

**3.1 Beschreibung der zum Betrieb erforderlichen technischen Einrichtungen und Nebeneinrichtungen sowie der vorgesehenen Verfahren**

Anlagen:

- 3.1 4-MW-Plattform Allgemeine Beschreibung.pdf

Eingeschränkte Weitergabe  
Dokument Nr.: 0067-7060 V04  
15.10.2019

# Allgemeine Beschreibung 4-MW-Plattform



**Inhaltsverzeichnis**

**1 Einleitung ..... 5**

**2 Allgemeine Beschreibung ..... 6**

**3 Mechanische Konstruktion ..... 7**

3.1 Rotor ..... 7

3.2 Rotorblätter ..... 7

3.3 Blattlager ..... 8

3.4 Pitchsystem ..... 8

3.5 Nabe ..... 9

3.6 Hauptwelle ..... 9

3.7 Hauptlagergehäuse ..... 9

3.8 Hauptlager ..... 9

3.9 Getriebe ..... 10

3.10 Generatorlager ..... 10

3.11 Kupplung der schnellen Welle ..... 10

3.12 Azimutsystem ..... 10

3.13 Kran ..... 11

3.14 Türme ..... 11

3.15 Maschinenhausrahmen und -dach ..... 11

3.16 Wärmekonditionierungssystem (Klimaanlage) ..... 12

3.16.1 Generator- und Umrichter Kühlung ..... 12

3.16.2 Getriebe- und Hydraulikkühlung ..... 13

3.16.3 Transformatorkühlung ..... 13

3.16.4 Maschinenhauskühlung ..... 13

3.16.5 Optionale Luken für Lufteinlass ..... 13

**4 Elektrisches System ..... 13**

4.1 Generator ..... 13

4.2 Umrichter ..... 14

4.3 Mittelspannungstransformator ..... 14

4.3.1 Ökodesign – IEC 50/60 Hz-Version ..... 15

4.4 Mittelspannungskabel ..... 18

4.5 Mittelspannungsschaltanlage ..... 19

4.5.1 IEC-50-Hz/60-Hz-Version ..... 21

4.5.2 IEEE 60-Hz-Version ..... 23

4.6 AUX-System ..... 23

4.7 Windsensoren ..... 24

4.8 Vestas Multi Processor (VMP) Controller ..... 24

4.9 Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) ..... 24

**5 WEA-Schutzsysteme ..... 25**

5.1 Bremskonzept ..... 25

5.2 Kurzschlusschutz ..... 26

5.3 Überdrehzahlschutz ..... 26

5.4 Lichtbogendetektor ..... 26

5.5 Rauchmeldesystem ..... 27

5.6 Blitzschutz von Rotorblättern, Maschinenhaus, Rotorblattnabe und Turm ..... 27

5.7 EMV ..... 28

5.8 Erdung ..... 28

5.9 Korrosionsschutz ..... 29

**6 Sicherheit ..... 29**

6.1 Zugang ..... 29

6.2 Flucht ..... 30

6.3 Räume/Arbeitsbereiche ..... 30

6.4	Böden, Plattformen, Steh- und Arbeitsplätze.....	30
6.5	Transportaufzug.....	30
6.6	Aufstiegsmöglichkeiten .....	30
6.7	Bewegliche Teile, Schutzeinrichtungen und Sperrvorrichtungen .....	30
6.8	Beleuchtung.....	31
6.9	Notstopp .....	31
6.10	Unterbrechung der Stromversorgung.....	31
6.11	Brandschutz/Erste Hilfe .....	31
6.12	Warnschilder.....	31
6.13	Handbücher und Warnhinweise .....	31
<b>7</b>	<b>Environment.....</b>	<b>31</b>
7.1	Chemikalien.....	31
<b>8</b>	<b>Auslegungsrichtlinien .....</b>	<b>32</b>
8.1	Auslegungsrichtlinien – Baukonstruktion.....	32
<b>9</b>	<b>Farben.....</b>	<b>33</b>
9.1	Maschinenhausfarbe.....	33
9.2	Turmfarbe .....	33
9.3	Rotorblattfarbe .....	33
<b>10</b>	<b>Leitfaden für Betriebsbereichsbedingungen und Leistungsmerkmale.....</b>	<b>33</b>
10.1	Klima- und Standortbedingungen.....	34
10.2	Betriebsbereich – Temperatur und Höhe .....	34
10.3	Betriebsbereich – Temperatur und Höhe .....	35
10.4	Betriebsbereich – Netzanschluss .....	36
10.5	Betriebsbereich – Blindleistungskapazität im 4,0-MW-Modus 0 .....	37
10.6	Betriebsbereich – Blindleistungskapazität im blindleistungsoptimierten 4,0-MW-Modus (QO1).....	38
10.7	Betriebsbereich – Blindleistungskapazität im leistungsoptimierten 4,2-MW-Modus (PO1).....	40
10.8	Leistungsmerkmal – Durchfahren von Netzfehlern.....	42
10.9	Leistung – Blindstrombeitrag.....	43
10.9.1	Symmetrischer Blindstrombeitrag .....	43
10.9.2	Asymmetrischer Blindstrombeitrag.....	43
10.10	Leistung – Mehrfache Spannungsabfälle .....	43
10.11	Leistung – Regelung von Wirk- und Blindleistung .....	44
10.12	Leistungsmerkmal – Spannungsregelung .....	44
10.13	Leistung – Frequenzregelung .....	44
10.14	Verzerrung – Störfestigkeit.....	44
10.15	Hauptbeitragende zum Eigenverbrauch .....	44
<b>11</b>	<b>Zeichnungen .....</b>	<b>46</b>
11.1	Konstruktionsauslegung – Darstellung der Außenabmessungen .....	46
11.2	Baukonstruktion – Seitenansichtszeichnung .....	46
<b>12</b>	<b>Allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse.....</b>	<b>47</b>

**Der Empfänger bestätigt, dass (i) die vorliegende allgemeine Beschreibung nur zur Information des Empfängers bereitgestellt wird und keine Haftungen, Garantien, Versprechen, Verpflichtungen oder andere Zusicherungen (Zusagen) durch Vestas Wind Systems oder eine seiner Tochtergesellschaften (Vestas) nach sich zieht oder darstellt. Solche werden ausdrücklich von Vestas nicht anerkannt, und (ii) sämtliche Verpflichtungen von Vestas gegenüber dem Empfänger bezüglich dieser allgemeinen Beschreibung (oder sonstiger Inhalte des vorliegenden Dokuments) müssen in unterzeichneten, zwischen dem Empfänger und Vestas geschlossenen schriftlichen Verträgen dargelegt sein; die im vorliegenden Dokument enthaltenen Angaben sind diesbezüglich nicht verbindlich.**

**Siehe allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse (einschl. Abschnitt 12 auf S. 47) der vorliegenden allgemeinen Beschreibung.**

## 1 Einleitung

Die in der vorliegenden allgemeinen Beschreibung enthaltenen Konfigurationen einer 4-MW-Plattform-Windenergieanlage sind im Folgenden aufgelistet. Die Bezeichnungen folgen der Norm IEC 61400-22.

Die Windklassen nach DIBt 2012 sind dort angegeben, wo eine entsprechende Beschränkung besteht.

Die vollständige Windklasseneinordnung findet sich in der Leistungsspezifikation zur betreffenden Windenergieanlagenvariante.

Die vorliegende allgemeine Beschreibung enthält Daten und Beschreibungen, die für alle Plattformvarianten gelten.

Die variantenspezifischen Leistungsdaten sind den Leistungsspezifikationen zur jeweiligen Windenergieanlage und dem erforderlichen Betriebsmodus zu entnehmen.

Windenergieanlagentyp	Windenergieanlagentyp   Betriebsmodus
<b>V117-4.0/4.2 MW Starker Wind</b>	V117-4.0 MW IEC IB / IEC IIA 50/60 Hz   Modus 0
	V117-4.0 MW IEC IB / IEC IIA 50/60 Hz   blindleistungsoptimierter Modus (QO1)
	V117-4.2 MW IEC S / IEC IIA 50/60 Hz   leistungsoptimierter Modus (PO1)
	V117-3.8 MW IEC IB / IEC IIA 50/60 Hz   lastoptimierter Modus (LO1)
	V117-3.6 MW IEC IB / IEC IIA+ 50/60 Hz   lastoptimierter Modus (LO2)
<b>V117-4.0/4.2 MW Taifun</b>	V117-4.0 MW IEC IB-T / IEC IIA 50/60 Hz   Modus 0
	V117-4.0 MW IEC IB-T / IEC IIA-T 50/60 Hz   blindleistungsoptimierter Modus (QO1)
	V117-4.2 MW IEC S-T / IEC IIA-T 50/60 Hz   leistungsoptimierter Modus (PO1)
	V117-3.8 MW IEC IB-T / IEC IIA-T 50/60 Hz   lastoptimierter Modus (LO1)
	V117-3.6 MW IEC IB-T / IEC IIA+-T 50/60 Hz   lastoptimierter Modus (LO2)
<b>V136-4.0/4.2 MW</b>	V136-4.0 MW IEC IIB / IEC IIIB 50/60 Hz   Modus 0
	V136-4.0 MW IEC IIB / IEC IIIB 50/60 Hz   blindleistungsoptimierter Modus (QO1)
	V136-4.2 MW IEC S / IEC IIIB 50/60 Hz   leistungsoptimierter Modus (PO1)
	V136-3.8 MW IEC IIB / IEC IIIB 50/60 Hz   lastoptimierter Modus (LO1)
	V136-3.6 MW IEC IIB / IEC IIIB 50/60 Hz   lastoptimierter Modus (LO2)
	V136-4.0 MW DIBt S 50 Hz   Modus 0
	V136-4.0 MW DIBt S 50 Hz   blindleistungsoptimierter Modus (QO1)
	V136-4.2 MW DIBt S 50 Hz   lastoptimierter Modus (PO1)
	V136-3.8 MW DIBt S 50 Hz   lastoptimierter Modus (LO1)
	V136-3.6 MW DIBt S 50 Hz   lastoptimierter Modus (LO2)
<b>V150-4.0/4.2 MW</b>	V150-4.0 MW IEC IIIB 50/60 Hz   Modus 0
	V150-4.0 MW IEC IIIB 50/60 Hz   blindleistungsoptimierter Modus (QO1)
	V150-4.2 MW IEC S 50/60 Hz   lastoptimierter Modus (PO1)

Windenergieanlagentyp	Windenergieanlagentyp   Betriebsmodus
	V150-3.8 MW IEC IIIB / IEC S 50/60 Hz   lastoptimierter Modus (LO1)
	V150-3.6 MW IEC IIIB / S 50/60 Hz   lastoptimierter Modus (LO2)
	V150-4.0 MW DIBt S 50 Hz   Modus 0
<b>V150-4.0/4.2 MW (fortlaufend)</b>	V150-4.0 MW DIBt S 50 Hz   blindleistungsoptimierter Modus (QO1)
	V150-4.2 MW DIBt S 50 Hz   lastoptimierter Modus (PO1)
	V150-3.8 MW DIBt S 50 Hz   lastoptimierter Modus (LO1)
	V150-3.6 MW DIBt S 50 Hz   lastoptimierter Modus (LO2)

*Tabelle 1-1: Aufgeführte Konfigurationen einer 4-MW-Plattform-Windenergieanlage*

## 2 Allgemeine Beschreibung

Die 4-MW-Plattform von Vestas umfasst eine Familie von Windenergieanlagen mit der gleichen Konstruktionsgrundlage.

Zu der 4-MW-Plattform-Familie von Windenergieanlagen gehören die Modelle V105-3.45/3.6 MW, V112-3.45/3.6 MW, V117-3.45/3.6 MW, V126-3.45 MW LTq, V126-3.45/3.6 MW HTq, V136-3.45/3.6 MW, V117-4.0/4.2 MW starker Wind, V117-4.0/4.2 MW Taifun, V136-4.0/4.2 MW und V150-4.0/4.2 MW.

