Die Eisabtastung basiert auf einem Ultraschallverfahren. Die Stärke des Ultraschallsignals wird abgeschwächt, sobald sich auf dem Sensordraht Eis bildet. Nach Vereisung wird der Sensor elektrisch beheizt um das Eis abzutauen. Der LID-3300IP bildet im Gegensatz zu den indirekten Verfahren über die bestehende Anlagensensorik eine optionale, Möglichkeit der Eiserkennung, unabhängig von der Windgeschwindigkeit.

Da der Sensor auf dem Gondeldach positioniert ist, wird die Vereisung des Rotorblatts jedoch nicht direkt detektiert.



## **2 Sicherheitstechnik der GE Windenergieanlagen**

### **2.1 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem**

Das Betriebsführungs- und Sicherheitssystem der GE Cypress WEA wurde vom Verfasser im Rahmen der Anlagenzertifizierung auf Übereinstimmung mit den Anforderungen der IEC 61400-1 ed.3 von 2005 geprüft. Die Anforderungen an das Betriebsführungs- und Sicherheitssystem werden erfüllt. Als übergeordnete Anforderung wird in der Richtlinie für sicherheitsrelevante Funktionen eine Einzelfehlersicherheit gefordert. D.h., ein beliebiger Fehler darf nicht zum Versagen der Sicherheitsfunktion führen. Dieser Maßstab ist auch in Bezug auf die sichere Abschaltung der WEA bei kritischem Eisansatz anzusetzen. Im Folgenden wird dieses jedoch erst ab Signalausgang des Eiserkennungssystems, also nicht für das eigentliche Eiserkennungssystem, sondern für die Weiterverarbeitung des Signals im WEA-Betriebsführungssystem bewertet.

### **2.2 Einbindung der Eiserkennungssysteme in die GE-Anlagensteuerung**

Die drei Eiserkennungssysteme sind wie in Abbildung 2 zu erkennen hierarchisch angeordnet, wobei BLADEcontrol das primäre System darstellt und die höchste Priorität hat und der Labkotec Eissensor die niedrigste. Die Systeme sind nicht gleichzeitig aktiv. SLPC und Labkotec werden bei Ausfall oder Inaktivität des jeweils höher priorisierten Systems aktiviert. Eine zu geringe Anregungswindgeschwindigkeit  $< 3$  m/s bzw. daraus resultierende fehlende Leistungsproduktion wird hierbei als Inaktivität gewertet. In diesem Fall wird das windgeschwindigkeitsunabhängige Lakotec System aktiv. Dadurch wird die Ausfallsicherheit der gesamten Eiserkennung erhöht und sichergestellt, dass eine Eiserkennung auch bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten funktioniert. Steht keines der Eiserkennungssysteme zur Verfügung wird die Anlage bei Unterschreitung des Temperaturschwellwerts abgeschaltet /10/.

Da die Eiserkennungssysteme unabhängig voneinander agieren werden sie im Folgenden auch separat betrachtet, wobei der Fokus auf BLADEcontrol, dem primären Eiserkennungssystem, liegt.

