

Restricted
Dok.-Nr.: 0073-0897V00
11.08.2017

Allgemeine Beschreibung Vestas Anti-Icing System (VAS)



Inhaltsverzeichnis

1	Referenzen	2
2	Abkürzungen und Akronyme	2
3	Allgemeine Beschreibung	3
4	Betrieb des Vestas Anti-Icing Systems	5
4.1	Aktivierung des VAS	5
4.2	Betriebsablauf.....	6
5	Leistung des Vestas Anti-Icing Systems.....	7
5.1	Bauweise des Heizsystems des Vestas Anti-Icing Systems.....	7
5.2	Klimatische Betriebsbedingungen des Vestas Anti-Icing Systems	8
5.3	Berichterstattung VAS-Betrieb	10
6	Genehmigungen und Auslegungskriterien	10
7	Allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse.....	11

1 Referenzen

Ref.	Dokumententitel
-	n. z.

2 Abkürzungen und Akronyme

Abkürzung oder Akronym	Definition
ETH	Electro-thermal Heating (Elektro-thermische Heizung)
LWC	Liquid water content (Flüssigwassergehalt)
Mk	Mark-Version
n. z.	Nicht zutreffend
Nr.	Nummer
PCID	Power Curve Ice Detection (auf Leistungskurve basierende Eiserkennung)
Ref.	Referenzen
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (System zur Prozesssteuerung und Datenerfassung)
VAS	Vestas Anti-Icing System (Anti-Vereisungssystem)
WEA	Windenergieanlage

3 Allgemeine Beschreibung

Das Vestas Anti-Icing-System™ (VAS) ist ein vollständig integriertes Windenergieanlagensystem, das entwickelt wurde, um die Eisbildung auf den Rotorblättern von Windenergieanlagen zu verhindern und Eis aktiv zu entfernen. Das VAS beheizt gezielt bestimmte Bereiche des Rotorblatts, um Eisansatz zu verhindern und Eis zu entfernen, wenn das System aktiviert ist. Dadurch wird die Beeinträchtigung der aerodynamischen Leistung des Rotorblatts und die daraus resultierende suboptimale Energieerzeugung durch die Windenergieanlage (WEA) eingeschränkt.

Das VAS besteht aus:

- Einer Vielzahl an elektro-thermischen Hezelementen (ETH), die in bestimmten Bereichen des Rotorblatts im Laminat der Außenhaut eingebettet sind (siehe Abbildung 1).
- Die Steuerung der ETH-Elemente erfolgt über die Anlagensteuerung der WEA. Diese erkennt die jeweiligen ETH-Elemente und schaltet sie in Abhängigkeit vom Ausmaß der Vereisungsbedingungen ein.
- Das Steuerungsverfahren bietet die Möglichkeit, bei Bedarf die volle Leistung in bestimmten Heizbereichen zu bündeln.
- Das VAS wird automatisch aktiviert, wenn eine Beeinträchtigung der WEA-Leistung (Abfall der Leistungskurve) erkannt wird und wenn bestimmte Umweltbedingungen (z. B. kalte Temperaturen) herrschen. In diesen Fällen wird ein Signal an die Windenergieanlage übermittelt, damit das Heizsystem aktiviert wird. Für bestimmte betriebliche Anforderungen ist eine manuelle Aktivierung vorgesehen.
- Das System läuft während die WEA in Betrieb ist und während sich die Rotorblätter drehen im sogenannten Anti-Vereisungsmodus. Unter schwierigsten Bedingungen wird die WEA angehalten und der Heizvorgang erfolgt bei stillstehendem Rotor im sogenannten Enteisungsmodus.
- Die benötigte Energie wird von der Windenergieanlage durch ein Energieübertragungssystem zwischen Maschinenhaus und Nabe bereitgestellt, das die ETH-Elemente bei sich drehendem oder stillstehendem Rotor mit Energie versorgt.
- Die Steuerung und Überwachung des VAS ist vollständig in die Steuerung der Windenergieanlage integriert. Die Sicherheitsüberwachungsfunktionen laufen parallel im Dauerbetrieb um sicherzustellen, dass das VAS im Rahmen der entsprechenden Heiz- und Umgebungsgrenzwerte arbeitet.