Für V105-3.45/3.6 MW, V112-3.45/3.6 MW, V117-3.45/3.6 MW, V126-3.45 MW LTq, V126-3.45/3.6 MW HTq und V136-3.45/3.6 MW siehe allgemeine Beschreibung 0053-3707.

Diese allgemeine Beschreibung gilt nur für V117-4.0/4.2 MW starker Wind, V117-4.0/4.2 MW Taifun, V136-4.0/4.2 MW und V150-4.0/4.2 MW.

Es handelt sich dabei um Aufwindanlagen mit Pitch-Regelung, aktiver Windnachführung und Dreiblattrotor.

Die Windenergieanlagen in dieser allgemeinen Beschreibung sind mit Rotoren mit Durchmessern im Bereich von 117 m bis 150 m und einer Nennleistung von 4,0 MW ausgestattet.

Ein blindleistungsoptimierter 4,0-MW-Modus (QO1) ist für alle Varianten verfügbar.

Ein leistungsoptimierter 4,2-MW-Modus (PO1) ist für alle Varianten verfügbar.

Zudem sind ein lastoptimierter 3,8-MW-Modus (LO1) und ein lastoptimierter 3,6-MW-Modus (LO2) für alle Varianten verfügbar.

Bei der Windenergieanlagenfamilie kommen das Konzept OptiTip® sowie ein Induktionsgenerator mit Vollumrichter zum Einsatz. Mit diesen Komponenten kann die Windenergieanlage den Rotor mit variabler Drehzahl betreiben, wodurch sich auch bei hohen Windgeschwindigkeiten die Nennleistung (ungefähr) erreichen lässt. Bei geringen Windgeschwindigkeiten arbeiten das Konzept OptiTip® und das

Generator-Umrichtersystem zusammen, um die abgegebene Leistung durch eine Optimierung von Rotordrehzahl und Pitchwinkel zu maximieren.

Ein Betrieb der Windenergieanlage im blindleistungsoptimierten 4,0-MW-Modus (QO1) lässt sich über eine gegenüber dem 4,0-MW-Modus-0-Betrieb erweiterte Umgebungstemperatur-Herabregelungsstrategie erzielen.

Ein Betrieb der Windenergieanlage im leistungsoptimierten 4,2-MW-Modus (PO1) lässt sich über eine gegenüber dem 4,0-MW-Modus-0-Betrieb erweiterte Umgebungstemperatur-Herabregelungsstrategie sowie eine verringerte Blindleistungskapazität erzielen.

### 3 Mechanische Konstruktion

#### 3.1 Rotor

Die Windenergieanlage ist mit einem Rotor mit drei Rotorblättern und einer Nabe ausgestattet. Der Anstellwinkel der Rotorblätter wird vom mikroprozessorgesteuerten Pitchregelungssystem OptiTip® reguliert. Die Rotorblätter werden also je nach dem vorherrschenden Wind kontinuierlich auf den optimalen Pitchwinkel eingestellt.

Rotor	V117	V136	V150
Durchmesser	117 m	136 m	150 m
Drehbereich	10.751 m <sup>2</sup>	14.527 m <sup>2</sup>	17.671 m <sup>2</sup>
Drehzahl, dynamischer Betriebsbereich	6,7-17,5	5,6-14,0	4,9-12,0
Drehrichtung	Im Uhrzeigersinn (von vorn gesehen)		
Ausrichtung	Luvwärts		
Neigung	6°		
Konischer Winkel der Nabe	4°	4°	5,5°
Blattzahl	3		
Aerodynamische Bremsen	Volle Fahnenstellung		

Tabelle 3-1: Rotordaten

#### 3.2 Rotorblätter

Die Rotorblätter werden aus Kohle- und Glasfaser gefertigt und bestehen aus zwei Blattprofilen, die an einem Träger befestigt sind oder mit eingelassener Struktur.

<b>Rotorblätter</b>	<b>V117</b>	<b>V136</b>	<b>V150</b>
<b>Typbeschreibung</b>	Blattprofile verbunden mit Träger	Prepreg oder strukturell eingegossene Blattprofilschalen	Prepreg oder strukturell eingegossene Blattprofilschalen
<b>Rotorblattlänge</b>	57,15 m	66,66 m	73,66 m
<b>Material</b>	Glasfaserverstärktes Epoxidharz, Karbonfasern und massive Metallspitze (SMT)		
<b>Befestigung der Rotorblätter</b>	Stahleinsätze zur Verankerung		
<b>Blattprofile</b>	Auftriebsprofil		
<b>Maximale Profilsehne</b>	4,0 m	4,1 m	4,2 m
<b>Profilsehne bei 90 % Rotorblatradius</b>	1,1 m	1,2 m	1,4 m

Tabelle 3-2: Rotorblattdaten

### 3.3 Blattlager

Die Blattlager ermöglichen den Blättern einen Betrieb mit unterschiedlichen Pitchwinkeln.

<b>Blattlager</b>	
<b>Art des Blattlagers (V117/V136)</b>	Zweireihige Vierpunktkugellager
<b>Art des Blattlagers (V150)</b>	Dreireihige Rollenlager
<b>Schmierung</b>	Manuelle Fettschmierung

Tabelle 3-3: Daten zum Blattlager

### 3.4 Pitchsystem

Die Windenergieanlage ist mit einem Pitchsystem für jedes Rotorblatt und einem Verteilerblock in der Nabe ausgestattet. Jedes Pitchsystem ist mit flexiblen Schläuchen an den Ventilblock angeschlossen. Der Ventilblock ist mit den Rohren der Drehdurchführung für die Hydraulik in der Nabe über drei Schläuche (Druckleitung, Rücklaufleitung und Ablassleitung) verbunden.

Jedes Pitchsystem besteht aus einem Hydraulikzylinder, der an der Nabe montiert ist. Die Kolbenstange ist über eine Momentarmwelle am Blattlager montiert. Ventile zum Unterstützen des Pitchzylinderbetriebs sind auf einem Pitchblock montiert, der direkt mit dem Zylinder verschraubt ist.

<b>Pitchsystem</b>	
<b>Typ</b>	Hydraulik
<b>Nummer</b>	1 pro Rotorblatt
<b>Bereich</b>	-10° bis 95°

Tabelle 3-4: Daten zum Pitchsystem

Hydrauliksystem	
Hauptpumpe	Zwei redundante interne Getriebeölpumpen
Druck	260 bar
Filtration	3 µm (absolut)

Tabelle 3-5: Daten zum Hydrauliksystem.

### 3.5 Nabe

Die Nabe nimmt die drei Rotorblätter auf, überträgt die Reaktionslasten auf das Hauptlager und das Drehmoment auf das Getriebe. Die Nabenstruktur stützt ebenfalls die Rotorblattlager und die Pitchzylinder.

Nabe	
Typ	Gusskugelschalennabe
Material	Gusseisen

Tabelle 3-6: Nabendaten

### 3.6 Hauptwelle

Die Hauptwelle überträgt die Reaktionskräfte auf das Hauptlager und das Drehmoment auf das Getriebe.

Hauptwelle	
Typbeschreibung	Hohlwelle
Material	Gusseisen oder geschmiedeter Stahl

Tabelle 3-7: Daten Hauptwelle

### 3.7 Hauptlagergehäuse

Das Hauptlagergehäuse umschließt das Hauptlager und ist der erste Verbindungspunkt des Triebstrangs mit dem Maschinenhausrahmen.

Hauptlagergehäuse	
Material	Gusseisen

Tabelle 3-8: Daten zum Hauptlagergehäuse

### 3.8 Hauptlager

Das Hauptlager nimmt die Axiallasten auf.

Hauptlager	
Typ	Zweireihiges Pendelrollenlager
Schmierung	Automatische Fettschmierung

Tabelle 3-9: Daten zum Hauptlager

### 3.9 Getriebe

Das Hauptgetriebe übersetzt die Rotordrehung mit niedriger Drehzahl in eine Generator-drehung mit hoher Drehzahl.

Die Scheibenbremse ist auf der schnellen Welle montiert. Das Schmiersystem des Getriebes ist eine druckgespeiste Einheit.

Getriebe	
Typ	Planetenstufen und eine Stirnradstufe
Material Getriebegehäuse	Guss
Schmiersystem	Druckgespeiste Ölschmierung
Ersatz-Schmiersystem	Ölsumpfbefüllung aus Falltank
Gesamt-Getriebeölvolumen	1000-1500
Ölreinheitscodes	ISO 4406-/15/12
Wellendichtringe	Labyrinth

Tabelle 3-10: Getriebedaten

### 3.10 Generatorlager

Die Lager sind fettgeschmiert. Das Fett wird kontinuierlich von einer automatischen Schmiereinheit bereitgestellt.

### 3.11 Kupplung der schnellen Welle

Die Kupplung überträgt das Drehmoment der schnellen Abtriebswelle des Getriebes auf die Antriebswelle des Generators.

Die Kupplung besteht aus zwei Schichtverbundpackungen mit je vier Verschraubungsstellen und einem Glasfaser-Zwischenrohr mit zwei Metallflanschen.

Die Kupplung ist über zweiarmige Flansche an der Bremsscheibe und der Generatornabe montiert.

### 3.12 Azimutsystem

Das Azimutsystem ist ein aktives System, dessen Grundlage ein robustes, vorgespanntes Gleitlager und PETP als Reibmaterial bilden.

Azimutsystem	
Typ	Gleitlagersystem
Material	Geschmiedeter Azimutkranz, vergütet. Gleitlagerflächen aus PETP
Windnachführ-geschwindigkeit (50 Hz)	0,45°/Sek.
Windnachführ-geschwindigkeit (60 Hz)	0,55°/Sek.

Tabelle 3-11: Daten zum Azimutsystem

Azimutgetriebe	
Typ	Mit mehrstufigem Getriebe
Übersetzungsverhältnis gesamt	944:1
Drehzahl bei Vollast	1,4 U/min an der Abtriebswelle

Tabelle 3-12: Daten zum Azimutgetriebe

### 3.13 Kran

Im Maschinenhaus ist der interne Servicekran für bis zur zulässigen Nutzlast (SWL) reichende Umschlagvorgänge untergebracht. Der Servicekran ist als Einzelsystem-Kettenzug ausgeführt.

Kran	
Hubkapazität	Maximum 800 kg

Tabelle 3-13: Daten zum Servicekran

### 3.14 Türme

Nach den erforderlichen Bauartzulassungen ausgestattete Rohrtürme mit Flanschverbindungen sind in unterschiedlichen Standardhöhen erhältlich. Bei den Türmen wurden die meisten Innenschweißnähte durch Magnetstützen ersetzt, um eine im Wesentlichen glatte Wand zu erzielen.

Magnete stützen die Last in waagerechter Richtung, und Inneneinbauten wie Plattformen, Leitern usw. werden senkrecht (d. h. in Schwerkraftrichtung) durch eine mechanische Verbindung gestützt. Die glatte Turmkonstruktion reduziert die erforderliche Stahlstärke und macht den Turm im Vergleich zu Türmen mit verschweißten Inneneinbauten leichter.

Verfügbare Nabenhöhen sind in den Leistungsspezifikationen für die jeweilige WEA-Version aufgelistet. Die aufgeführten Nabenhöhen enthalten einen Abstand von der Fundamentsektion zur Bodenhöhe von je nach Stärke des Bodenflansches etwa 0,2 m sowie einen Abstand vom oberen Turmflansch zur Mitte der Nabe von 2,2 m.

Türme	
Typ	Zylindrisches/konisches Rohr

Tabelle 3-14: Daten zur Turmkonstruktion

### 3.15 Maschinenhausrahmen und -dach

Das Maschinenhausdach besteht aus Glasfaser. Im Boden befinden sich Luken zum Auf- oder Abkranen von Ausrüstung ins Maschinenhaus und zum Evakuieren von Personen. Der Dachbereich ist mit Windsensoren und Dachluken ausgestattet.

Die Dachluken können vom Maschinenhausinneren geöffnet werden, um Zugang zum Dach zu erhalten, und von außen, um Zugang zum Maschinenhaus zu erhalten. Der Zugang zum Maschinenhaus vom Turm aus erfolgt durch das Azimutsystem hindurch.