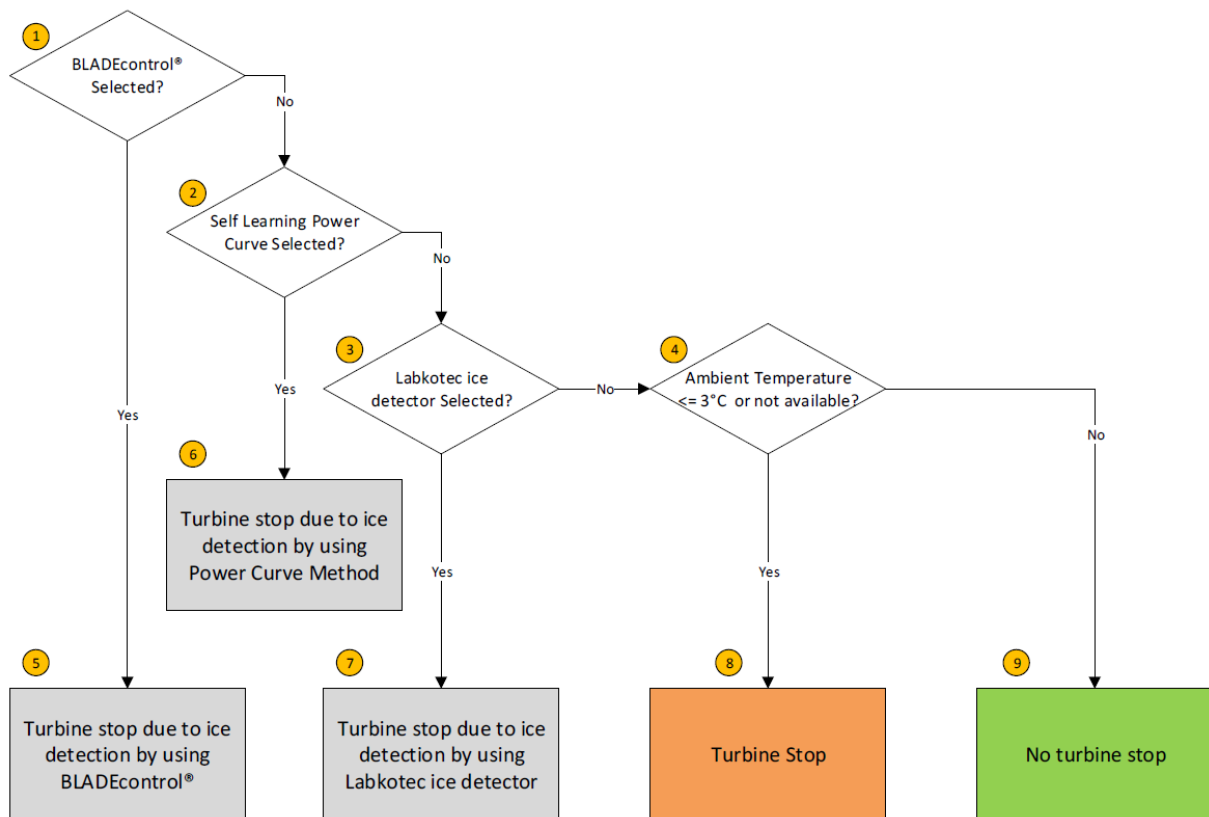


Abbildung 2: Logik der Verbundenen Eiserkennungssysteme

### 2.2.1 Einbindung BLADEcontrol

Die von BLADEcontrol generierten Signale werden in das Betriebsführungssystem der WEA eingelesen. Der Statusvektor von der ECU fasst die aktuellen Analyseergebnisse und den Zustand von BLADEcontrol in binärer Form (0/1) zusammen und wird über eine Schnittstelle als Antwort auf Anfrage dem Betriebsführungssystem mitgeteilt. Die Alarmierung erfolgt somit in jedem Fall direkt und nicht, wie ebenfalls möglich, nur indirekt über Email / SMS an Personen.

In der Anlagensteuerung werden die in Abbildung 2 dargestellten Analyseergebnisse von der ECU im Sekundentakt abgefragt und in Form von Bits zur Verfügung gestellt. Es werden die in Bezug auf die Eiserkennung wesentlichen Bits abgefragt.

Folgende externe Größen müssen dem Messsystem zur Verfügung stehen:

- grundsätzlich erforderlich:

- (a) die aktuell erzeugte Leistung der WEA
- (b) der Pitch-Winkel

- optional:

- (c) die Windstärke,
- (d) der Betriebsstatus der WEA (z.B. bei Wartungsarbeiten),
- (e) die Außentemperatur,
- (f) der Azimutwinkel der WEA

Die optionalen Werte, die von der GE WEA Steuerung an die ECU übergeben werden, verbessern die Funktionsweise dahingehend, dass Tests auf Plausibilität möglich sind. Insbesondere die Einbeziehung des Betriebsstatus der WEA verhindert Fehlalarme z.B. bei Maschinenstopp oder „Notaus“.