Abbildung 2 bietet eine schematische Übersicht über die Integration des VAS in Windenergieanlagen vom Typ 3 MW Mk 3.

Die spezifischen Betriebs- und Leistungsdaten für die jeweilige Windenergieanlage und Produktvariante werden in den entsprechenden Anhängen des vorliegenden Dokuments detailliert aufgeführt.

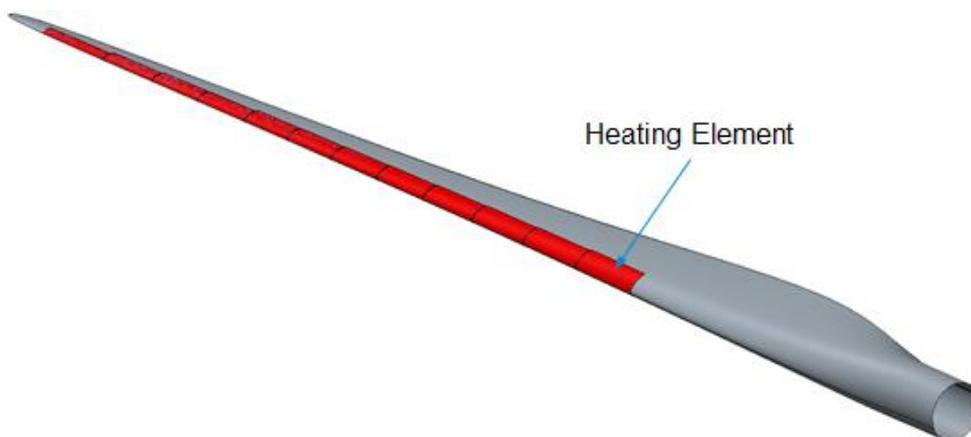


Abbildung 1 – Gezielt beheizbarer Bereich des Rotorblatts

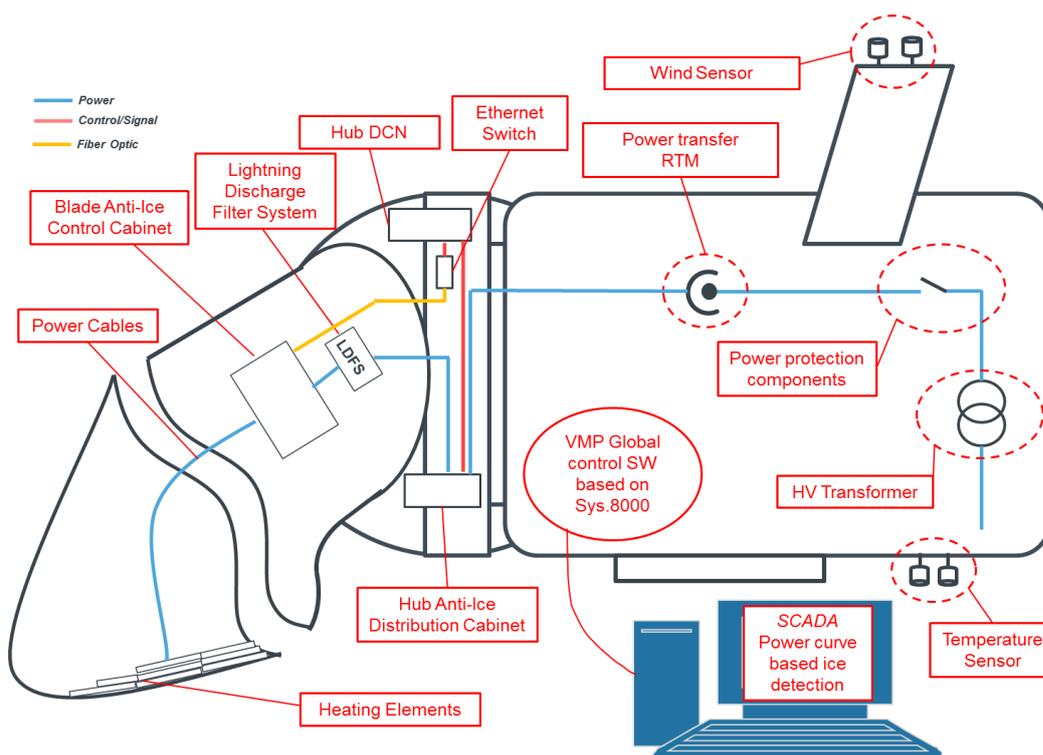


Abbildung 2 – Schematische Darstellung einer Windenergieanlage vom Typ 3 MW Mk 3 mit integriertem VAS

4 Betrieb des Vestas Anti-Icing Systems

4.1 Aktivierung des VAS

Das VAS wird durch den Einsatz einer auf der Leistungskurve basierenden Eiserkennung (PCID) ausgelöst und verfügt über eine Zusatzoption für die manuelle Aktivierung durch den Bediener.