Der Maschinenhausrahmen besteht aus zwei Teilen, einem Gusseisenteil vorn und einer Trägerkonstruktion hinten. Der Vorderteil des Maschinenhausrahmens dient als Unterbau für den Triebstrang, der die Kräfte über das Azimutsystem vom Rotor auf den Turm überträgt. Die Unterseite ist bearbeitet und mit dem Azimutlager verbunden. Die sechs Azimutgetriebe sind mit dem vorderen Maschinenhausrahmen verschraubt.

Die Kranträger sind am oberen Maschinenhausrahmen befestigt. Die unteren Träger der Trägerkonstruktion sind am hinteren Ende miteinander verbunden. Der hintere Teil des Maschinenhausrahmens dient als Unterbau für die Steuerkonsolen, das Kühlsystem und den Transformator. Das Maschinenhausdach ist auf dem Maschinenhausrahmen installiert.

Typbeschreibung	Material
Maschinenhausdach	GFK
Vorderer Maschinenhausrahmen	Gusseisen
Hinterer Maschinenhausrahmen	Trägerkonstruktion

Tabelle 3-15: Daten zu Maschinenhausrahmen und -verkleidung

### 3.16 Wärmekonditionierungssystem (Klimaanlage)

Die Klimaanlage besteht aus wenigen, robusten Komponenten:

- Der Vestas CoolerTop® befindet sich oben an der Rückseite des Maschinenhauses. Der CoolerTop® stellt einen Freistrom-Luftkühler dar. Dadurch ist sichergestellt, dass sich keine elektrischen Komponenten der Klimaanlage außerhalb des Maschinenhauses befinden.
- Der CoolerTop® wird standardmäßig ohne Seitenabdeckungen geliefert. Seitenabdeckungen sind optional erhältlich.
- Das Flüssigkühlsystem, welches Getriebe, Hydrauliksysteme, Generator und Umrichter kühlt, wird durch ein elektrisch betriebenes Pumpensystem angetrieben.
- Die Zwangsluftkühlung für den Transformator ist mit einem Elektrolüfter ausgestattet.

#### 3.16.1 Generator- und Umrichterkühlung

Generator- und Umrichterkühlsysteme arbeiten parallel. Ein im Kühlkreislauf des Generators montiertes dynamisches Durchflussventil teilt den Kühlstrom. Die Kühlflüssigkeit entzieht dem Generator und der Umrichtereinheit über einen Freistrom-Luftkühler an der Oberseite des Maschinenhauses Wärme. Zusätzlich zu Generator, Umrichtereinheit und Kühler beinhaltet die Umwälzanlage eine Elektropumpe und ein thermostatisches Dreiwegeventil.

### 3.16.2 Getriebe- und Hydraulikkühlung

Getriebe- und Hydraulikkühlung sind parallel geschaltet. Ein im Kühlkreislauf des Getriebes montiertes dynamisches Durchflussventil teilt den Kühlstrom. Die Kühlflüssigkeit entzieht dem Getriebe und der Hydraulikstation über Wärmetauscher und einen Freistrom-Luftkühler an der Oberseite des Maschinenhauses Wärme.

Zusätzlich zu den Wärmetauschern und zum Kühler beinhaltet die Umwälzanlage eine Elektropumpe und ein thermostatisches Dreiwegeventil.

### 3.16.3 Transformatorkühlung

Der Transformator ist mit einer Zwangsluftkühlung ausgestattet. Das Lüftersystem besteht aus einem mittig platzierten Lüfter unterhalb des Umrichters und einem Lüftungskanal, der zu Stellen unterhalb der und zwischen den Mittel- und Niederspannungswicklungen des Transformators führt.

### 3.16.4 Maschinenhauskühlung

Die von mechanischen und elektrischen Installationen erzeugte Warmluft wird mittels eines im Maschinenhaus befindlichen Gebläsesystems aus dem Maschinenhaus abgeführt.

### 3.16.5 Optionale Luken für Lufteinlass

Bestimmte Lufteinlässe im Maschinenhaus können optional mit Luken ausgerüstet werden, die als Teil der Wärmeregulierungsstrategie betrieben werden können. Bei einer Unterbrechung der Stromnetzverbindung der Windenergieanlage werden die Luken automatisch geschlossen.

## 4 Elektrisches System

### 4.1 Generator

In die Windenergieanlage ist ein Dreiphasen-Induktionsgenerator mit Kurzschlussläufer eingebaut, der über ein Vollumrichtersystem an das Stromnetz angeschlossen ist. Das Generatorgehäuse ist so beschaffen, dass innerhalb des Stators und des Rotors Kühlluft zirkulieren kann.

Der Luft-Wasser-Wärmeaustausch erfolgt in einem externen Wärmetauscher.

Generator	
Typ	Asynchron mit Kurzschlussläufer
Nennleistung [P <sub>N</sub> ]	4250/4450 kW
Frequenz [f <sub>N</sub> ]	0–100 Hz
Spannung, Stator [U <sub>NS</sub> ]	3 x 800 V (bei Nenndrehzahl)
Anzahl der Pole	6
Wicklungstyp	Vakuumdruckimprägniert
Wicklungsverschaltung	Dreieck

Generator	
Nennzahl	1450–1550 U/min
Überdrehzahlgrenze gemäß IEC (2 Minuten)	2400 U/min
Generatorlager	Hybrid/Keramik
Temperatursensoren, Stator	Drei Pt100-Sensoren an kritischen Lastpunkten und drei als Reserve
Temperatursensoren, Lager	1 pro Lager
Isolierstoffklasse	H
Gehäuse	IP54

Tabelle 4-1: Daten zum Generator

## 4.2 Umrichter

Der Umrichter ist ein Vollumrichtersystem für die Steuerung des Generators und der Qualität des in das Stromnetz gespeisten Stroms. Das Umrichtersystem besteht aus drei maschinenseitigen Umrichtereinheiten und drei netzseitigen Umrichtereinheiten, die im Parallelbetrieb mit einer gemeinsamen Steuerung laufen.

Der Umrichter wandelt den frequenzvariablen Wechselstrom vom Generator in Festfrequenz-Wechselstrom mit den gewünschten, für das Stromnetz geeigneten Wirk- und Blindleistungswerten (und weiteren Stromnetzanschlussparametern) um.

Der Umrichter befindet sich im Maschinenhaus und hat eine netzseitige Nennspannung von 720 V. Die generatorseitige Nennspannung beträgt je nach Generatordrehzahl bis zu 800 V.

Umrichter	
Scheinnennleistung [ $S_N$ ]	5100 kVA
Nennspannung im Stromnetz	3 x 720 V
Nennspannung im Generator	3 x 800 V
Nennnetzstrom	4100 A ( $\leq 30$ °C Umgebungstemperatur)/4150 A ( $\leq 20$ °C Umgebungstemperatur)
Generatornennstrom	3600 A ( $\leq 30$ °C Umgebungstemperatur)/3650 A ( $\leq 20$ °C Umgebungstemperatur)
Gehäuse	IP54

Tabelle 4-2: Umrichterdaten

## 4.3 Mittelspannungstransformator

Der Mittelspannungstransformator befindet sich in einem separaten, verschlossenen Raum im hinteren Teil des Maschinenhauses.

Beim Transformator handelt es sich um einen dreiphasigen, dreigliedrigen, selbstauslöschenden Trockentransformator mit zwei Wicklungen. Die Wicklungen sind auf der Mittelspannungsseite als Dreieck und auf der Niederspannungsseite sternförmig geschaltet.

Der Transformator entspricht den IEC-Normen, erfüllt aber auch die von der EU-Kommission festgelegte europäische (Ökodesign-)Verordnung (EU) Nr. 548/2014. Siehe Tabelle 4-3.

#### 4.3.1 Ökodesign – IEC 50/60 Hz-Version

Transformator	
<b>Typbeschreibung</b>	Ökodesign-Trockengießharz-Transformator.
<b>Grundstruktur</b>	Dreiphasiger, dreigliedriger Transformator mit zwei Wicklungen
<b>Zugrunde gelegte Normen</b>	IEC 60076-11, IEC 60076-16, IEC 61936-1, Verordnung der Europäischen Kommission Nr. 548/2014.
<b>Kühlung</b>	AF
<b>Nennleistung</b>	5150 kVA
<b>Nennspannung, WEA-seitig</b>	
<b>U<sub>m</sub> 1,1 kV</b>	0,720 kV
<b>Nennspannung, netzseitig</b>	
<b>U<sub>m</sub> 24,0 kV</b>	15,7–22,0 kV
<b>U<sub>m</sub> 36,0 kV</b>	22,1–33,0 kV
<b>U<sub>m</sub> 40,5 kV</b>	33,1–36,0 kV
<b>Isolationspegel AC/LI/LIC</b>	
<b>U<sub>m</sub> 1,1 kV</b>	3 <sup>1</sup> /3/3 kV
<b>U<sub>m</sub> 24,0 kV</b>	50 <sup>1</sup> /125/125 kV
<b>U<sub>m</sub> 36,0 kV</b>	70 <sup>1</sup> /170/170 kV
<b>U<sub>m</sub> 40,5 kV</b>	80 <sup>1</sup> /170/170 kV
<b>Stufenschalter für den lastlosen Zustand</b>	±2 x 2,5 %
<b>Frequenz</b>	50/60 Hz
<b>Schaltgruppe</b>	Dyn5
<b>Leerlaufstrom <sup>2</sup></b>	~0,5 %
<b>Positive Kurzschluss-Mitimpedanz bei Nennleistung, Referenztemperatur nach IEC 60076-11 <sup>3</sup></b>	9,9 %
<b>Positiver Kurzschluss-Mitwiderstand bei Nennleistung, Referenztemperatur nach IEC 60076-11 <sup>2</sup></b>	~0,8 %
<b>Null-Kurzschluss-Mitimpedanz bei Nennleistung, Referenztemperatur nach IEC 60076-11 <sup>2</sup></b>	~8,3 %
<b>Null-Kurzschluss-Mitwiderstand bei</b>	~0,7 %

Transformator	
<b>Nennleistung, Referenztemperatur nach IEC 60076-11<sup>2</sup></b>	
<b>Leerlaufblindleistung<sup>2</sup></b>	~ 20 kVAr
<b>Vollastblindleistung<sup>2</sup></b>	~550 kVAr
<b>Einschaltspitzenstrom<sup>2</sup></b>	5–8 x $\hat{I}_n$ A
<b>Halbe Scheitelwert-Zeit<sup>2</sup></b>	~0,6 s
<b>Schalleistungspegel</b>	≤ 80 dB(A)
<b>Durchschnittlicher Temperaturanstieg in der max. Höhe</b>	≤ 90 K
<b>Maximale Höhe<sup>4</sup></b>	2000 m
<b>Isolierklasse</b>	
<b>NS-Spule</b>	155 (F)
<b>MS-Spule</b>	155 (F) oder 180 (H)
<b>Umweltklasse</b>	E2
<b>Klimaklasse</b>	C2
<b>Brandschutzklasse</b>	F1
<b>Korrosionsschutzklasse</b>	C4
<b>Gewicht</b>	≤11.000 kg
<b>Temperaturüberwachung</b>	Pt100-Sensoren in Niederspannungswicklungen und Kern
<b>Überspannungsschutz</b>	Überspannungsableiter an Mittelspannungsklemmen
<b>Temporäre Erdung</b>	Drei Erdungspunkte mit Ø 25 mm

*Tabelle 4-3: Transformator Daten zur Ökodesign-IEC-50-Hz-/60-Hz-Version*

Die Transformatorverlustgrenzen werden bei Nennleistung als Kombination aus Nennlastverlust und Leerlaufverlust angegeben, die den Peak Efficiency Index (PEI) der Ökodesign-Anforderungen erfüllen müssen.