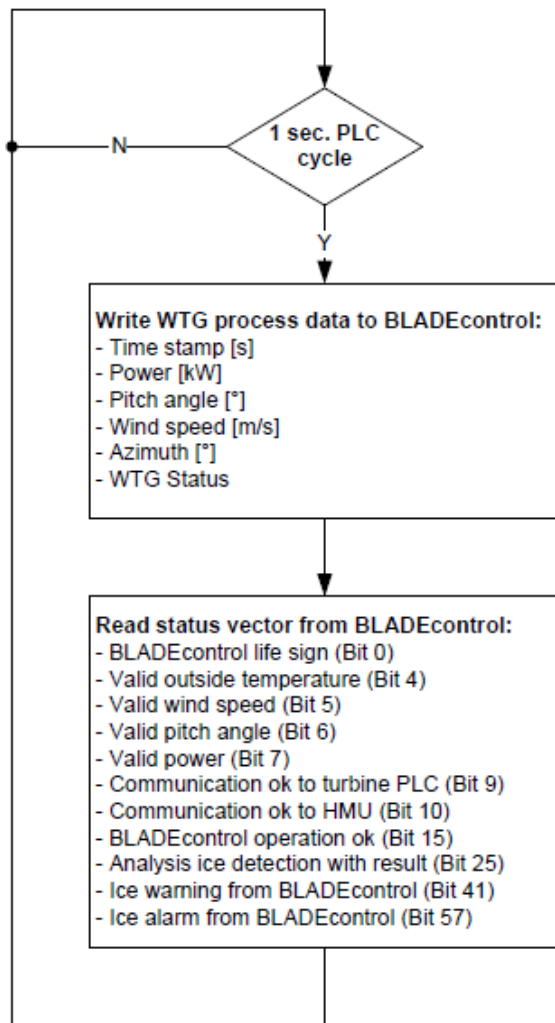


Abbildung 3: Kommunikation ECU und Betriebsführung

Die Funktion des Eiserkennungssystems, d.h. die Betriebs- und Kommunikationsfähigkeit, wird vom System selbst ständig überwacht. Sofern diese nicht bestätigt werden kann, wird über die Status Meldung SM489 („BLADEcontrol icing analysis missing“) ausgegeben und die Eiserkennung wird durch eines der anderen Systeme durchgeführt.

Status Messages				
No	Description	Reset-Type	Braking Procedure	Priority
489	BLADEcontrol icing analysis missing	A	2	Information
490	BLADEcontrol ice detection warning	L/R	0	Warning
491	BLADEcontrol ice detection alarm	L/(A)	2	Information
492	BLADEcontrol communciation warning	L/R/A	0	Warning
493	BLADEcontrol communciation alarm	L/R/A	2	Fault

#### Tabelle 2.1 Status Meldungen BLADEcontrol

In Bezug auf die Meldung der Vereisung und die Kommunikationsbereitschaft gibt es drei Zustände:

1. Kein Alarm
2. Voralarm / Warnung (Warnschwelle überschritten)
3. Alarm (Alarmschwelle überschritten).

Eine Abschaltung der WEA mit Bremsprogramm 2 erfolgt erst bei anstehendem Signal „ice detection alarm“. Bei einer Warnungen erfolgt hingegen keine Abschaltung, die WEA verbleibt mit einer entsprechenden Statusmeldung im Betrieb bzw. in Bereitschaft.

Die Stufe „communication warning“ bzw. Statusmeldung SM492 ist ausschließlich bei Außentemperaturen oberhalb der parametrierbaren Eiserkennungstemperatur (P48.18) möglich, sobald die Temperatur darunter sinkt, wird aus der Warnung automatisch ein Alarm.

In Abbildung 4 ist die Logik des Betriebsführungssystems in Bezug auf die Abschaltung bei Eiserkennung durch BLADEcontrol dargestellt.