Die PCID ist ein Software-Algorithmus, der im VestasOnline® System zur Prozesssteuerung und Datenerfassung (SCADA) angesiedelt ist. Dieses vergleicht die aktuelle Leistung der WEA mit einer nominalen Referenzleistungskurve, die von Vestas übermittelt wird, mit den Umgebungsbedingungen (z. B. Temperatur und Windgeschwindigkeit) sowie mit allgemeinen Protokolldaten der WEA.

Die Referenzkurve ist so konfiguriert, dass sie der individuellen Leistung der Windenergieanlage entspricht und beruht auf Daten aus eisfreien Zeiträumen.

Wird ein Abfall der WEA-Leistung im Vergleich zur Referenzleistungskurve festgestellt, wird ein Aktivierungsbefehl an die WEA gesendet. Diese Funktion kann sowohl aktiviert als auch deaktiviert werden. Ist die Funktion deaktiviert, kann das Auslösesignal manuell aktiviert und vom SCADA an die WEA gesendet werden.

Abbildung 3 zeigt eine Referenzleistungskurve (schwarze Linie) für einen bestimmten Windgeschwindigkeitsbereich. Die grünen Punkte stellen einen Datenpunkt für eine Zeiteinteilung der Energieerzeugung dar. Als Vergleich der Datenpunkte mit der Referenzleistungskurve für die jeweilige Windgeschwindigkeit dient die Leistungskurvenkennzahl (PCR, Power Curve Ratio). Je stärker die Energieerzeugung vom Referenzwert nach unten abweicht, desto niedriger ist die PCR.

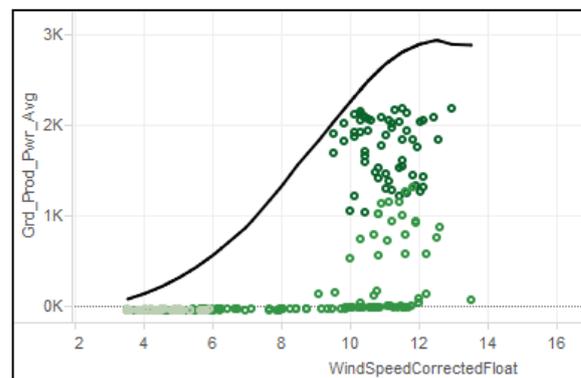


Abbildung 3 – Schematische Darstellung einer Leistungskurve

Das VAS kann nur dann automatisch aktiviert werden, wenn die Bedingungen in Tabelle 1 (in Nabenhöhe gemessen, basierend auf 10-Minuten-Durchschnittswerten) erfüllt sind:

Tabelle 1 – Umgebungsbedingungen für die Aktivierung des Heizsystems

Betrieb	Bedingungen	Max.	Minimum
Auslösen des Anti-Vereisungsmodus	Umgebungstemperatur	+7 °C	-25 °C
	Windgeschwindigkeit	22,5 m/s	n. z.
Auslösen des Enteisungsmodus	Umgebungstemperatur	+7 °C	-25 °C
	Windgeschwindigkeit	13 m/s	n. z.

4.2 Betriebsablauf

Nach Eingang des Auslösesignals von der WEA wird das VAS aktiviert. Während des Betriebs wird die Leistungskurvenkennzahl (PCR) überwacht und das Heizsystem wird auf der Grundlage der Veränderungen der PCR eingestellt. Die ausgewählte Heizstufe bestimmt die Leistungsverteilung und die Dauer der Aktivität eines ETH-Elements.

Das VAS ist in der Lage, abhängig vom Ausmaß des Vereisungsereignisses den beheizten Bereich zu reduzieren und die gesamte bereitgestellte Energie gezielt in den ETH-Elementen zu bündeln, die sich in den aus aerodynamischer Sicht wichtigsten Blattregionen befinden.