Die Maximalverluste werden durch die PEI-Grenzwerte in Abschnitt

Abbildung 4-1 und erstrecken sich über einen Bereich zwischen der Verlustvariante 1 und 2. Die Werte der Verlustvarianten werden basierend auf der Energieverlustoptimierung mit dem WEA-Benutzerprofil ausgewählt. Daher ist der Energieverlust der Transformatoren zwischen Verlustvariante 1 und 2 vergleichbar.



Abbildung 4-1 Transformatorverluste – zulässiger Bereich

Die tatsächlichen Nennlastverluste variieren je nach Betriebsmodus der Anlage. Daher sind in Tabelle 4-4 die Nennlastverluste bei unterschiedlichen Betriebsarten für die beiden Verlustvarianten angegeben. Weitere Neuberechnungen der Nennlastverluste bei verschiedenen Betriebsmodi sind Abbildung 4-2 zu entnehmen.

Transformatorverluste			
Peak Efficiency Index (PEI)	> 99.354		
Verlustvariante 1			
Leerlaufverlust	7,75 kW		
Nennlastverlust unter Leistung, Referenztemperatur nach IEC 60076-11	bei 5150 kVA	bei 4200 kVA <sup>5</sup>	bei 4000 kVA <sup>5</sup>
	≤35,7 kW	≤23,8 kW	≤ 21,6 kW
Verlustvariante 2			
Leerlaufverlust	8,5 kW		
Nennlastverlust unter Leistung, Referenztemperatur nach IEC 60076-11	bei 5150 kVA	bei 4200 kVA <sup>5</sup>	bei 4000 kVA <sup>5</sup>
	≤32,55 kW	≤21,7 kW	≤19,7 kW

Tabelle 4-4: Transformatorverluste Ökodesign-IEC-50-Hz-/60-Hz-Version

**HINWEIS**

- <sup>1</sup> Bei 1000 m. Gemäß IEC 60076-11 ist die Wechselstrom-Prüfspannung höhenabhängig.
- <sup>2</sup> Basierend auf den berechneten Durchschnittswerten, über verschiedene Spannungen und Hersteller gemittelt.
- <sup>3</sup> Gemäß IEC-Norm-Toleranzen.

<sup>4</sup> Die max. Höhe des Transformators lässt sich dem Standort der Windenergieanlage entsprechend einstellen.

<sup>5</sup> Informationswerte auf der Grundlage des Betriebsmodus, siehe Abbildung 4-2

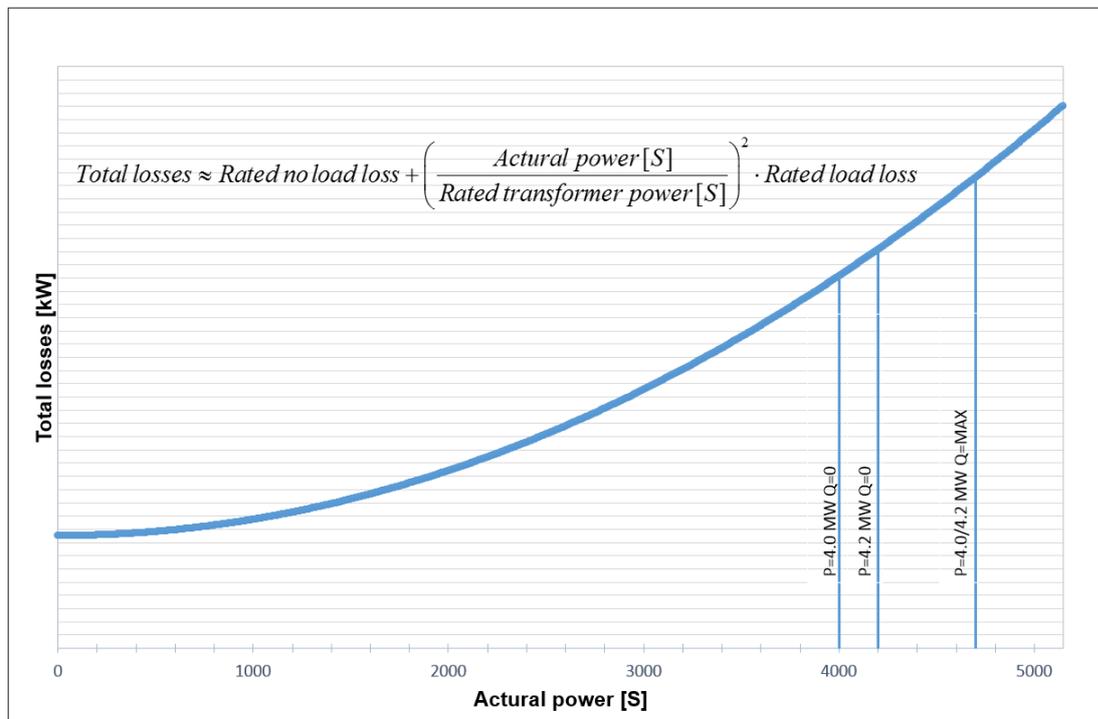


Abbildung 4-2: Gesamtverluste gegenüber tatsächlicher Leistung.

#### 4.4 Mittelspannungskabel

Das Mittelspannungskabel verläuft vom Transformator im Maschinenhaus am Turm hinunter zur Mittelspannungsschaltanlage in der untersten Turmsektion. Das Mittelspannungskabel kann aus zwei verschiedenen Konstruktionen bestehen:

- Ein dreiadriges, kautschukisoliertes, halogenfreies Mittelspannungskabel mit einem dreiadrigen geteilten Erdleiter.
- Ein vieradriges, kautschukisoliertes, halogenfreies Mittelspannungskabel.

<b>Mittelspannungskabel</b>	
<b>Mittelspannungskabelisolierung</b>	Verbesserter Werkstoff EPR auf Ethylen-Propylen-(EP-)Basis oder hochmodularer bzw. Hart-Ethylen-Propylen-Kautschuk HEPR
<b>vorkonfektioniert</b>	MS-Abschluss im Transformatorende T-Verbinder Typ C in Schaltanlagenende
<b>Maximale Spannung</b>	24 kV bei 19,1–22,0 kV Nennspannung 42 kV bei 22,1–36,0 kV Nennspannung
<b>Leiterquerschnitte</b>	3 x 70/70 mm <sup>2</sup> (einzelner PE-Kern) 3 x 70 + 3 x 70/3 mm <sup>2</sup> (geteilter PE-Kern)

Tabelle 4-5: Daten zu den Mittelspannungskabeln

## 4.5 Mittelspannungsschaltanlage

Im Turmkeller wird eine gasisolierte Schaltanlage als integraler Bestandteil der Windenergieanlage installiert. Deren Steuerung ist in das Sicherungssystem der Windenergieanlage integriert, das den Zustand der Schaltanlage sowie der für die Mittelspannungssicherheit relevanten Geräte innerhalb der Windenergieanlage überwacht. Das System wird als „Ready to Protect“ bezeichnet und gewährleistet, dass bei jeglicher Spannungsbeaufschlagung von Mittelspannungskomponenten der Windenergieanlage sämtliche Schutzvorrichtungen zuverlässig funktionieren. Um sicherzustellen, dass die Schaltanlage stets zum Auslösen bereit ist, ist sie mit redundanten Auslösekreisen, die aus einer aktiven Auslösespule und einer Unterspannungsspule bestehen, ausgestattet.

Bei einem Netzausfall trennt der Leistungsschalter nach einer einstellbaren Zeit die Windenergieanlage vom Netz.

Wenn das Netz wieder verfügbar ist, werden alle relevanten Schutzeinrichtungen automatisch über die USV hochgefahren.

Sind alle Schutzeinrichtungen wieder in Betrieb, wird der Leistungsschalter nach einer einstellbaren Zeit wieder geschlossen. Diese Wiederschließen-Funktion kann außerdem für die Einrichtung einer sequenziellen Unterspannungsetzung eines Windparks verwendet werden, um gleichzeitige Anlaufströme von allen Windenergieanlagen zu vermeiden, sobald nach einem Ausfall wieder Netz vorhanden ist.

Falls der Leistungsschalter aufgrund einer Fehlererkennung ausgelöst hat, wird der Leistungsschalter so lange für eine Wiederverbindung blockiert, bis ein manuelles Rücksetzen durchgeführt worden ist.

Um unbefugten Zutritt zum Transformatorraum bei aufgeschalteter Spannung zu verhindern, enthält der Erdungsschalter des Leistungsschalters ein Schlüsselverriegelungssystem, dessen Gegenstück an der Zugangstür zum Transformatorraum angebracht ist.

Die Schaltanlage ist in drei Varianten mit zunehmendem Funktionsumfang erhältlich; siehe Tabelle 4-6. Darüber hinaus lässt sich die Schaltanlage entsprechend der Zahl an Versorgungsnetzkabeln konfigurieren, die in die jeweilige Windenergieanlage eintreten sollen. Die Konstruktion des

Schaltanlagen-systems ist dahingehend optimiert, dass solche Versorgungsnetz-kabel sich noch vor Errichtung des Turms an die Schaltanlage anschließen lassen; dank ihrer gasdichten Abdichtung bietet sie dennoch bereits dann Schutz vor Niederschlag- und Kondenswasserabscheidung im Innern.

Die Schaltanlage steht in einer IEC- und in einer IEEE-Version zur Verfügung. Letztere ist allerdings nur in der höchsten Spannungs-klasse erhältlich. Die elektrischen Parameter der Schaltanlage zur IEC-Version sind Tabelle 4-7, die zur IEEE-Version Tabelle 4-8 zu entnehmen.

<b>Mittelspannungsschaltanlage</b>			
<b>Variante</b>	<b>Basis</b>	<b>Optimiert</b>	<b>Standard</b>
IEC-Normen	○	⊙	⊙
IEEE-Normen	⊙	○	⊙
Vakuum-Leistungsschalterkonsole	⊙	⊙	⊙
Überstrom-, Kurzschluss- und Erdungsfehlerschutz	⊙	⊙	⊙
Leistungsschalter/Erdungsschalter in Leistungsschalterkonsole	⊙	⊙	⊙
Anzeigesystem für an Leistungsschalter anliegende Spannung	⊙	⊙	⊙
Anzeigesystem für an Versorgungsnetz-kabeln anliegende Spannung	⊙	⊙	⊙
Doppelte Versorgungsnetz-kabelverbindung	⊙	⊙	⊙
Dreifache Versorgungsnetz-kabelverbindung	⊙	○	○
Vorkonfigurierte Relaiseinstellungen	⊙	⊙	⊙
Integration des WEA-Sicherheitssystems	⊙	⊙	⊙
Redundante Auslösespulenkreise	⊙	⊙	⊙
Auslösespulenüberwachung	⊙	⊙	⊙
Handbedienung außerhalb des Turms	⊙	⊙	⊙
Sequenzielle Unterspannungsetzung	⊙	⊙	⊙
Wiedereinschaltblockadefunktion	⊙	⊙	⊙
Heizelemente	⊙	⊙	⊙
Schlüsselverriegelungssystem für Leistungsschalterkonsole	⊙	⊙	⊙
Motorbetrieb des Leistungsschalters	⊙	⊙	⊙
Kabelkonsole für Versorgungsnetz-kabel (konfigurierbar)	○	⊙	⊙
Lasttrennschalterkonsolen für Versorgungsnetz-kabel – max. drei Konsolen (konfigurierbar)	○	⊙	⊙
Erdungsschalter für Versorgungsnetz-kabel	○	⊙	⊙
Interne Störlichtbogenklassifizierung	○	⊙	⊙

Mittelspannungsschaltanlage			
Variante	Basis	Optimiert	Standard
Überwachung der Miniaturtrennschalter	○	⊙	⊙
Motorbetätigung der Lasttrennschalter	○	○	⊙
SCADA-Betätigung und Rückmeldung des Leistungsschalters	○	○	⊙
SCADA-Betätigung und Rückmeldung der Lasttrennschalter	○	○	⊙