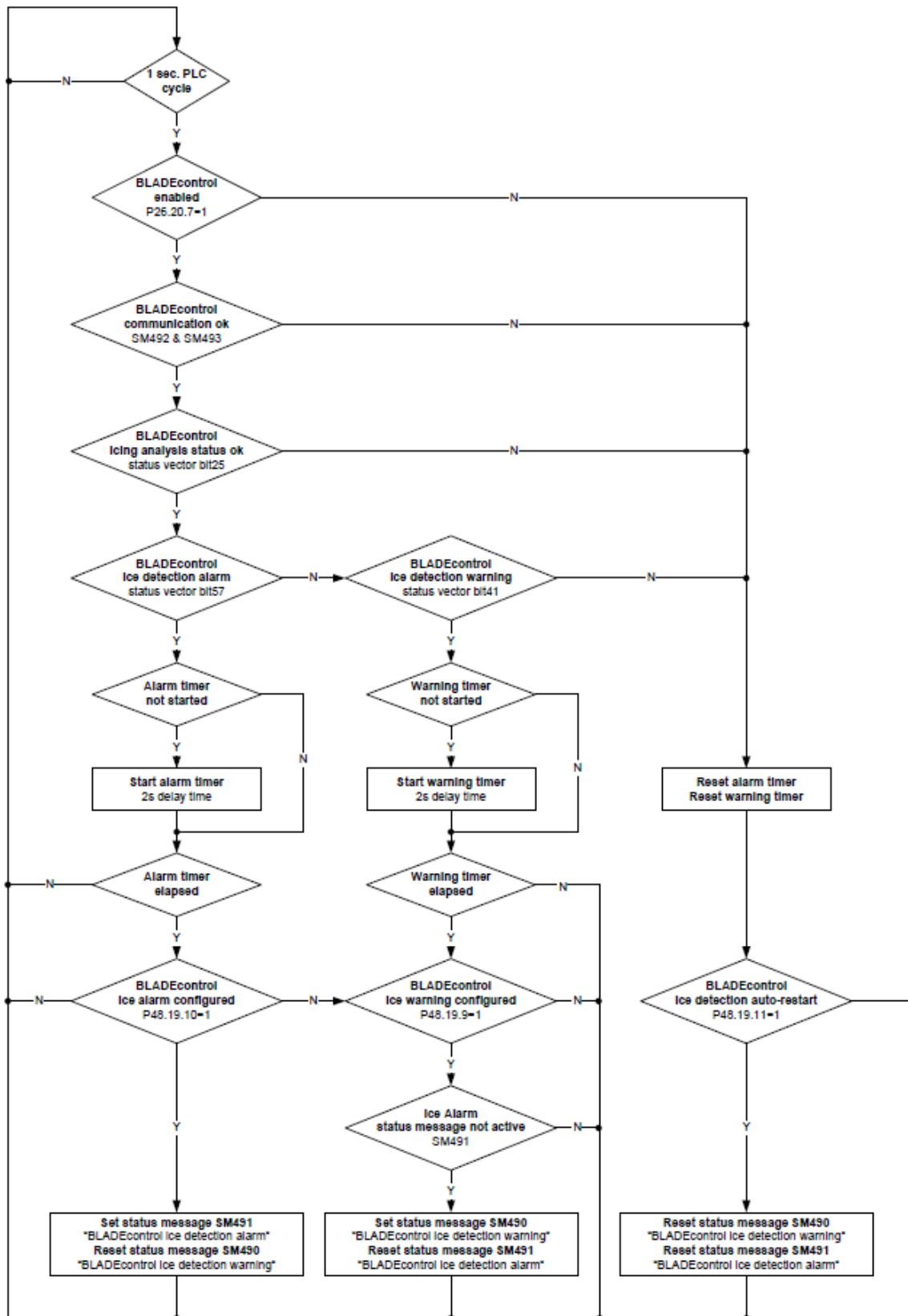


Abbildung 4: Logik BLADEcontrol Eiserkennung im BFS

Die Funktion der Anlagensteuerung selbst wird wiederum vom unabhängigen Sicherheitssystem der WEA überwacht („Watchdog“). Bei einem Ausfall des Betriebsführungssystems schaltet das hierarchisch übergeordnete Sicherheitssystem die WEA sicher ab.

### 2.2.2 Einbindung SLPC

SPLC ist ein Anlageneigenes System und direkt in die Anlagensteuerung integriert. Die von den Sensoren erfassten Messgrößen werden vom BFS mit der hinterlegten Leistungskurve verglichen. Bei Vorliegen eines Eisalarms (SM373) wird die WEA von der Betriebsführung gestoppt und verbleibt bis zum Reset im Stop Modus.

Folgende externe Größen müssen dem System zur Verfügung stehen:

- (a) die aktuell erzeugte Leistung der WEA
- (b) die aktuelle Windgeschwindigkeit
- (c) der Pitch-Winkel

In Abbildung 5 ist die Logik des Betriebsführungssystems in Bezug auf die Abschaltung bei Eiserkennung durch SLPC dargestellt.

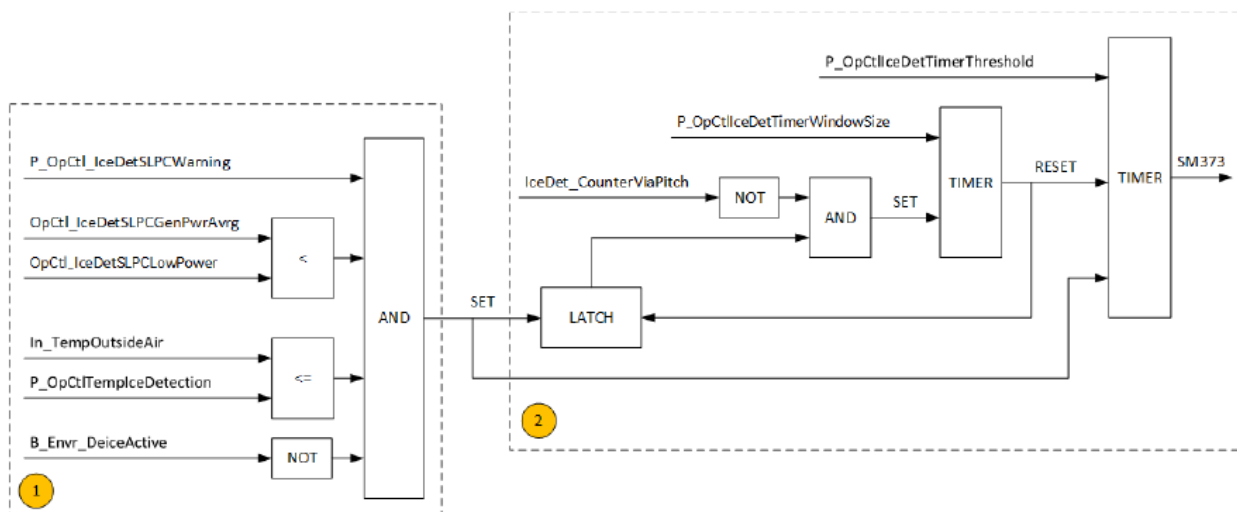


Abbildung 5: Logik Eisalarm SLPC

1. Bedingungen Aktivierung der Eisalarmlogik (2)
2. Wenn die in (1) definierten Bedingungen in einem Zeitraum von P\_OpCtl\_IceDetSLPCTimeWSIZE Stunden für P\_OpCtlIceDetTimerThreshold Stunden vorliegen wird ein Eisalarm SM 373 ausgegeben und die WEA abgeschaltet.