Darüber hinaus ist das System in der Lage, die WEA unter schwierigsten Vereisungsbedingungen – in denen das VAS nicht mehr in der Lage ist, die Blattoberfläche bei laufendem Betrieb der WEA in angemessener Weise eisfrei zu halten – zu stoppen und einen kurzen Heizzyklus des Rotors im Stillstand einzuleiten, den sogenannten „Enteisungsmodus“.

5 Leistung des Vestas Anti-Icing Systems

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie das VAS seine Leistung erbringt. Es wird erläutert, wie das Heizsystem arbeitet und wie es die aerodynamische Leistung des Rotorblatts beeinflusst.

5.1 Bauweise des Heizsystems des Vestas Anti-Icing Systems

Der Beitrag eines Blattbereichs zur aerodynamischen Leistung variiert entlang des Rotorblatts einer WEA und ist abhängig von dessen Bauweise, Form und Tragflächenbereichen, wie in Abbildung 4 anschaulich dargestellt. Der Bereich um die Blattspitze leistet dabei den größten Beitrag (in einer Größenordnung von 30-40 %), wohingegen die Bereiche, die sich näher an der Blattwurzel befinden, geringere Auswirkungen auf die aerodynamische Leistung haben (5-10 %). Das bedeutet auch, dass sich Luftstrom-Widerstände an einer Tragfläche umso stärker auf die aerodynamische Leistung auswirken, je näher diese sich an der Vorderkante befinden.

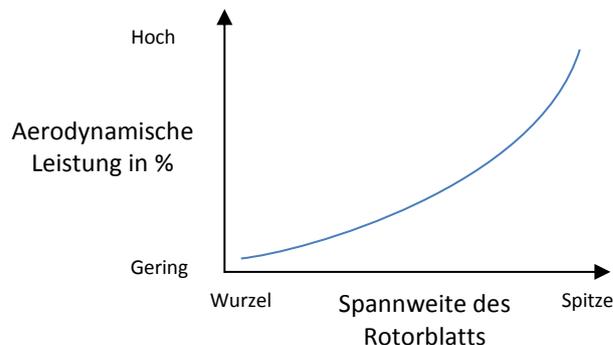


Abbildung 4 – Aerodynamischer Beitrag in Abhängigkeit von der Spannweite des Rotorblatts

Das ideale Rotorblatt-Heizsystem würde die gesamte Blattoberfläche beheizen, was jedoch in vielerlei Hinsicht nicht praktikabel ist. Es bietet sich daher an, nur die Blattregionen zu beheizen, die den größten Einfluss auf die Aerodynamik ausüben.

Das VAS ist so ausgelegt, dass es die Blattoberfläche stark genug erwärmt, um die Eisbildung auf der Oberfläche zu verhindern bzw. Eis zu entfernen, das sich dort gebildet hat (d. h. es wird eine Oberflächentemperatur von 0-10 °C angestrebt). Die Energie, die erforderlich wäre, um eine vergleichbare Erwärmung für die gesamte Blattoberfläche zu erzielen, und dies bei einer WEA in laufendem Betrieb und unter Berücksichtigung aller Vereisungsereignisse unter härtesten Vereisungsbedingungen, wäre dementsprechend unangemessen hoch (in einer Größenordnung von > 300 kW).

Aus diesen Gründen ist das VAS so konzipiert, dass es über eine Vielzahl von Heizelementen verfügt, die unabhängig voneinander ein- oder ausgeschaltet werden können. Gleichzeitig kann die von der WEA bereitgestellte Energie unter härtesten Vereisungsbedingungen gezielt in kleineren Bereichen, die für die

Aerodynamik des Rotorblatts am Wichtigsten sind, gebündelt werden, wie in Abbildung 5 anschaulich dargestellt. (Hinweis: Die aerodynamische Effektivität liegt immer unter 100 %, da eine Erwärmung des gesamten Blattbereichs in der Praxis nicht umsetzbar wäre, wie bereits zuvor erwähnt.)