Tabelle 4-6: Varianten und Funktionsumfang der Mittelspannungsschaltanlage

#### 4.5.1 IEC-50-Hz/60-Hz-Version

Mittelspannungsschaltanlage	
<b>Typbeschreibung</b>	Gasisolierte Schaltanlage
<b>Zugrunde gelegte Normen</b>	IEC 62271-103 IEC 62271-1, 62271-100, 62271-102, 62271-200, IEC 60694
<b>Isoliermedium</b>	SF <sub>6</sub>
<b>Bemessungsspannung</b>	
<b>U<sub>r</sub> 24,0 kV</b>	15,7–22,0 kV
<b>U<sub>r</sub> 36,0 kV</b>	22,1–33,0 kV
<b>U<sub>r</sub> 40,5 kV</b>	33,1–36,0 kV
<b>Bemessungs-Isolationspegel AC // LI Üblicher Wert/über den Isolierabstand</b>	
<b>U<sub>r</sub> 24,0 kV</b>	50/60/125/145 kV
<b>U<sub>r</sub> 36,0 kV</b>	70/80/170/195 kV
<b>U<sub>r</sub> 40,5 kV</b>	85/90/185/215 kV
<b>Bemessungsfrequenz</b>	50/60 Hz
<b>Bemessungs-Betriebsstrom</b>	630 A
<b>Bemessungs-Kurzzeithaltestrom</b>	
<b>U<sub>r</sub> 24,0 kV</b>	20 kA
<b>U<sub>r</sub> 36,0 kV</b>	25 kA
<b>U<sub>r</sub> 40,5 kV</b>	25 kA
<b>Bemessungs-Stehspitzenstrom 50/60 Hz</b>	
<b>U<sub>r</sub> 24,0 kV</b>	50/52 kA
<b>U<sub>r</sub> 36,0 kV</b>	62,5/65 kA
<b>U<sub>r</sub> 40,5 kV</b>	62,5/65 kA
<b>Kurzschluss-Bemessungsdauer</b>	1 s
<b>Störlichtbogenklassifizierung (Option)</b>	
<b>U<sub>r</sub> 24,0 kV</b>	IAC A FLR 20 kA, 1 s
<b>U<sub>r</sub> 36,0 kV</b>	IAC A FLR 25 kA, 1 s
<b>U<sub>r</sub> 40,5 kV</b>	IAC A FLR 25 kA, 1 s
<b>Anschlusschnittstelle</b>	Außenkegel-Plug-in-Buchsen, IEC-Schnittstelle C1.
<b>Kategorie der Betriebsverfügbarkeit (LSC)</b>	LSC2
<b>Schutzart</b>	
<b>Gasvorratsbehälter</b>	IP 65

<b>Mittelspannungsschaltanlage</b>	
<b>Gehäuse</b>	IP 2X
<b>Niederspannungs-Schaltschrank</b>	IP 3X
<b>Korrosionsschutzklasse</b>	C3

*Tabelle 4-7: Daten zur Mittelspannungsschaltanlage in der IEC-Version*

#### 4.5.2 IEEE 60-Hz-Version

<b>Mittelspannungsschaltanlage</b>	
<b>Typbeschreibung</b>	Gasisolierte Schaltanlage
<b>Zugrunde gelegte Normen</b>	IEEE 37.20.3, IEEE C37.20.4, IEC 62271-200, ISO 12944.
<b>Isoliermedium</b>	SF <sub>6</sub>
<b>Bemessungsspannung</b>	
	<b>U<sub>r</sub> 38,0 kV</b> 22,1–36,0 kV
<b>Bemessungs-Isolationspegel AC/LI</b>	70/150 kV
<b>Bemessungsfrequenz</b>	60 Hz
<b>Bemessungs-Betriebsstrom</b>	600 A
<b>Bemessungs-Kurzzeithaltstrom</b>	25 kA
<b>Bemessungs-Stehspitzenstrom</b>	65 kA
<b>Kurzschluss-Bemessungsdauer</b>	1 s
<b>Störlichtbogenklassifizierung (Option)</b>	IAC A FLR 25 kA, 1 s
<b>Anschlusschnittstellen-Versorgungsnetz-kabel</b>	Außenkegel-Plug-in-Buchsen, IEEE-386-Schnittstelle vom Typ Deadbreak, 600 A.
<b>Schutzart</b>	
	<b>Gasvorratsbehälter</b> NEMA 4X/IP 65
	<b>Gehäuse</b> NEMA 2/IP 2X
	<b>Niederspannungs-Schaltschrank</b> NEMA 2/IP 3X
<b>Korrosionsschutzklasse</b>	C3

Tabelle 4-8: Daten zur Mittelspannungsschaltanlage in der IEEE-Version

#### 4.6 AUX-System

Das AUX-(Hilfs-)System wird von einem separaten 650/400/230-V-Transformator gespeist, der im Maschinenhaus im Umrichterschrank aufgestellt ist. Alle Motoren, Pumpen, Lüfter und Heizungen werden von diesem System versorgt.

230-V-Verbraucher werden von einem 400/230-V-Transformator gespeist, der im Turmfundament aufgestellt ist. Die interne Heizung und die Lüftung der Schaltschränke sowie eine spezifische Option für 230-V-Verbraucher werden von einem Eigenbedarfstransformator im Umrichterschrank gespeist.

<b>Stromanschlüsse</b>	
<b>Einphasig (Maschinenhaus)</b>	230 V (16 A) (Standard) 110 V (16 A) (Option) 2 x 55 V (16 A) (Option)
<b>Einphasig (Turmplattformen)</b>	230 V (10 A) (Standard) 110 V (16 A) (Option) 2 x 55 V (16 A) (Option)
<b>Dreiphasig (Maschinenhaus und Turmfundament)</b>	3 x 400 V (16 A)

Tabelle 4-9: Daten zum Hilfssystem

#### 4.7 Windsensoren

Die Windenergieanlage ist mit zwei Ultraschallwindsensoren ausgestattet. Die Sensoren sind mit integrierten Heizelementen ausgerüstet, um Störungen durch Eis und Schnee zu minimieren. Da die Windsensoren redundant sind, ist die Windenergieanlage auch mit nur einem Sensor funktionsfähig.

#### 4.8 Vestas Multi Processor (VMP) Controller

Die Windenergieanlage wird von der Steuerung VMP8000 gesteuert und überwacht.

Bei VMP8000 handelt es sich um eine Multiprozessor-Steuerung, die aus einer Hauptsteuerung, dezentralen Steuerungsknoten, dezentralen IO-Knoten und Ethernet-Schaltern sowie anderen Netzwerkkomponenten besteht. Die Hauptsteuerung befindet sich im Turmfuß der Windenergieanlage. Sie führt die Steueralgorithmen der Windenergieanlage aus und ist für die IO-Kommunikation zuständig.

Bei dem Kommunikationsnetzwerk handelt es sich um ein zeitgesteuertes Ethernet-Netzwerk (TTEthernet).

Das VMP8000-Steuerungssystem erfüllt folgende Hauptfunktionen:

- Überwachung des Gesamtbetriebs.
- Synchronisierung des Generators mit dem Netz während des Aufschaltvorgangs.
- Betrieb der Windenergieanlage bei unterschiedlichen Fehlerzuständen
- Automatische Windnachführung des Maschinenhauses
- OptiTip®-Rotorblatt-Pitchregelung
- Blindleistungsregelung und Betrieb mit variabler Drehzahl
- Verringerung der Geräuschemissionen
- Überwachung der Umgebungsbedingungen
- Stromnetzüberwachung
- Überwachung des Rauchmeldesystems

#### 4.9 Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)

Bei einem Netzausfall versorgt eine USV bestimmte Komponenten mit Strom.

Das USV-System besteht aus drei Teilsystemen:

1. der 230-VAC-USV als Reservespannungsversorgung für das Maschinenhaus und den Nabensteuerungssystemen
2. der 24-VDC-USV als Reservespannungsversorgung für die Steuerungssysteme im Turmfuß und optional für den SCADA Power Plant Controller
3. der 230-VAC-USV als Reservespannungsversorgung für Innenbeleuchtung in Turm und Maschinenhaus. Die Innenbeleuchtung in der Nabe wird durch integrierte Batterien in den Leuchten gespeist.

USV		
Autonomiezeitraum	Standard	Optional
<b>Steuerungssystem*</b> <b>(230-VAC- und 24-VDC-USV)</b>	15 min	Bis zu 400 min**
<b>Innenbeleuchtung</b> <b>(230-VAC-USV)</b>	30 min	60 min***
<b>Optionaler SCADA Power Plant Controller</b> <b>(24-VDC-USV)</b>	N/A	48 Stunden****

Tabelle 4-10: USV-Daten

\* Das Steuerungssystem umfasst: die Steuerung der Windenergieanlage (VMP8000), Mittelspannungsschaltanlagenfunktionen und Fernüberwachung.

\*\* Upgrade der 230-VAC-USV für Steuerungssystem mit zusätzlichen Batterien notwendig.

\*\*\* Upgrade der 230-VAC-USV für Innenbeleuchtung mit zusätzlichen Batterien notwendig.

\*\*\*\* Upgrade der 24-VDC-USV mit zusätzlichen Batterien notwendig.

**HINWEIS** Angaben zu alternativen Autonomiezeiträumen können bei Vestas erfragt werden.

## 5 WEA-Schutzsysteme

### 5.1 Bremskonzept

Die Hauptbremse der Windenergieanlage ist aerodynamischer Art. Das Anhalten der Windenergieanlage erfolgt, indem die drei Rotorblätter in volle Fahnenstellung gebracht werden (einzelnes Drehen der einzelnen Rotorblätter). Jedes Rotorblatt verfügt über einen hydraulischen Druckspeicher als Energieversorgung zum Drehen des Rotorblatts.

Zusätzlich ist eine mechanische Scheibenbremse an der schnellen Welle des Getriebes mit einem separaten Hydrauliksystem vorhanden. Die mechanische Bremse wird ausschließlich als Feststellbremse und beim Betätigen der Not-Stopp-Taster verwendet.

**5.2 Kurzschlusschutz**

Trennschalter	Trennschalter für Not-Stromversorgung. Gesicherter Trennschalter (T5V-HA 400A TMA 800V) und Notstrom-Trennschalter (T4V-HA 125A TMA 800V), die gemeinsam getestet wurden.	Trennschalter 1 für Umrichtermodule MTZ2 1600 A 1000 V	Trennschalter 2 für Umrichtermodule MTZ2 3200 A 1000 V
<b>Abschaltleistung, I<sub>cu</sub>, I<sub>cs</sub></b>	75 kA Effektivwert @ max. 840 V I <sub>cs</sub> = 100 %	66 kA Effektivwert @ max. 1000 V I <sub>cs</sub> = 100 %	66 kA Effektivwert @ max. 1000 V I <sub>cs</sub> = 100 %
<b>Einschaltleistung, I<sub>cm</sub></b>	166 kA Spitzenwert @ max. 840 V	145 kA Spitzenwert @ max. 1000 V	145 kA Spitzenwert @ max. 1000 V

Tabelle 5-1: Daten zum Kurzschlusschutz

**5.3 Überdrehzahlschutz**

Die Drehzahl von Generator und Hauptwelle wird von induktiven Sensoren erfasst und von der Steuerung der Windenergieanlage berechnet, um vor Überdrehzahl und Drehfehlern zu schützen.

Die sicherheitsrelevante Partition der VMP8000-Steuerung überwacht die Rotordrehzahl. Bei Überdrehzahl löst die sicherheitsrelevante Partition der VMP8000-Steuerung unabhängig von der nicht sicherheitsrelevanten Partition die Notfahnenstellung (volle Fahnenstellung) der drei Rotorblätter aus.

Überdrehzahlschutz	
<b>Sensortyp</b>	Induktiv
<b>Auslösewert (je nach Version)</b>	12,0-17,5 U/min/2000 (Generatordrehzahl)

Tabelle 5-2: Daten zum Überdrehzahlschutz

**5.4 Lichtbogendetektor**

Die Windenergieanlage ist mit einem Lichtbogen-Nachweissystem einschließlich mehrerer Lichtbogendetektoren ausgestattet, die im Mittelspannungs-Transformatorraum und im Umrichterschrank angeordnet sind. Das Lichtbogen-Nachweissystem ist an das Sicherheitssystem der Windenergieanlage angeschlossen, wodurch sichergestellt wird, dass sich die Mittelspannungsschaltanlage sofort öffnet, wenn ein Lichtbogen festgestellt wird.