### 2.2.3 Einbindung Labkotec

Die von Labkotec generierten Signale werden in das Betriebsführungssystem der WEA eingelesen. Der Labkotec Sensor benötigt keine Eingangsdaten von der WEA.

Bei Vorliegen eines Eisalarms (SM172) wird die WEA von der Betriebsführung gestoppt und verbleibt bis zum Reset im Stop Modus.

In Abbildung 6 ist die Logik des Betriebsführungssystems in Bezug auf die Abschaltung bei Eiserkennung durch Labkotec dargestellt.

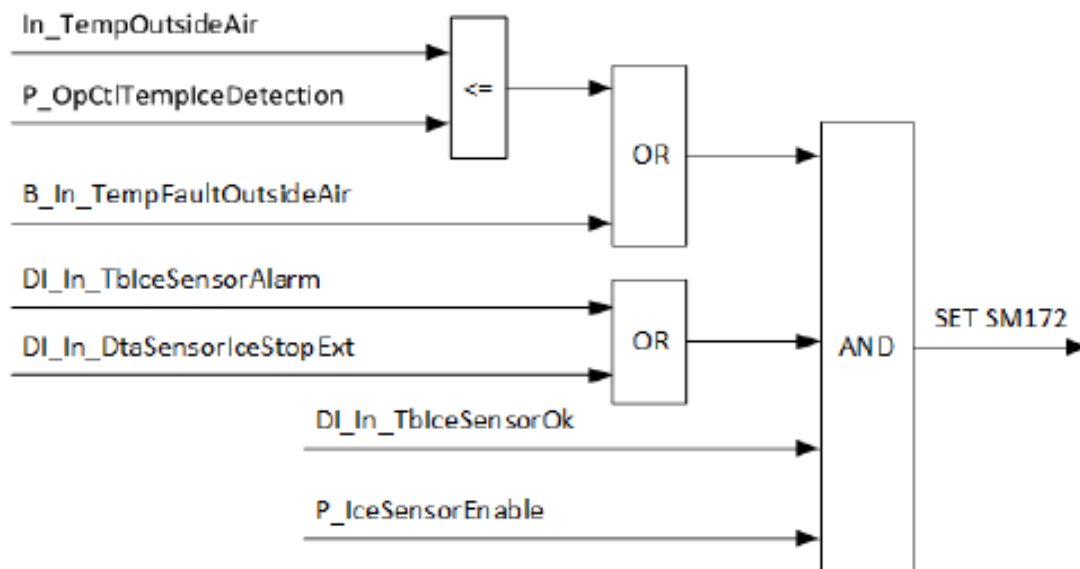


Abbildung 6: Logik Eisalarm Labkotec

## 2.3 Einbauverfahren und Inbetriebnahme

### 2.3.1 BLADEcontrol

Die Montage von BLADEcontrol erfolgt entweder durch den Hersteller der Windenergieanlage, einen autorisierten Fachbetrieb oder durch die Weidmüller Monitoring Systems GmbH. Der finale Einbau des BLADEcontrol Eiserkennungssystems erfolgt vor Ort an der vollständig errichteten WEA. Zum Teil erfolgt eine Montage bspw. der Sensoren in den Blättern schon vorab, um den Aufwand vor Ort zu reduzieren. Das Einbauverfahren ist für alle Komponenten des Systems detailliert in der generischen Installationsanleitung /7/ beschrieben. Die Randbedingungen und Montagevoraussetzungen sind definiert.

Nach Installation und Anschluss aller Komponenten erfolgt im Rahmen der Inbetriebnahme des Systems eine systematische Funktionsprüfung /7/. Die ordnungsgemäße Funktion des Gesamtsystems wird mit Hilfe eines Testprogramms auf einem Laptop geprüft und dokumentiert. In diesem Rahmen werden die Signale des BLADEcontrol Systems (wie BLADEcontrol Ready, Eis-Voralarm, Eis-Alarm) im BLADEcontrol System simuliert und die Reaktion der WEA geprüft. Die Signalerfassung und Weiterverarbeitung im BLADEcontrol System wird durch Anregung der Sensoren mit einem Hammer geprüft.