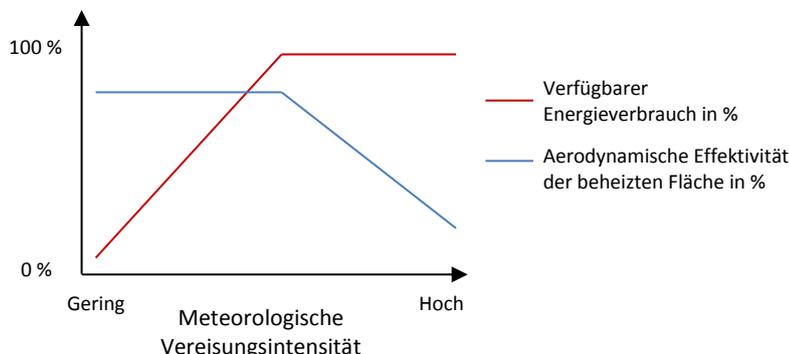


Abbildung 5 – Veranschaulichung der Abhängigkeitsverhältnisse zwischen meteorologischer Vereisungsintensität, Verbrauch der verfügbaren Energie und Effektivität des beheizten Bereichs

5.2 Klimatische Betriebsbedingungen des Vestas Anti-Icing Systems

Die meteorologische Intensität eines Vereisungsereignisses ergibt sich aus einem Zusammenspiel aus Umgebungstemperatur, Windgeschwindigkeit und Flüssigwassergehalt (LWC). Das System erwärmt abhängig von Temperatur, Windgeschwindigkeit und Flüssigwassergehalt verschiedene Bereiche des Rotorblatts (und gewinnt dementsprechend Leistung zurück). In Abbildung 6 wird die Grenzlinie der Leistungsfähigkeit des Systems für unterschiedliche Flüssigwassergehalte, Windgeschwindigkeiten und Temperaturen dargestellt.

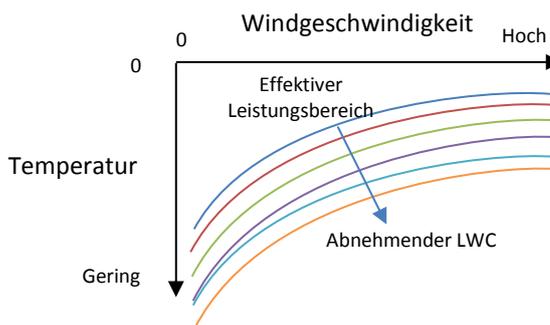


Abbildung 6 – Schematische Darstellung der klimatischen Abhängigkeitsverhältnisse an den Leistungsgrenzen des VAS

Abbildung 7 zeigt ein Histogramm für den Prozentsatz an Vereisungsereignissen, die bei unterschiedlich hohen Flüssigwassergehalten an einem spezifischen Standort eintreten. Man kann beobachten, dass in diesem Beispiel weniger als 10 % der Vereisungsereignisse bei Flüssigkeitswassergehalten $> 0,25 \text{ g/m}^3$

auftreten. Abbildung 7 zeigt auch den Grenzwert, bei dessen Erreichen der Anti-Vereisungsmodus bei Beheizung der gesamten beheizbaren Fläche unwirksam wird. Nach Erreichen dieses Grenzwerts werden weitere Anti-Vereisungsmodi eingesetzt. Diese konzentrieren sich jedoch auf kleinere Blattbereiche, die den größten Einfluss auf die Aerodynamik ausüben. Danach kommt der Enteisungsmodus zum Einsatz.

