

Restricted
Dokumentennr.: 0068-6577 V02
2019-02-15

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	8
5.1	Bauweise des Heizsystems des Vestas Anti-Icing Systems	8
5.2	Klimatische Betriebsbedingungen des Vestas Anti-Icing Systems	9
5.3	Überwachung mit VestasOnline® SCADA (System zur Prozesssteuerung und Datenerfassung)	11
6	Genehmigungen und Auslegungskriterien	11
7	Allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse	13

1 Referenzen

Ref.	Dokumententitel	DMS
1	VAS Leistungsspezifikation V136-4.2MW V150-4.2MW	0068-6910

2 Abkürzungen und Akronyme

Abkürzung oder Akronym	Definition
DCN	Verteilter Steuerungsknoten
ETH	Electro-thermal Heating (Elektro-thermische Heizung)
LWC	Liquid water content (Flüssigwassergehalt)
Mk	Kennzeichnung (Baureihe der Windenergieanlage)
N/A	Nicht zutreffend
Nr.	Nummer
PCID	Power Curve Ice Detection (auf Leistungskurve basierende Eiserkennung)
Ref.	Referenzen
RTM	Rotating Transfer Module (Drehdurchführungsmodul)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (System zur Prozesssteuerung und Datenerfassung)
VAS	Vestas Anti-Icing System
WEA	Windenergieanlage
VID	Vestas Eisdetektor
VAS	Vestas Anti-Icing System

3 Allgemeine Beschreibung

Das Vestas Anti-Icing-System™ (VAS) ist ein vollständig integriertes Windenergieanlagensystem, das entwickelt wurde, um die Eisbildung auf den Blättern 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 reduzierte Energieerzeugung durch die Windenergieanlage (WEA) verringert.

Das Vestas Anti-Icing System™ ist für die folgenden Modelle erhältlich:

- V136-4.2 MW™
- V150-4.2 MW™
- V150-5.6 MW™
- V162-5.6 MW™

Das VAS besteht aus:

- Einer Vielzahl an elektro-thermischen Heizelementen (ETH), die in bestimmten Bereichen des Rotorblatts im Laminat der Außenhaut des Blattes eingebettet sind (siehe Abbildung 1).
- Die Steuerung der Heizelemente erfolgt über die Anlagensteuerung der WEA. Diese erkennt die ETH-Elemente und schaltet sie in Abhängigkeit vom Ausmaß der Vereisungsbedingungen mit unterschiedlicher Stärke ein.
- Das Steuerungsverfahren bietet die Möglichkeit, bei Bedarf die Heizbereiche effizient einzuschalten.
- Das VAS wird auf Basis einer festgestellten Verschlechterung der Anlagenleistung (Abfall der Leistungskurve) und Umgebungsfaktoren (z. B. kalten Temperaturen) automatisch aktiviert. In diesem Fall wird ein Signal an die Anlage gesendet, um das Heizsystem zu aktivieren. 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. Bei Eintreten der 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 sicher arbeitet und das System vor einer

Überhitzung schützt. Diese Funktionen überwachen die kritischen Parameter des Vereisungsschutzes, z. B. die Leistung und die Umgebungsbedingungen um die Anlage herum, wie beispielsweise die Umgebungstemperatur.

Abbildung 2 bietet eine schematische Übersicht über die Integration des VAS in Windenergieanlagen der Typen V136-4.2 MW™, V150-4.2 MW™, V150-5.6 MW™ und V162-5.6 MW™.

Die spezifischen Betriebs- und Leistungsdaten für die jeweilige Windenergieanlage und Produktvariante werden in den Leistungsspezifikationen der verschiedenen Varianten detailliert aufgeführt.