## 5.5 Rauchmeldesystem

Die Windenergieanlage ist mit einem Rauchmeldesystem ausgerüstet, das mehrere Rauchmelder im Maschinenhaus (oberhalb der Scheibenbremse), im Transformatorenraum und oberhalb der Mittelspannungsschaltanlage im Turmfuß einschließt. Das Rauchmeldesystem ist an das Sicherheitssystem der Windenergieanlage angeschlossen, wodurch sichergestellt ist, dass sich die Mittelspannungsschaltanlage bei Raucherkenntung sofort öffnet.

## 5.6 Blitzschutz von Rotorblättern, Maschinenhaus, Rotorblattnabe und Turm

Die Blitzschutzanlage (BSA) schützt die Windenergieanlage vor Sachschäden durch Blitzschläge. Die BSA besteht aus fünf Hauptkomponenten:

- Blitzrezeptoren. Alle Blitzrezeptorflächen an den Rotorblättern, außer den Massivmetallspitzen (SMT), sind unlackiert.
- Ableitungssystem (ein System, um den Blitzstrom durch die Windenergieanlage nach unten abzuleiten, um Schäden am LPS selbst oder an anderen Teilen der Windenergieanlage zu vermeiden oder zu vermindern).
- Überspannungs- und Überstromschutz
- Abschirmung gegen magnetische und elektrische Felder
- Erdungssystem.

V136-Blätter und V150-Blätter:

Blitzschutzkonstruktionsparameter			Schutzklasse I
Stromspitzenwert	$i_{max}$	[kA]	200
Impulsladung	$Q_{impulse}$	[C]	100
Langzeitladung	$Q_{long}$	[C]	200
Gesamtladung	$Q_{total}$	[C]	300
Spezifische Energie	W/R	[MJ/Ω]	10
Durchschnittliche Steilheit	di/dt	[kA/μs]	200

Tabelle 5-3: Blitzschutzkonstruktionsparameter (IEC)

Nabe/Maschinenhaus/Turm/Fundament und V117-Blätter:

Blitzschutzkonstruktionsparameter			Schutzklasse I
Stromspitzenwert	$i_{max}$	[kA]	200
Impulsladung	$Q_{impulse}$	[C]	200
Langzeitladung	$Q_{long}$	[C]	600
Gesamtladung	$Q_{total}$	[C]	800
Spezifische Energie	W/R	[MJ/Ω]	20
Durchschnittliche Steilheit	di/dt	[kA/μs]	200

Tabelle 5-4: Blitzschutzkonstruktionsparameter (IEC & JIS)

**HINWEIS** Das Blitzschutzsystem ist nach den IEC- und JIS-Normen konstruiert (siehe Abschnitt 8 Auslegungsrichtlinien, Seite 28).

### 5.7 EMV

Die Windenergieanlage und die zugehörige Ausrüstung erfüllen die EU-Rechtsvorschriften zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV):

- RICHTLINIE 2014/30/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit.

### 5.8 Erdung

Das Vestas-Erdungssystem besteht aus einer Reihe von einzelnen Erdungseinheiten, die zu einem gemeinsamen Erdungssystem verbunden sind.

Das Vestas-Erdungssystem umfasst das TN-System und das Blitzschutzsystem für jede Windenergieanlage. Es dient als Erdungssystem für das Mittelspannungs-Verteilssystem innerhalb des Windparks.

Das Vestas-Erdungssystem ist an die unterschiedlichen Fundamentarten angepasst. Das Erdungssystem ist detailliert entsprechend der jeweiligen Fundamentart in separaten Unterlagen beschrieben.

Bezüglich des Blitzschutzes der Windenergieanlage fordert Vestas keinen bestimmten, in Ohm gemessenen Widerstand zur Bezugserde. Die Erdung der Blitzschutzsysteme basiert auf dem Aufbau und der Bauweise des Vestas-Erdungssystems.

Ein wichtiger Teil des Vestas-Erdungssystems ist die Hauptpotentialausgleichsschiene, die sich am Kabeleintritt aller Zuleitungen zur Windenergieanlage befindet. Alle Erdungselektroden sind mit dieser Hauptpotentialausgleichsschiene verbunden. Zusätzlich sind Potentialausgleichsverbindungen an allen Zu- oder Ableitungen der Windenergieanlage installiert.

Die Anforderungen der Spezifikation und der Arbeitsanweisungen für das Vestas-Erdungssystem entsprechen den Mindestanforderungen von Vestas und den IEC-Normen. Lokale und nationale sowie projektspezifische Anforderungen können gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen erforderlich machen.

## 5.9 Korrosionsschutz

Die Klassifizierung des Korrosionsschutzes folgt der Norm EN ISO 12944-2.

Korrosionsschutz	Außenbereiche	Innenbereiche
Maschinenhaus	C5-M	C3
Nabe	C5-M	C3
Turm	C5-I	C3

Tabelle 5-5: Daten zum Korrosionsschutz zu Maschinenhaus, Nabe und Turm

## 6 Sicherheit

Mit den im vorliegenden Abschnitt enthaltenen Sicherheitspezifikationen werden in beschränktem Umfang allgemeine Informationen zur Sicherheitsausstattung der Windenergieanlage bereitgestellt. Sie entbinden den Käufer und seine Vertreter nicht von seiner Pflicht, alle erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen zu treffen, zu denen u. a. Folgendes zählt: (a) Erfüllen aller geltenden Vereinbarungen, Anweisungen und Anforderungen bezüglich Sicherheit, Betrieb, Wartung und Service; (b) Erfüllen aller sicherheitsrelevanten Gesetze, Vorschriften und Verordnungen und (c) Durchführen aller erforderlichen Sicherheitsschulungen und -fortbildungen.

### 6.1 Zugang

Zugang zur Windenergieanlage besteht von außen über eine Tür an der Eingangsplattform, ca. drei Meter über dem Boden. Die Tür ist mit einem Schloss versehen. Der Zugang zur oberen Plattform im Turm erfolgt über eine Leiter oder einen Transportaufzug. Zugang zum Maschinenhaus von der oberen Plattform aus besteht über eine Leiter. Der Zugang zum Transformatorraum im Maschinenhaus ist durch ein Schloss gesichert. Unberechtigter Zugriff auf Elektroschalttafeln und Stromtafeln in der Windenergieanlage ist gemäß IEC 60204-1 2006 untersagt.

## 6.2 Flucht

Zusätzlich zu den normalen Zugangswegen führen alternative Flucht- und Rettungswege aus dem Maschinenhaus durch die Kranluke, aus der Nabenabdeckung durch Öffnen des Nasenkonus oder vom Dach des Maschinenhauses. Die Rettungsausrüstung befindet sich im Maschinenhaus.

Die Luke im Dach kann von innen und außen geöffnet werden. Die Flucht aus dem Transportaufzug erfolgt über die Leiter.

Ein Notfallschutzplan in der Windenergieanlage beschreibt die Evakuierung und die Flucht- und Rettungswege.

## 6.3 Räume/Arbeitsbereiche

Turm und Maschinenhaus sind mit Stromanschlüssen für Elektrowerkzeuge zur Wartung und Instandhaltung der Windenergieanlage ausgestattet.

## 6.4 Böden, Plattformen, Steh- und Arbeitsplätze

Alle Plattformen weisen eine rutschfeste Oberfläche auf.

Pro Turmsektion ist ein Boden vorhanden.

Ruheplattformen sind alle neun Meter an der Turmleiter zwischen den Plattformen angebracht.

In der Windenergieanlage sind Fußstützen für Wartungs- und Servicezwecke angebracht.

## 6.5 Transportaufzug

Die Windenergieanlage wird optional mit montiertem Transportaufzug geliefert.

## 6.6 Aufstiegsmöglichkeiten

Die Turmleiter ist mit einem Fallsicherungssystem ausgestattet, entweder einem Schienen- oder Drahtseilsystem.

Die Servicebereiche in den Windenergieanlagen sind mit Anschlagpunkten ausgestattet. Der Anschlagpunkt kann zur Arbeitspositionierung, zur Rückhaltesicherung, zum Fallschutz und zum Anbringen einer Abstiegsvorrichtung verwendet werden, um die Rettung oder Flucht aus der Windenergieanlage zu ermöglichen.

Anschlagpunkte sind gelb markiert und für 22,5 kN getestet.

## 6.7 Bewegliche Teile, Schutzeinrichtungen und Sperrvorrichtungen

Alle beweglichen Teile im Maschinenhaus sind abgeschirmt.

Die Windenergieanlage ist mit einer Rotorarretierung zur Sperrung von Rotor und Triebstrang ausgestattet.

Die Zylinderstellung kann mit mechanischen Werkzeugen in der Nabe blockiert werden.

## 6.8 Beleuchtung

Die Windenergieanlage ist im Turm, im Maschinenhaus und in der Nabe beleuchtet.

Für den Fall eines Stromausfalls ist eine Notbeleuchtung vorhanden.

## 6.9 Notstopp

In Maschinenhaus, Nabe und in der untersten Turmsektion sind Not-Stopp-Taster angebracht.

## 6.10 Unterbrechung der Stromversorgung

Die Windenergieanlage ist mit Trennschaltern ausgestattet, die ein Abschalten der gesamten Stromzufuhr bei Inspektions- oder Wartungsmaßnahmen ermöglichen. Die Schalter sind beschildert und befinden sich im Maschinenhaus und in der untersten Turmsektion.

## 6.11 Brandschutz/Erste Hilfe

Im Maschinenhaus müssen während Service und Wartung ein 5-kg- bis 6-kg-CO<sub>2</sub>-Feuerlöscher, ein Erste-Hilfe-Kasten und eine Feuerlöschdecke vorhanden sein.

- Ein 5-kg- bis 6-kg-CO<sub>2</sub>-Feuerlöscher ist nur bei Service und Wartung erforderlich, es sei denn, im Maschinenhaus ist die dauerhafte Anbringung eines Feuerlöschers behördlich vorgeschrieben.
- Erste-Hilfe-Kästen sind nur bei Service und Wartung erforderlich.
- Feuerlöschdecken müssen nur bei nicht-elektrischen heißen Arbeiten vorhanden sein.

## 6.12 Warnschilder

Im Inneren oder an der Außenseite der Windenergieanlage angebrachte Warnschilder müssen vor Betrieb oder Wartung der Windenergieanlage zur Kenntnis genommen werden.

## 6.13 Handbücher und Warnhinweise

Das „Vestas Firmenhandbuch zum Arbeitsschutz“ sowie Handbücher für Betrieb, Wartung und Service der Windenergieanlage bieten zusätzliche Sicherheitshinweise und -informationen für Betrieb, Wartung oder Instandhaltung der Windenergieanlage.

## 7 Environment

### 7.1 Chemikalien

In der Windenergieanlage verwendete Chemikalien werden gemäß dem Umweltsystem von Vestas Wind Systems A/S beurteilt, das nach ISO

14001:2015 zertifiziert ist. Innerhalb der Windenergieanlage kommen die folgenden Chemikalien zum Einsatz:

- Frostschutzmittel zum Vermeiden des Einfrierens des Kühlsystems.
- Getriebeöl zum Schmieren des Getriebes.
- Hydrauliköl zum Pitchen der Rotorblätter und Betätigen der Bremse.
- Fett zum Schmieren der Lager.
- Unterschiedliche Reinigungsmittel und -chemikalien zur Wartung der Windenergieanlage.