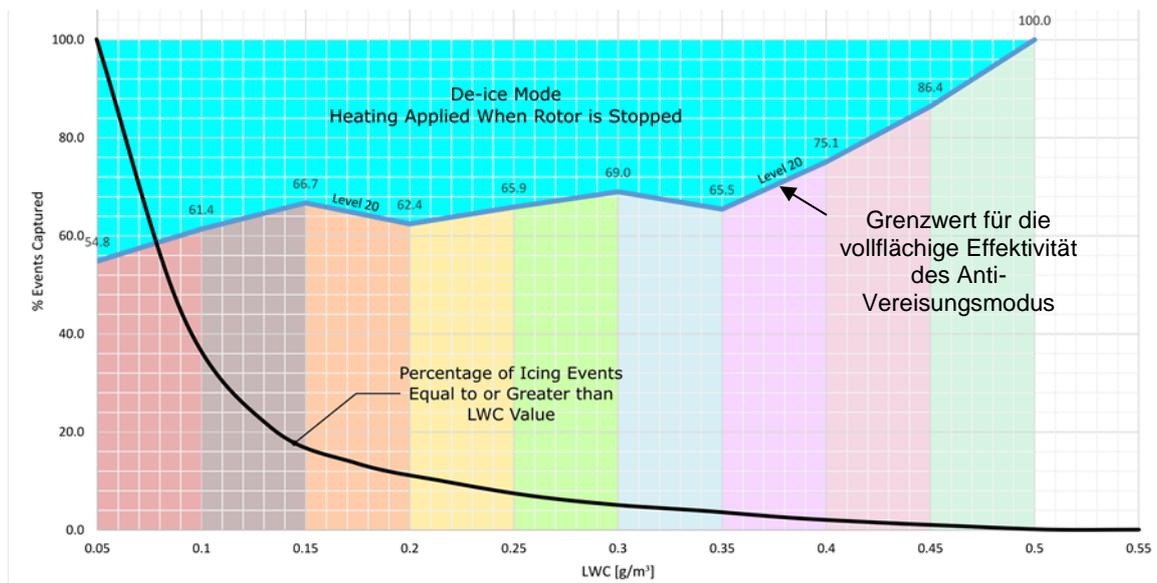


Abbildung 7 – Betrieb des VAS unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (Beispiel)

Die insgesamt zurückgewonnene Systemleistung kann vereinfacht dargestellt werden, indem man den Abfall der Leistungskurve eines nicht beheizten Rotorblatts mit einem beheizten Rotorblatt vergleicht. Abbildung 8 veranschaulicht die Steigerung der Leistungskurve, die das VAS bewirkt.

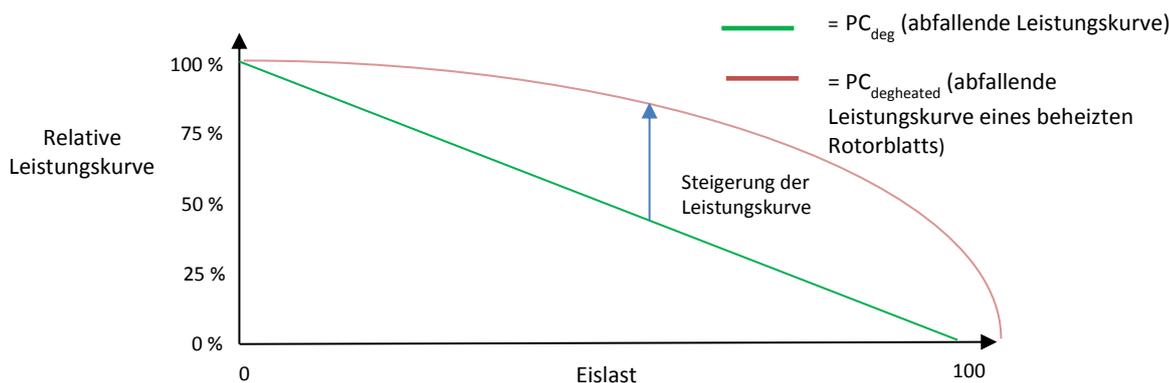


Abbildung 8 – Darstellung der durch das VAS bewirkten Steigerung der Leistungskurve im Vergleich zur Leistungskurve eines unbeheizten Rotorblatts

Die genauen Einzelheiten zu den Betriebsbedingungen sind in dem der jeweiligen Produktvariante entsprechenden Anhang der Leistungsspezifikation enthalten.

5.3 Berichterstattung VAS-Betrieb

Die Berichterstattung über den VAS-Betrieb ist Bestandteil der Standard-Ereignisberichte in VestasOnline® SCADA. Der VAS-Betrieb wird über spezifische Ereigniscodes ermittelt. Dabei werden jeweils die folgenden Angaben mitgeteilt:

- Art der Aktivierung, also automatische oder manuelle Aktivierung
- Ein- und Ausschaltzeitpunkt der VAS-Aktivierung
- Heizstufen, die während des Ereignisses verwendet wurden

6 Genehmigungen und Auslegungskriterien

Die Genehmigung des VAS wird über den Erhalt einer Konformitätsbescheinigung bestätigt, in der die Übereinstimmung mit den standardmäßigen Windenergieanlagen-Zertifizierungen bescheinigt wird, wie in der jeweiligen allgemeinen Spezifikation der Windenergieanlage festgelegt.