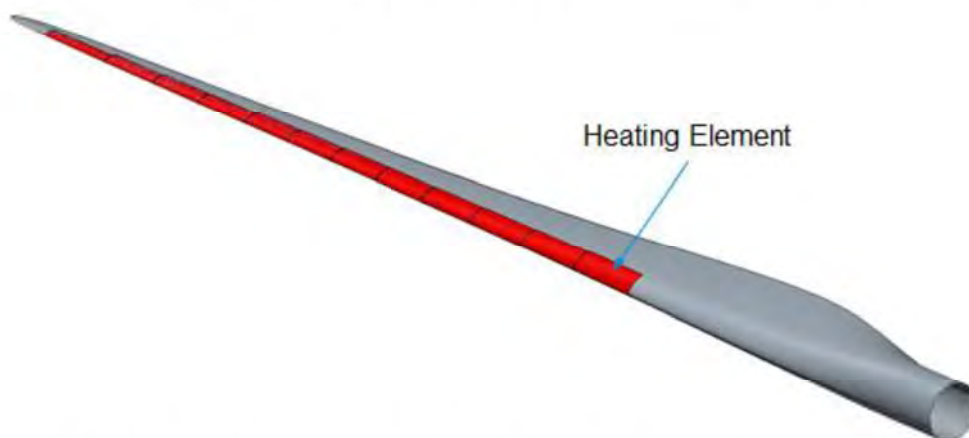


Abbildung 1. Schematische Darstellung des Blatts mit den gezielt erhitzten Blattbereichen

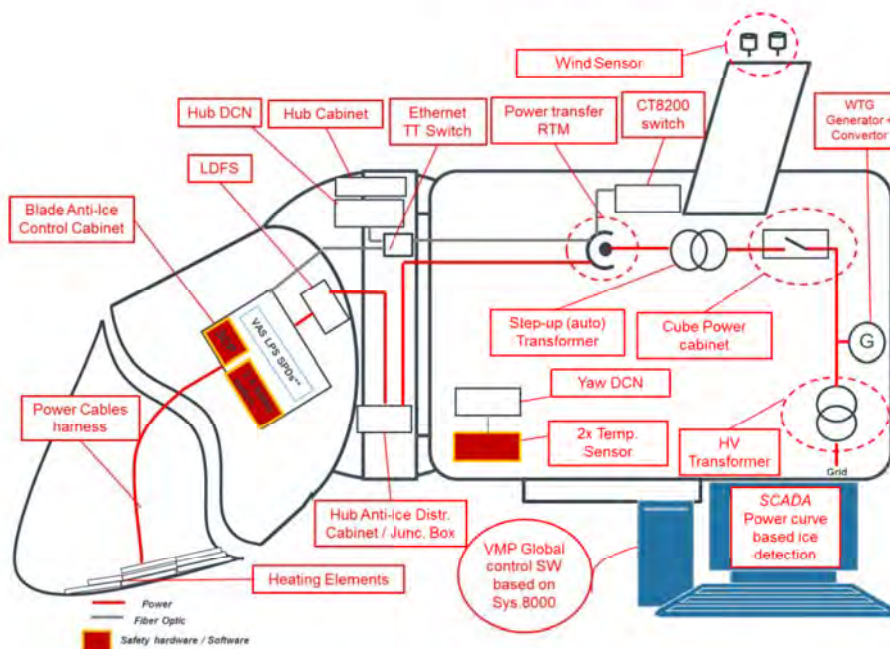


Abbildung 2. Schematische Darstellung der Integration des VAS in Windenergieanlagen der Typen V136-4.2 MW™, V150-4.2 MW™, V150-5.6 MW™ und V162-5.6 MW™

4 Betrieb des Vestas Anti-Icing Systems

4.1 Aktivierung des VAS

Das VAS ist so ausgelegt, dass es automatisch durch den Einsatz einer auf der Leistungskurve basierenden Eiserkennung (Power Curve Ice Detection, PCID) ausgelöst wird. Es ist auch eine zusätzliche Ausführung mit manueller Aktivierung durch den Bediener verfügbar. Das VAS reagiert auch auf ein Signal des Vestas-Eisdetektors (VID), wenn dies an der Anlage eingestellt ist, und stellt den korrekten Betriebsmodus ein, um die lokalen gesetzlichen Bestimmungen einzuhalten, z. B. Stoppen des Rotors und Durchführen eines Enteisungszyklus, um das Eis vom Rotor zu entfernen.