Dieses Testverfahren prüft nur die Funktion des Eiserkennungssystems und nicht die ordnungsgemäße Reaktion der WEA. Im Rahmen der Inbetriebnahme der WEA wird daher zusätzlich die Anbindung und Reaktion des Betriebsführungssystems geprüft. Die Funktionalität der Meldekette wird durch einen erfolgreich durchgeführten Abschalttest und ein entsprechendes Inbetriebnahmeprotokoll nachgewiesen /9/.

### 2.3.2 SLPC

SLPC verwendet die Anlagensensorik und muss daher nicht separat installiert werden. Die Inbetriebnahme erfolgt entsprechend den jeweiligen Inbetriebnahme-Handbüchern.

### 2.3.3 Labkotec

Der Labkotec Eissensor wird als Kompletต์modul geliefert und entsprechend der Installationsanweisungen auf der Gondel montiert und einem Funktionstest unterzogen /12/.

## 2.4 Parametrierung

### 2.4.1 Parametrisierung BLADEcontrol

BLADEcontrol bietet hinsichtlich der Alarmierung die Möglichkeit voreingestellte Grenzwerte auf die einzelnen WEA anzupassen. Die Parameter können nur von authentifiziertem und dafür autorisiertem Personal verändert werden. Dazu muss sich der Mitarbeiter auf dem Datenbackupserver mit seinem Login anmelden. Sämtliche Anpassungen werden hinsichtlich Login, Datum und Uhrzeit und Veränderung geloggt. Die veränderten Parameter werden daraufhin auf die ECU übertragen.

Für die folgenden von GE vorgesehenen Kombinationsmöglichkeiten sind die Parameter wie folgt einzustellen /8/:

- a. BLADEcontrol aktiv
- b. Eisalarm mit Abschaltung der Turbine (SM491)
- c. BLADEcontrol Kommunikationsfehler führt zur Abschaltung der Turbine (SM493)
- d. Automatischer Wiederanlauf deaktiviert/aktiviert

Parameter			
No.	Description	Unit	Value
26.20 Bit 7	Enable BLADEcontrol	-	1
26.20 Bit 8	Turbine shutdown due to BLADEcontrol communication alarm	-	1
48.19 Bit 10	BLADEcontrol CBM system ice detection alarm	-	1
48.19 Bit 11	BLADEcontrol CBM system ice detection auto-restart	-	0/1

Tabelle 2.2 Parametereinstellungen BLADEcontrol

Der Parameter 48.18 bestimmt die max. Temperatur für die Eiserkennungsfunktion. Dieser Wert ist nach /6/ auf 3°C einzustellen. Sofern erforderlich, lässt sich dieser Wert auch auf bspw. 5°C einstellen. Oberhalb dieser Temperatur erfolgt keine Abschaltung bei anstehendem Signal „Eisalarm“, da von einer Fehldetektion ausgegangen wird.

Der Parameter 48.19 Bit 11 bestimmt ob ein automatisches Anfahren durch BLADEcontrol aktiviert ist.

### 2.4.2 Parametrisierung SLPC

SLPC bietet hinsichtlich der Alarmierung die Möglichkeit voreingestellte Grenzwerte auf die einzelnen WEA anzupassen. Die Anlagenspezifische Leistungskurve selbst kann nicht beeinflusst werden.



Für die folgenden von GE vorgesehene Kombinationsmöglichkeit sind die Parameter wie folgt einzustellen /10/:

- a. Eisalarm durch SLPC aktiv
- b. Maximale Temperatur für Eisdetektion durch SLPC
- c. Timer wie lange Warnungen summiert werden für einen Alarm
- d. Timer wie lange Warnungen des Systems vorliegen müssen bis Eisalarm gesetzt wird

Parameter			
No	Description	Unit	Value
P1756	Activation ice detection warning message (SM373)	N/A	<b>Boolean</b>
P48.18	Maximum temperature ice detection	°C	<b>3</b>
P890	Length of the time window to analyze Ice detection by Low Power occurrence	h	<b>4</b>
P891	Time of Ice Detection to trigger Ice Detection by Low Power	h	<b>0,25</b>

Tabelle 2.3 Parametereinstellungen SLPC

### 2.4.3 Parametrisierung Labkotec Eissensor

Der Labkotec Eissensor bietet nur eingeschränkte Möglichkeiten zur Parametrisierung. Die Sensoren werden im Werk voreingestellt.