## 8 Auslegungsrichtlinien

### 8.1 Auslegungsrichtlinien – Baukonstruktion

Die Konstruktion der Windenergieanlage wurde u. a. gemäß den folgenden Normen entwickelt und getestet:

Auslegungsrichtlinien	
<b>Maschinenhaus und Nabe</b>	IEC 61400-1: Ausgabe 3 EN 50308
<b>Turm</b>	IEC 61400-1: Ausgabe 3 Eurocode 3
<b>Rotorblätter</b>	DNV-OS-J102 IEC 1024-1 IEC 60721-2-4 IEC 61400 (Teile 1, 12 und 23) IEC WT 01 IEC DEFU R25 ISO 2813 DS/EN ISO 12944-2
<b>Getriebe</b>	IEC 61400-4
<b>Generator</b>	IEC 60034
<b>Transformator</b>	IEC 60076-11, IEC 60076-16, CENELEC HD637 S1
<b>Blitzschutz</b>	IEC 62305-1: 2006 IEC 62305-3: 2006 IEC 62305-4: 2006 IEC 61400-24:2010 JIS C 1400-24 2014
<b>Drehende elektrische Maschinen</b>	IEC 34
<b>Sicherheit von Maschinen, Sicherheitsrelevante Teile von Steuerungen</b>	IEC 13849-1
<b>Maschinensicherheit – elektrische Ausrüstung von Maschinen</b>	IEC 60204-1

Tabelle 8-1: Auslegungsrichtlinien

## 9 Farben

### 9.1 Maschinenhausfarbe

Farbe von Vestas Nacelles	
Standard-Maschinenhausfarbe	RAL 7035 (Hellgrau)
Standard-Logo	Vestas

Tabelle 9-1: Farbe, Maschinenhaus

### 9.2 Turmfarbe

Farbe von Vestas-Turmsektionen		
	Außen:	Innen:
Standard-Turmfarbe	RAL 7035 (Hellgrau)	RAL 9001 (Cremeweiß)

Tabelle 9-2: Farbe, Turm

### 9.3 Rotorblattfarbe

Rotorblattfarbe	
Standard-Rotorblattfarbe	RAL 7035 (Hellgrau). Alle Blitzrezeptorflächen an den Rotorblättern, außer den Massivmetallspitzen (SMT), sind unlackiert.
Farbvarianten Tip-Ende	RAL 2009 (Verkehrsorange), RAL 3020 (Verkehrsrot)
Glanzgrad	< 30 % DS/EN ISO 2813

Tabelle 9-3: Farbe, Rotorblätter

## 10 Leitfaden für Betriebsbereichsbedingungen und Leistungsmerkmale

Die tatsächlichen Klima- und Standortbedingungen weisen viele Variablen auf und sind bei der Beurteilung der tatsächlichen Windenergieanlagenleistung zu berücksichtigen. Die Auslegungs- und Betriebsparameter in diesem Abschnitt stellen keine Garantien, Gewährleistungen und Zusicherungen bezüglich der Windenergieanlagenleistung an tatsächlichen Standorten dar.

**10.1 Klima- und Standortbedingungen**

Die Werte beziehen sich auf die Nabenhöhe:

Auslegungsparameter-Extremwerte	
Windklima	Alle
Umgebungstemperaturbereich (Windenergieanlage für Standardtemperatur)	-40 °C bis +50 °C

Tabelle 10-1: Auslegungsparameter für Betrieb unter Extrembedingungen

**10.2 Betriebsbereich – Temperatur und Höhe**

Nachstehende Werte beziehen sich auf die Nabenhöhe und hängen von den Sensoren und der Steuerung der Windenergieanlage ab.

Betriebsbereich – Temperatur	
Umgebungstemperaturbereich (V117 und V136 Standardanlage)	-20 °C bis +45 °C
Umgebungstemperaturbereich (V117 und V136 Windenergieanlage für Niedrigtemperaturgebiete)	-30 °C bis +45 °C
Umgebungstemperaturbereich (V150 Standardanlage)	-30 °C bis +45 °C

Tabelle 10-2: Betriebsbereich – Temperatur

**HINWEIS**

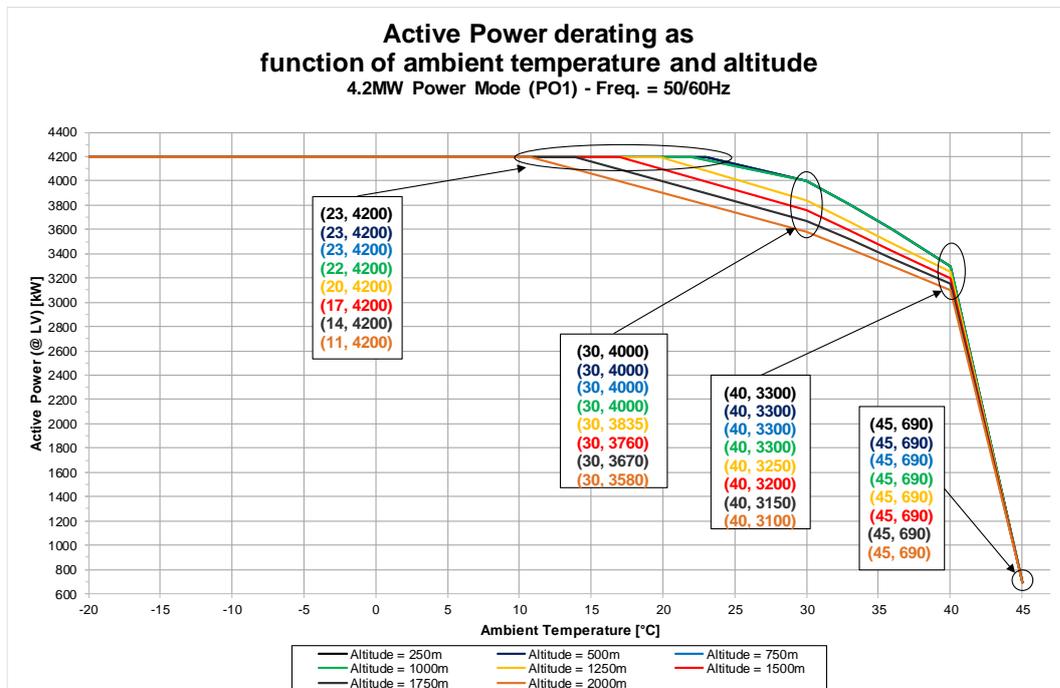
Die Windenergieanlage stellt die Energieerzeugung ein, sobald die Umgebungstemperaturen auf über +45 °C steigen.

Niedrigtemperatur-Optionen der Windenergieanlage können bei Vestas erfragt werden.

Die Windenergieanlage ist standardmäßig für den Betrieb in Höhen bis 1000 m ü. d. M. und optional für bis zu 2000 m ü. d. M. ausgelegt.

**10.3 Betriebsbereich – Temperatur und Höhe**

Nachstehende Werte beziehen sich auf die Nabenhöhe und hängen von den Sensoren und der Steuerung der Windenergieanlage ab. Bei Umgebungstemperaturen über einem Grenzwert, wie Abbildung 10-1 unten dargestellt, hält die Windenergieanlage eine gedrosselte Produktion aufrecht. Die



gedrosselten Werte sind abhängig von der Höhe der Windenergieanlage.

Abbildung 10-1: Temperaturabhängiger gedrosselter Betrieb.

Die Grafik zeigt die Drosselungskurve bei PO1. Modus 0, LO1 und LO2 folgen der gleichen Drosselungskurve, jedoch mit einer Nennleistung bei jeweils 4,0 MW, 3,8 MW und 3,6 MW.

## 10.4 Betriebsbereich – Netzanschluss

Betriebsbereich – Netzanschluss		
Nennphasenspannung	[U <sub>NP</sub> ]	720 V
Nennfrequenz	[f <sub>N</sub> ]	50/60 Hz
Max. Frequenzgradient	±4 Hz/s	
Max. negative Gegenspannung	3 % (Anschluss) 2 % (Betrieb)	
Gefordertes Leerlauf-Kurzschluss-Mindestverhältnis beim Anschluss der Windenergieanlage an das Mittelspannungsnetz	5.0 (Vestas für niedrigere Kurzschlussverhältnisse kontaktieren)	
Maximaler Kurzschlussstrom	1,05 pu (Dauerbetrieb) 1,45 pu (Spitze)	

Tabelle 10-3: Betriebsbereich – Netzanschluss

Der Generator und der Umrichter werden in folgenden Fällen getrennt:\*

Schutzeinstellungen	
Spannung 1800 s lang über 110 % des Nennwerts	792 V
Spannung 60 s lang über 116 % des Nennwerts	835 V
Spannung 2 s lang über 125 % des Nennwerts	900 V
Spannung 0,150 s lang über 136 % des Nennwerts	979 V
Spannung 180 s lang unter 90 %** des Nennwerts (FRT)	648 V
Spannung 12 s lang unter 85 % des Nennwerts (FRT)	612 V
Spannung 4 s lang unter 80 % des Nennwerts (FRT)	576 V
Frequenz 0,2 s lang über 106 % des Nennwerts	53/63,6 Hz
Frequenz 0,2 s lang unter 94 % des Nennwerts	47/56,4 Hz

Tabelle 10-4: Trennwerte für Generator und Umrichter

### HINWEIS

\* Während der Lebensdauer der Windenergieanlage sollten durchschnittlich nicht mehr als 50 Netzausfälle innerhalb eines Jahres auftreten.

\*\* Die Windenergieanlage kann für einen dauerhaften Betrieb bei Spannungsschwankungen von ±13 % konfiguriert werden. Die Blindleistungskapazität ist für diesen erweiterten Einstellungsbereich auf einen noch festzulegenden Wert begrenzt.

Alle Angaben zu Schutzeinstellungen sind vorläufig und können eine Änderung erfahren.

### 10.5 Betriebsbereich – Blindleistungskapazität im 4,0-MW-Modus 0

Die Blindleistungskapazität der 4,0-MW-Windenergieanlage im Modus 0 auf der Niederspannungsseite des Mittelspannungstransformators ist in Abbildung 10-2 dargestellt:

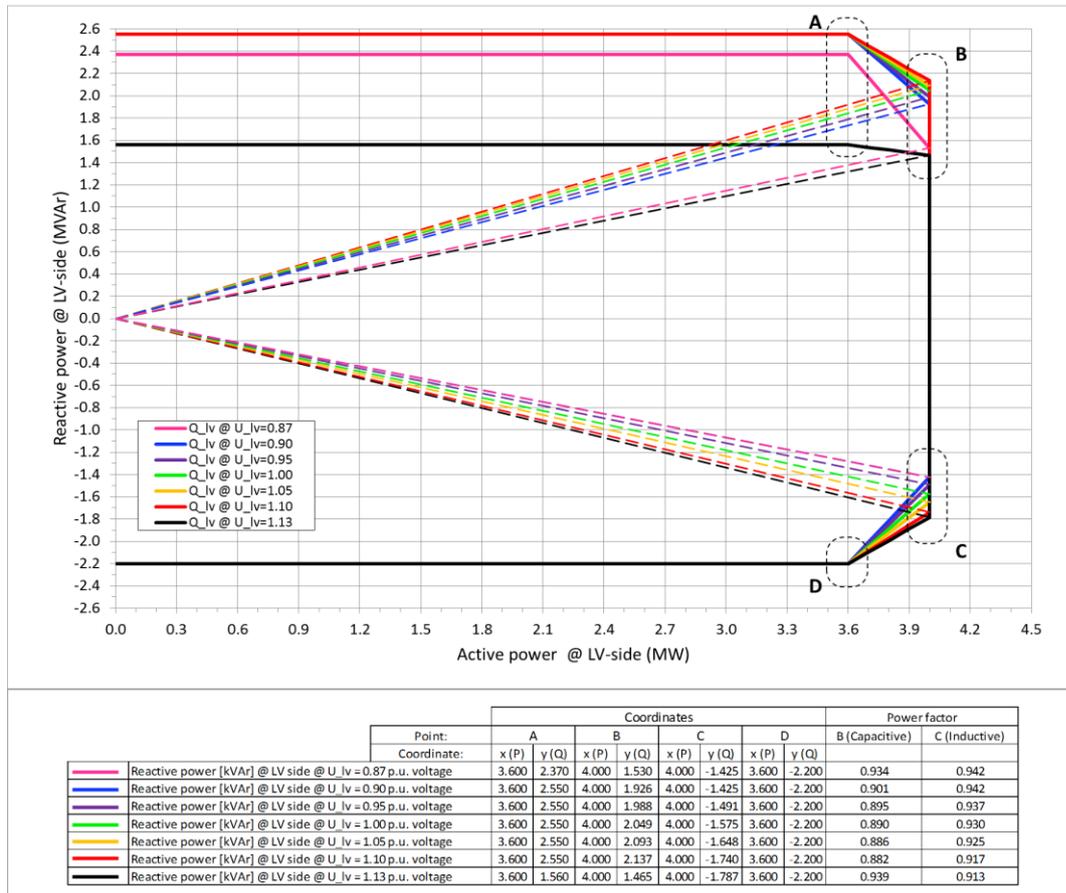


Abbildung 10-2: Blindleistungskapazität im 4,0-MW-Modus 0.