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 (d. h. Temperatur und Windgeschwindigkeit) sowie mit allgemeinen Statusinformationen 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. Wenn die Funktion deaktiviert ist, kann das Auslösesignal manuell aktiviert und vom SCADA an die WEA gesendet werden.

Abbildung 3 zeigt eine typische Referenzleistungskurve (blaue Linie) für einen bestimmten Windgeschwindigkeitsbereich. Die bunten Punkte stellen einen Datenpunkt für eine 10-minütige Zeiteinteilung der Energieerzeugung dar. Ein Vergleich der Datenpunkte mit der Referenzleistungskurve für eine gegebene Windgeschwindigkeit ermittelt die Leistungskurvenkennzahl (PCR, Power Curve Ratio). Je stärker die Energieerzeugung vom Referenzwert nach unten abweicht, desto niedriger ist die PCR. In dieser Abbildung ist eine verschlechterte Leistungskurve durch die nicht in Blau eingefärbten Punkte dargestellt. Die grünen Punkte zeigen beispielsweise eine Verringerung der Leistungskurve um 27 % (0,73 PCR) bei 15 m/s.



Abbildung 3. Diagramm, das eine Standardleistungskurve (blau) im Vergleich zu durch Eis beeinflussten Leistungskurven während einer Vereisung zeigt. Basierend auf einer V90 3MW-Anlage an einem Standort mit starkem Eisverlust in Schweden.

Die PCID kann nur dann automatisch ein VAS aktivieren, wenn die Bedingungen in Tabelle 1 (in Nabelhöhe gemessen, basierend auf 10-Minuten-Durchschnittswerten) erfüllt sind:

Tabelle 1 – Umgebungsbedingungen für die Aktivierung des Heizsystems

Betrieb	Bedingungen	Maximum	Minimum
Auslösen des Anti-Vereisungsmodus	Umgebungstemperatur	+10 °C	-20 °C
	Windgeschwindigkeit (Ausschnitt der WEA)	22,5 m/s (normal)*	N/A
Auslösen des Enteisungsmodus	Umgebungstemperatur	+10 °C	-20 °C
	Windgeschwindigkeit (Grenzwert für mechanische Bremse)	13 m/s	N/A

* Dies hängt vom Windenergieanlagentyp ab, z. B. V136, V150 oder V162

4.2 Betriebsablauf

Das VAS wird aktiviert, wenn die WEA einen durch Vereisung verursachten Auslöser bestätigt. Während des Betriebs wird die Leistungskurvenkennzahl (PCR) überwacht und das Heizsystem (Stromzufuhr) wird auf der Grundlage der Veränderungen der PCR eingestellt. Die ausgewählte Heizstufe bestimmt die Leistungsverteilung und die Dauer der Aktivität eines Heizelements.

Das VAS kann die Leistung entsprechend den Vereisungsbedingungen der Anlage reduzieren und bietet somit ein effizientes System, mit dem die jährliche Energieproduktionsleistung für die Anlage wiederhergestellt werden kann.

Darüber hinaus ist das System in der Lage, die WEA unter schwierigsten Vereisungsbedingungen – in denen das VAS nicht mehr in der Lage ist, die

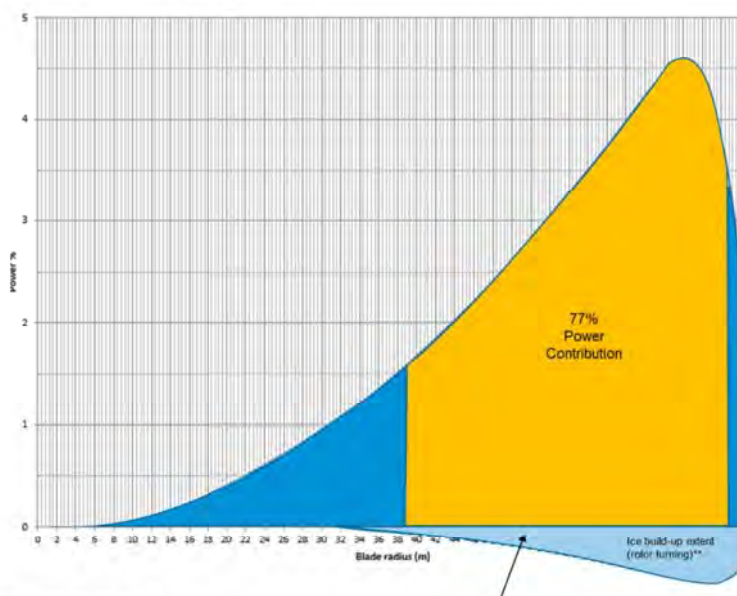
Blattoberfläche bei laufendem Betrieb der WEA in angemessener Weise eisfrei zu halten – zu stoppen und einen kurzen Heizzyklus des Rotors im Stillstand einzuleiten, den sogenannten „Enteisungsmodus“.