Für die folgenden von GE vorgesehenen Kombinationsmöglichkeit sind die Parameter wie folgt einzustellen /10/:

- a. Maximale Temperatur für Eisdetektion durch Labkotec
- b. Eisalarm durch Labkotec Sensor aktiv

Parameter			
No	Description	Unit	Value
P48.18	Maximum temperature ice detection	°C	<b>3</b>
P26.03.08	Ice sensor enable	N/A	<b>Boolean</b>

Tabelle 2.4 Parametereinstellungen Labkotec

## 2.5 Wiederkehrende Prüfungen

Das Eiserkennungssystem BLADEcontrol ist aufgrund seiner Systemgestaltung sowie der Eigendiagnosefunktionen wartungsfrei. Störungen des Systems werden mittels seiner Eigendiagnosefunktionen der WEA-Steuerung über die jeweilige Schnittstelle und dem Monitoring-Center über die jeweilige Datenanbindung automatisch angezeigt. Aus

dem Monitoring Center heraus kann über die bestehende Datenanbindung eine detaillierte Fehlereingrenzung und Maßnahmenableitung erfolgen.

Das SLPC Eiserkennungssystem besteht aus der Anlageneigenen Sensorik. Zur dauerhaften Sicherstellung des Betriebs der Eiserkennung müssen die relevanten Sensoren, sowohl bei der Inbetriebnahme als auch im Betrieb wiederkehrend auf ihre Funktion überprüft werden.

Der Labkotec Eissensor ist aufgrund seiner Systemgestaltung sowie der Eigendiagnosefunktionen wartungsfrei. Entsprechend der Anleitung /12/ werden im Rahmen der jährlichen Anlagenwartung Inspektionen und Tests durchgeführt.

## 2.6 Vermeidung des Anfahrens bei Vereisung

Das Wiederanfahren der WEA nach Abschaltung aufgrund von Vereisung darf nur unter der Voraussetzung der Eisfreiheit geschehen. Grundsätzlich sind hierzu je nach Parametrierung (vgl. Kap. 2.4) zwei verschiedene Verfahren möglich:

1. Local Reset; Wiederanfahren nur nach Freigabe durch eine autorisierte Person vor Ort
2. Auto Reset / restart; das automatische Wiederanfahren der WEA erfolgt bei Signal „Eisfrei“

Ein Wiederanfahren nach einem Remote Reset über das Netzwerk ist dagegen nicht möglich, s. Abbildung 7.

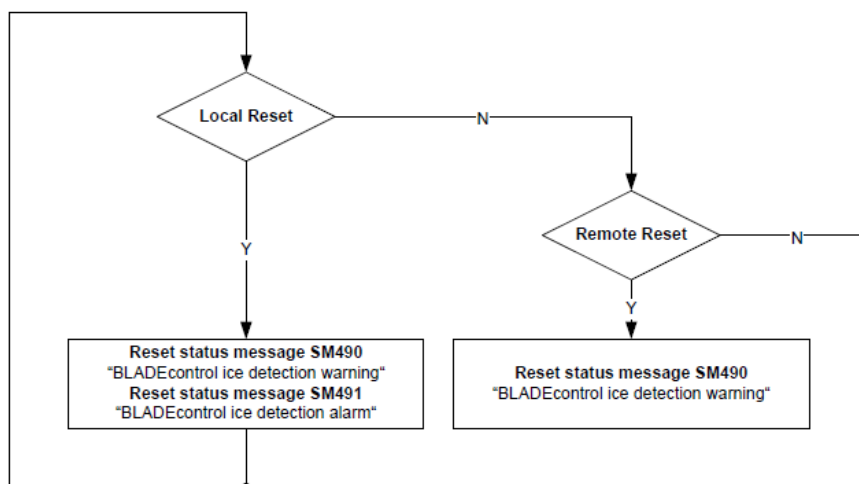


Abbildung 7: Freigabelogik nach Abschaltung durch Eisansatz

Die manuelle Freigabe nach Sichtprüfung auf Eisfreiheit durch eine geschulte und autorisierte Person vor Ort ist übliche Praxis und als ausreichend sicher zu bewerten.

Unter der Voraussetzung, dass das BLADEcontrol Eiserkennungssystem kritischen Eisansatz zuverlässig erkennt, ist ein automatisches Wiederanfahren als sicher zu bewerten. Die Zuverlässigkeit des Eiserkennungssystems ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens.

Das automatische Anfahren durch die beiden anderen Eiserkennungssysteme ist nicht vorgesehen und wird daher hier nicht bewertet /13/.

### 3 Bewertung

Bei einem anstehenden Signal „Eisalarm“ vom aktiven Eiserkennungssystem wird die WEA automatisch vom Betriebsführungssystem abgeschaltet. Die Eiserkennungssysteme BLADEcontrol, SLPC und Labkotec sind für die untersuchten GE WEA kompatibel mit dem Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems und die Einbindung in das Betriebsführungssystem erfolgt unter Berücksichtigung der definierten erforderlichen Schnittstellen.