Derzeit verfügt das VAS über die folgenden Genehmigungen:

- Durchführbarkeitserklärung, D-Design, V126 Vestas Anti-ice System, DNVGL-SE-0441:2016-06 Typen- und Komponentenzertifizierung für Windenergieanlagen

7 Allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse

- © 2017 Vestas Wind Systems A/S. Das vorliegende Dokument wurde von Vestas Wind Systems A/S und/oder einer seiner Tochtergesellschaften (Vestas) erstellt und enthält urheberrechtlich geschütztes Material, Markenzeichen und andere geschützte Informationen. Alle Rechte vorbehalten. Das Dokument darf ohne vorherige schriftliche Erlaubnis durch Vestas Wind Systems A/S weder als Ganzes noch in Teilen reproduziert oder in irgendeiner Weise oder Form – sei es grafisch, elektronisch oder mechanisch, einschließlich Fotokopien, Bandaufzeichnungen oder mittels Datenspeicherungs- und Datenzugriffssystemen – vervielfältigt werden. Die Nutzung dieses Dokuments über den ausdrücklich von Vestas Wind Systems A/S gestatteten Umfang hinaus ist untersagt. Marken-, Urheberrechts- oder sonstige Vermerke im Dokument dürfen nicht geändert oder entfernt werden.
- Die im vorliegenden Dokument beschriebene allgemeine Spezifikation gilt für die derzeitigen Versionen des VAS. Neuere Versionen des VAS, die ggf. zukünftig hergestellt werden, können von der vorliegenden allgemeinen Spezifikation abweichen. Falls Vestas dem Empfänger eine neuere Version des VAS liefert, wird das Unternehmen dem Empfänger eine aktualisierte allgemeine Spezifikation für die neuere Version bereitstellen.
- Das vorliegende Dokument – die allgemeine Spezifikation – stellt kein Verkaufsangebot dar und enthält keinerlei ausdrückliche oder stillschweigende Gewährleistungen, Garantien, Versprechen, Verpflichtungen, Erklärungen und/oder Zusicherungen von Vestas in Bezug auf die Auswirkungen des VAS auf die Leistungskurve oder das Verfahren zur Verifizierung der Leistungskurve. Solche werden hiermit ausdrücklich von Vestas abgelehnt, es sei denn, es liegt eine ausdrückliche schriftliche Zusicherung von Vestas gegenüber dem Empfänger vor.
- Bilder und Illustrationen im vorliegenden Dokument können vom tatsächlichen Design abweichen.
- Die Windenergieanlage muss an das Stromnetz angeschlossen und eingeschaltet sein, damit das VAS betrieben werden kann.
- Für alle angegebenen Start/Stopp-Parameter (z. B. Windgeschwindigkeiten und Temperaturen) ist eine Hysterese-Steuerung vorhanden. Dadurch kann es in bestimmten Grenzsituationen dazu kommen, dass die Windenergieanlage angehalten wird, obwohl unter Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen die angegebenen Betriebsparametergrenzwerte nicht überschritten worden sind.
- Das VAS wurde entwickelt, um Produktionsverluste zu minimieren und ist nicht speziell dafür ausgelegt bzw. wird nicht speziell dafür eingesetzt, das Risiko von Eiswurf, Eisabfall und/oder Eissturz zu verringern. Sollte der Empfänger das System für solche Zwecke benutzen oder sich diesbezüglich darauf verlassen, tut er dies auf eigene Gefahr. Das Risiko von Eisabwurf, Eisabfall und/oder Eissturz, das durch den Betrieb der Windenergieanlage und den Betrieb des VAS erzeugt wird, liegt in der alleinigen Verantwortung des Auftraggebers.
- Die tatsächlichen Klima- und Standortbedingungen weisen viele Variablen auf und sind bei der Beurteilung der Leistung des VAS zu berücksichtigen. Die Auslegungs- und Betriebsparameter im entsprechenden zugehörigen Anhang

stellen keine Garantien, Gewährleistungen oder Zusicherungen bezüglich der Leistung des VAS an tatsächlichen Standorten dar.