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 aerodynamische Leistungsbeitrag eines WEA-Blatts variiert entlang der Blattlänge (Spannweite). Zur Veranschaulichung ist der aerodynamische Leistungsbeitrag für jedem Radius entlang der Länge einer V150 in **Abbildung 4** dargestellt. In der Abbildung sind auch die Teile des Blatts hervorgehoben, an denen eine Eisansammlung vorherrscht. Das VAS ist so konzipiert, dass es die maximale Leistungsbeitragsfläche und den Vereisungsbereich so effizient wie möglich erfasst. Ein ideales System müsste die gesamte Blattfläche abdecken. Dies ist jedoch aus Kosten-, Gewichts- (das Blatt, auf dem die VAS montiert ist, hat eine maximale Gewichtsgrenze, deren Überschreitung zur Verringerung der Lebensdauer der Anlagen von 20 Jahren beiträgt) und Energiegesichtspunkten nicht sinnvoll (das System muss eine positive Energiebilanz für die Eisentfernung aufweisen). In diesem Beispiel ist der Bereich des Blatts, der das Vereisungsschutzsystem enthält, auch in der Abbildung dargestellt und zeigt, dass 77 % des gesamten aerodynamischen Leistungsbeitragsbereichs über ein aktives Vereisungsschutzsystem verfügen.



**Figurative distribution only

Abbildung 4. Beispiel Eisbildung, aerodynamischer Beitrag und Vereisungsschutzfläche eines V150-Blatts. Die VAS-Varianten haben etwas unterschiedliche Bereiche.

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 besteht das VAS aus vielen Heizelementen, wodurch das VAS flexibel und leistungsfähig ist, Redundanz bietet und dadurch die Verfügbarkeit verbessert.

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 VAS heizt das Blatt und liefert Leistung in Abhängigkeit von Temperatur, Windgeschwindigkeit und Flüssigwassergehalt. Zur Veranschaulichung der Leistungsfähigkeit des Systems zeigt **Abbildung 5** die Grenze der Systemleistung für 95 % aller Vereisungsbedingungen an einem repräsentativen Standort mit starkem Eisverlust in nordischen Ländern gegen Windgeschwindigkeit und Umgebungstemperaturen für Flüssigwassergehalte zwischen 0 und 0,65 g/m³.