Die Eiserkennungssysteme erfüllen das für diese Systeme maßgebliche Einzelfehlerkriterium insofern, als dass bei einer Störung oder nicht bestätigter Bereitschaft eines der Eiserkennungssysteme nicht zu einem Ausfall der WEA-Eiserkennung führt. Die Frage der zuverlässigen Erkennung von kritischem Eisansatz am Rotorblatt wurde an dieser Stelle nicht bewertet.

Durch die Einbindung des Labkotec-Systems in Verbindung mit der von GE gewählte Verknüpfung mit den anderen Systemen ist eine Eiserkennung in jedem Windgeschwindigkeitsbereich möglich. Im Fall niedriger Windgeschwindigkeit ist die Erkennung auf das Vereisungspotential auf der Gondel beschränkt.

Die Parametrierung der Anlage erfolgt soweit notwendig im Rahmen der geregelten Inbetriebnahme und darf nur von autorisierten und dafür ausgebildeten Mitarbeitern vorgenommen werden.

Das vorgesehene Verfahren des Wiederanfahrens nach Vereisung durch Sichtprüfung vor Ort wird als ausreichend sicher bewertet. Unter der Voraussetzung, dass das BLADEcontrol Eiserkennungssystem kritischen Eisansatz zuverlässig erkennt, ist ein automatisches Wiederanfahren ebenfalls als sicher zu bewerten. Für die Eiserkennung durch SLPC sowie Labkotec Sensor ist das automatische Anfahren nicht zulässig.

Erstellt

Freigabe

Dipl.-Ing. L. Klüppel

Dipl.-Ing. O. Raupach

## 4 Dokumente und Literaturverzeichnis

### 4.1 Bewertete Dokumente

- /1/ Weidmüller Monitoring Systems GmbH  
BLADEcontrol Rotorblatt Condition Monitoring System  
Dokumentation zur Zertifizierung, Teil 1: Systembeschreibung, Rev. 6
- /2/ Weidmüller Monitoring Systems GmbH  
BLADEcontrol Rotorblatt Condition Monitoring System  
Dokumentation zur Zertifizierung  
Teil 2: Funktionsbeschreibung zur Zustandsüberwachung, Rev. 4,
- /3/ Weidmüller Monitoring Systems GmbH  
BLADEcontrol Rotorblattüberwachung für Windenergieanlagen  
Betriebsanleitung, WTD-21751-001\_Betriebsanleitung\_N\_DE\_161111
- /4/ BLADEcontrol Eisdetektor  
Dokumentation zur Zertifizierung des Systems BLADEcontrol durch den Germanischen Lloyd, TD-21690-011\_N\_DE\_121114, Rev. 3
- /5/ Weidmüller Monitoring Systems GmbH  
Inbetriebnahme BLADEcontrol  
WAA-21750-003, 2016-11-25
- /6/ GE Energy  
Ice Detection Features; Control Logic  
Ice Detection Control Logic, Rev03, Datum: 2018-05-30
- /7/ Rexroth Bosch Group  
BLADEcontrol, Installation and Commissioning,  
generic version, V1.1\_2014-07-09
- /8/ GE Power & Water  
Email von Christoph Schulten an Oliver Raupach, 2014-10-24
- /9/ GE Power & Water  
Email von Martin Essing an Oliver Raupach, 2014-10-24
- /10/ GE Wind Energy  
Redundant Ice Detection, Revision 1.4, 2021-02-08
- /11/ Labkotec  
LID-3300IP Technische Daten
- /12/ Labkotec  
Ice Detector LID-3300IP installation and maintenance  
DOC001252-0, Datum: 23.11.2015

/13/ GE Renewable Energy  
Technische Dokumentation Windenergieanlagen Eisdetektion, 2018

## 4.2 Literatur & Quellen

- /14/ DIN 1055-5. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten. Juli 2005.
- /15/ DIBt. Muster – Liste der Technischen Baubestimmungen. Berlin. Fassung September 2013.
- /16/ VTT Technical Research Centre of Finland. State-of-the-art of wind energy in cold climates. VTT WORKING PAPERS 152. ISBN 978-951-38-7493-3. 2010.
- /17/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /18/ DIN 1055-5. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten. Juli 2005.
- /19/ Seifert, H. Technische Ausrüstung von Windenergieanlagen an extremen Standorten. Wilhelmshaven. 2002.
- /20/ Seifert, H., Richert, F. A recipe to estimate aerodynamics and loads on iced rotor blades, Boreas IV. Hetta, Finland, 1998.
- /21/ Seifert, H. Technical requirements for rotor blades operating in cold climates Boreas VI. Pyhä, Finland, 2003.
- /22/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /23/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Fassung Oktober 2012.
- /24/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.
- /25/ NASA: Ice Accretions and Icing Effects for Modern Airfoils, April 2000