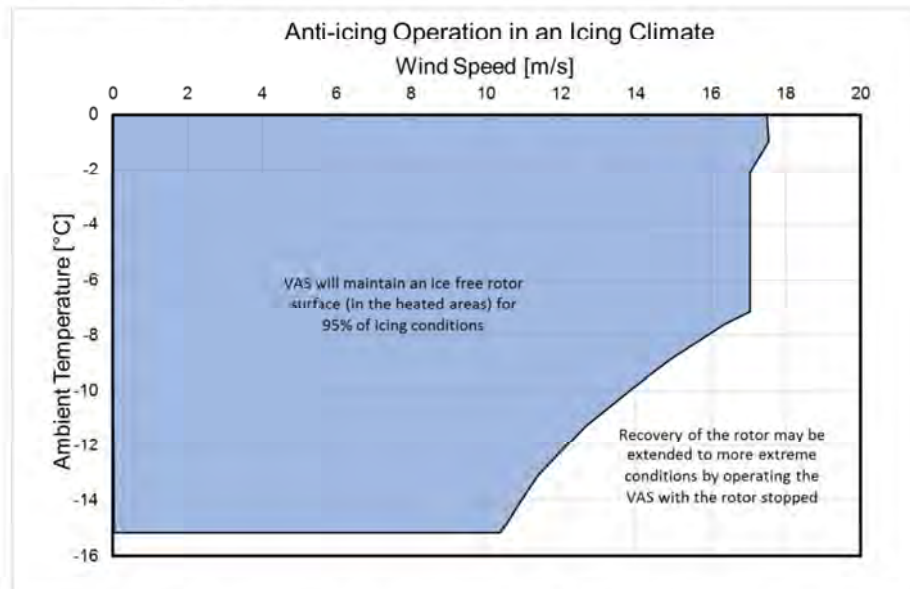


Abbildung 5. Klimatische Abhängigkeit der VAS-Leistungsgrenze für 95 % aller Vereisungsbedingungen an einem Standort mit starkem Eisverlust in nordischen Ländern.

Es zeigt sich, dass ein weiterer Leistungsvorteil möglich ist, wenn eine Strategie angewendet wird, bei der der Rotor während des Heizzyklus gestoppt wird, um die Auswirkungen der erzwungenen Luftkonvektion über der Blattoberfläche aufzuheben.

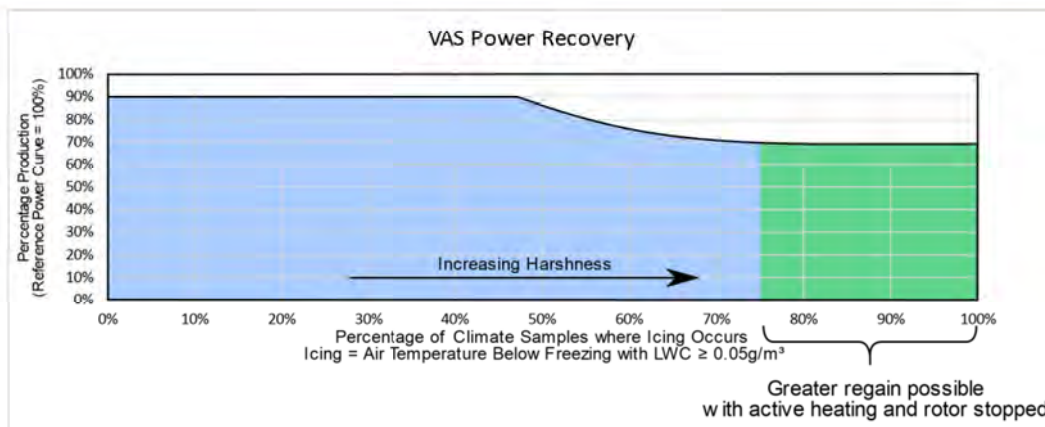


Abbildung 6. VAS-Stromrückgewinnung in Prozent aller Vereisungsstunden an einer repräsentativen schweren Vereisungsstelle (> 8 % Vereisungsverlust bei der jährlichen Energieproduktion).

Abbildung 6 stellt den Leistungsvorteil des VAS bei einer Anlage dar, die in der Region der betrachteten 95 % betrieben wird. Die Leistungskurve des Rotors wird für bis zu 50 % aller Vereisungsbedingungen, die an einer schweren Vereisungsstelle erwartet werden, auf 90 % der Referenzleistungskurve wiederhergestellt. Mit zunehmender Vereisungsstärke kann das VAS keine eisfreie Oberfläche in den erwärmten Bereichen mehr aufrechterhalten. Durch Stoppen des Rotors (Enteisungsmodus) kann aber wieder eine größere eisfreie Fläche erreicht werden.

Die insgesamt zurückgewonnene Systemleistung kann durch einen Vergleich der Leistungskurvenverschlechterung eines nicht beheizten Blatts mit einem beheizten Blatt hervorgehoben werden. Abbildung 7 veranschaulicht den Vorteil der Leistungskurve durch das VAS mittels Vergleich eines Rotors ohne Eis (Power_data und Power_fit) mit dem eines durch Eis beeinträchtigten Rotors (Leistungsaufnahme 85 % - 50 %). Das VAS strebt eine Wiederherstellung der Leistungskurve von 90 % und mehr an (Leistungsaufnahme 90 %). Der Leistungsunterschied zwischen einer WEA mit VAS (90 %) und einer durch Eis beeinträchtigten Anlage (z. B. 50 %) ist offensichtlich.

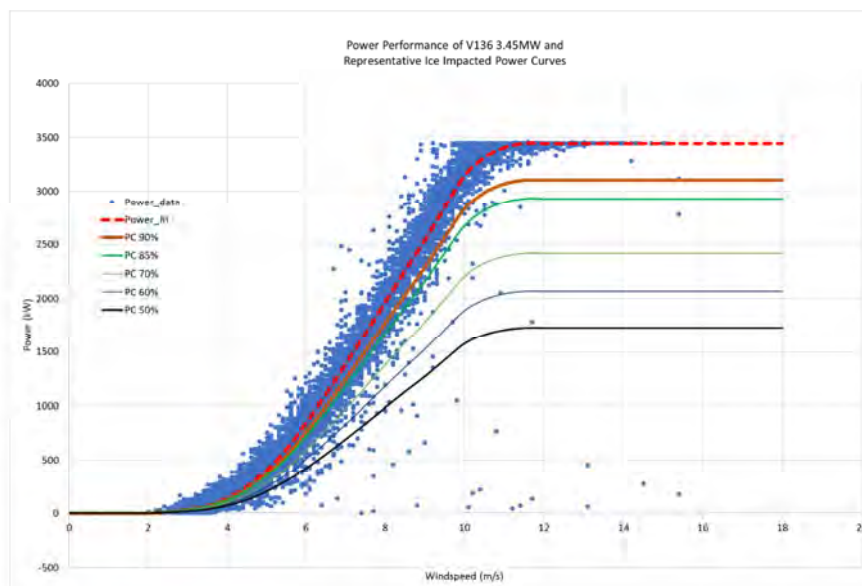


Abbildung 7. Vergleich einer von Eis beeinflussten Leistungskurve (Leistungsaufnahme 85 %–50 %) und einer zurückgewonnenen Leistungskurve (Leistungsaufnahme 90 %) mit einer nominalen Leistungskurve (Power_fit) einer V136 3.45 MW.

Spezifische Details zu den Optionen der Produktvarianten für das VAS sind in der Leistungsbeschreibung enthalten [1].

5.3 Überwachung mit VestasOnline® SCADA (System zur Prozesssteuerung und Datenerfassung)

Die Überwachung des VAS-Betriebs kann über VestasOnline® SCADA vorgenommen werden. Dabei werden jeweils die folgenden Angaben mitgeteilt:

- Aktivierung (Befehle aus SCADA)
 - **VAS starten und die erste Heizstufe wählen**
(Hinweis: Dieser Befehl wird wiederholt, um die Verbindung zwischen dem SCADA-Server und der WEA zu überwachen.)
 - **VAS stoppen**
- Heizstufen (Überwachung durch SCADA)
 - WEA bestätigt die Aktivierung durch Senden der angeforderten Heizstufe
 - Von WEA ausgewählte Heizstufe (nach Prüfung der Anlagensteuerung)
 - Von WEA berechnete maximale Heizstufe für einen feststehenden Rotor
 - Von WEA berechnete maximale Heizstufe für einen sich drehenden Rotor
- VAS-Status
 - Energiestatus (z. B. für VAS verfügbare Energie)
 - Aktivierungsstatus (z. B. ein oder aus)
 - Energieverbrauch
 - Steuerungsstatus (z. B. Positionierung des Rotors für stationäres Heizen)
 - Fehlerzustand (z. B. aktives Heizzeitlimit)
 - Zeitgeber für stationäres Heizen (d. h. verbleibende Zeit zum Start eines Enteisungszyklus)
 - Rotorpositionierungsstatus (z. B. Rotorpositionierung abgeschlossen)
 - Azimutposition des Rotors

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-icing 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 von der tatsächlichen Ausführung/Bauweise 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.