Beim Betrieb mit der Nennleistung von 4,0 MW auf der Niederspannungsseite des Mittelspannungstransformators beträgt die Blindleistungskapazität auf der Mittelspannungsseite des Mittelspannungstransformators ca.:

- $\cos \varphi$  (Mittelspannung) = 0,95/0,90 kapazitiv/induktiv bei U (Mittelspannung) = 0,90 pu-Spannung
- $\cos \varphi$  (Mittelspannung) = 0,93/0,87 kapazitiv/induktiv bei U (Mittelspannung) = 1,10 pu-Spannung

Blindleistung wird durch den Vollumrichter erzeugt. Daher werden keine herkömmlichen Kondensatoren in der Windenergieanlage verwendet.

Die Windenergieanlage kann die Blindleistungskapazität bei schwachem Wind ohne erzeugte Wirkleistung halten.

**HINWEIS**

Im 4,0-MW-Modus 0 wird oberhalb von +30 °C Umgebungstemperatur bei ≤ 1000 m ü. d. M. gedrosselt, siehe Abbildung 10-1.

### 10.6 Betriebsbereich – Blindleistungskapazität im blindleistungsoptimierten 4,0-MW-Modus (QO1)

Optional ist im blindleistungsoptimierten 4,0-MW-Modus (QO1) bei einer Umgebungstemperatur von unter +20 °C und einer Höhe von ≤ 1000 m ü. d. M. eine erweiterte Blindleistungskapazität möglich. Die entsprechende Blindleistungskapazität ist in Abbildung 10-3 dargestellt:

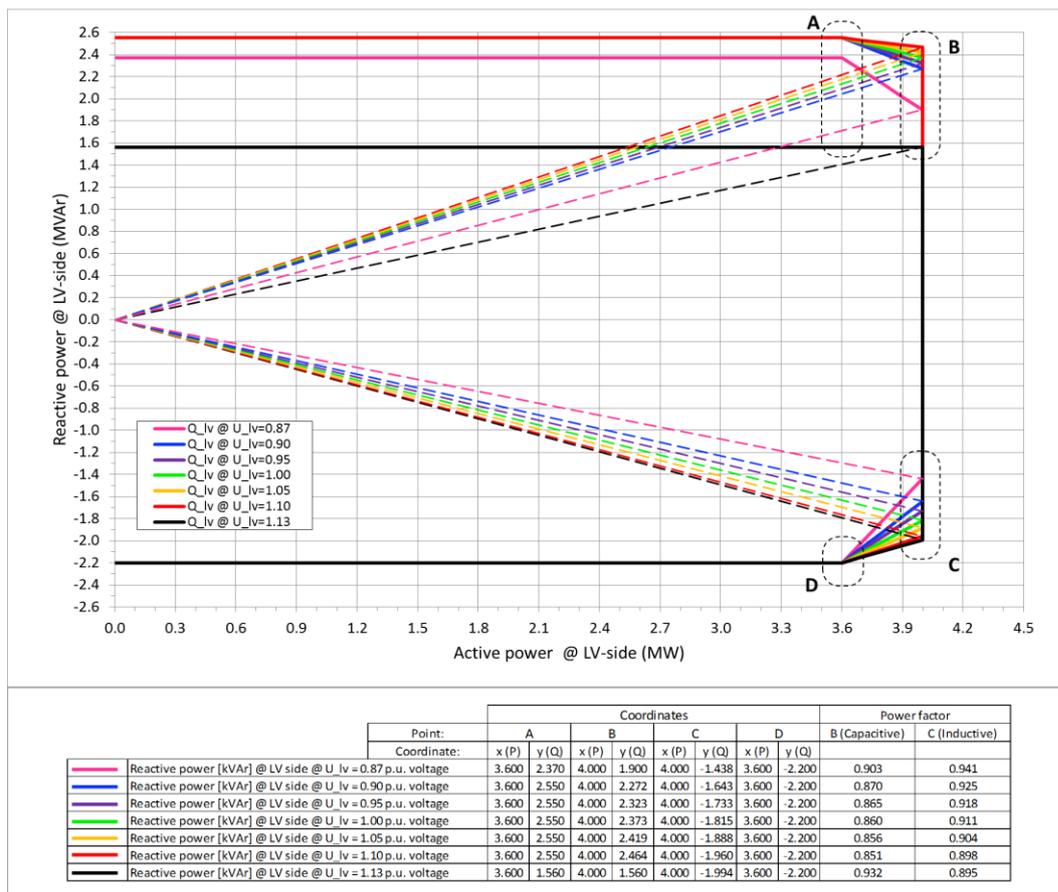


Abbildung 10-3: Blindleistungskapazität im blindleistungsoptimierten 4,0-MW-Modus (QO1).

Beim Betrieb im blindleistungsoptimierten 4,0-MW-Modus (QO1) auf der Niederspannungsseite des Mittelspannungstransformators beträgt die Blindleistungskapazität auf der Mittelspannungsseite des Mittelspannungstransformators ca.:

- $\cos \phi$  (Mittelspannung) = 0,92/0,88 kapazitiv/induktiv bei U (Mittelspannung) = 0,90 pu-Spannung
- $\cos \phi$  (Mittelspannung) = 0,90/0,85 kapazitiv/induktiv bei U (Mittelspannung) = 1,10 pu-Spannung

Die Windenergieanlage kann die Blindleistungskapazität bei schwachem Wind ohne erzeugte Wirkleistung halten.

**HINWEIS**

Im blindleistungsoptimierten 4,0-MW-Modus (QO1) wird die Blindleistung bei einer Umgebungstemperatur von mehr als +20 °C und einer Höhe von ≤ 1000 m

---

ü. d. M. linear heruntergeregelt und konvergiert bei +30 °C mit der  
Blindleistungskapazität des 4,0-MW-Modus-0, wie in Abbildung 10-2 gezeigt.

---

### 10.7 Betriebsbereich – Blindleistungskapazität im leistungsoptimierten 4,2-MW-Modus (PO1)

Die Blindleistungskapazität im leistungsoptimierten 4,2-MW-Modus (PO1) ist in Abbildung 10-4 dargestellt:

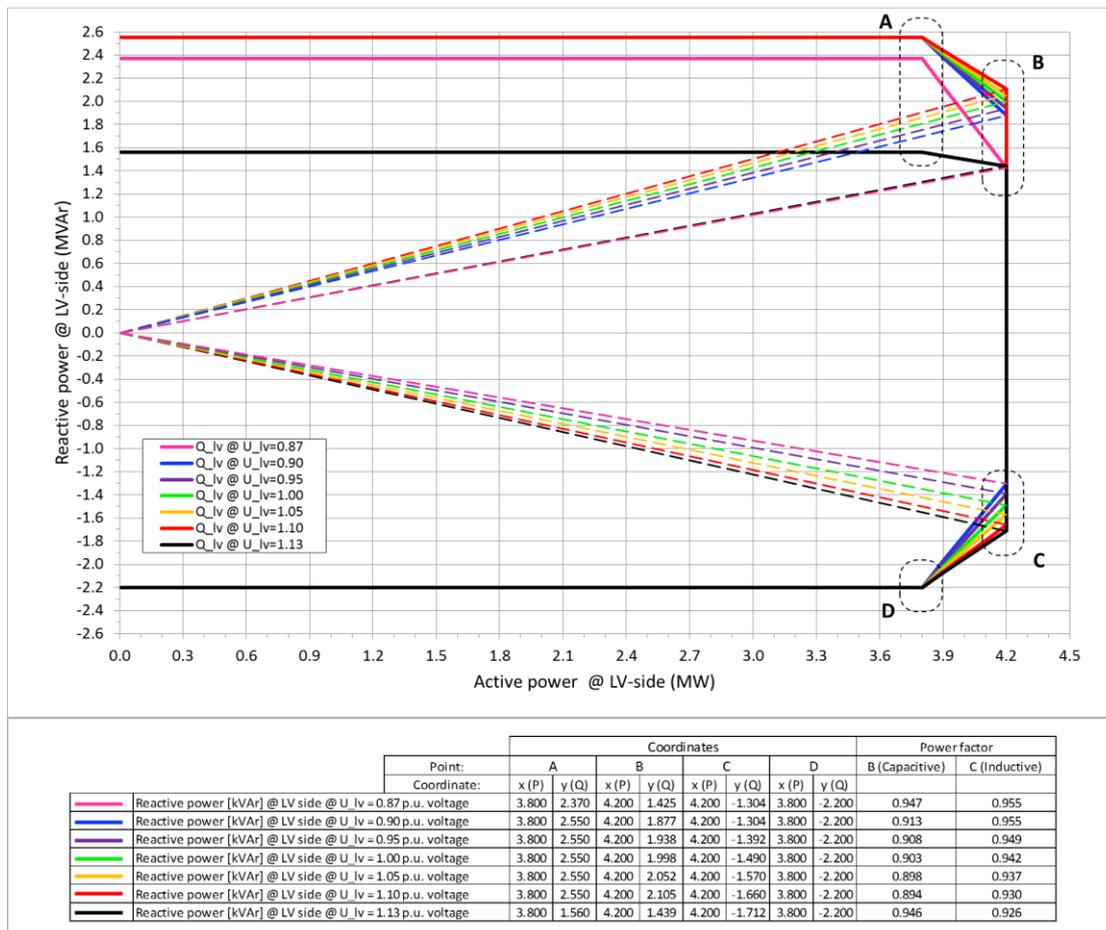


Abbildung 10-4: Die Blindleistungskapazität im leistungsoptimierten 4,2-MW-Modus (PO1).

Beim Betrieb im leistungsoptimierten 4,2-MW-Modus (PO1) auf der Niederspannungsseite des Mittelspannungstransformators beträgt die Blindleistungskapazität auf der Mittelspannungsseite des Mittelspannungstransformators ca.:

- $\cos \varphi$  (Mittelspannung) = 0,95/0,91 kapazitiv/induktiv bei U (Mittelspannung) = 0,90 pu-Spannung
- $\cos \varphi$  (Mittelspannung) = 0,94/0,88 kapazitiv/induktiv bei U (Mittelspannung) = 1,10 pu-Spannung

Die Windenergieanlage kann die Blindleistungskapazität bei schwachem Wind ohne erzeugte Wirkleistung halten.

**HINWEIS**

Im leistungsoptimierten 4,2-MW-Modus (PO1) wird oberhalb von +20 °C Umgebungstemperatur bei ≤1000 m ü. d. M. heruntergeregelt, siehe Abbildung 10-1.

---

Der leistungsoptimierte 4,2-MW-Modus (PO1) und der 4,0 MW  
blindleistungsoptimierte Modus (QO1) schließen sich gegenseitig aus (da Q  
gegen P getauscht wird).

---

### 10.8 Leistungsmerkmal – Durchfahren von Netzfehlern

Die Windenergieanlage ist mit einem Vollumrichter ausgestattet, damit sie bei Stromnetzstörungen besser geregelt werden kann. Die Steuerung der Windenergieanlage ist auch bei Netzstörungen voll funktionsfähig.

Die Windenergieanlage ist so ausgelegt, dass sie sich bei Stromnetzstörungen innerhalb der Spannungstoleranzkurve wie dargestellt nicht vom Stromnetz trennt:

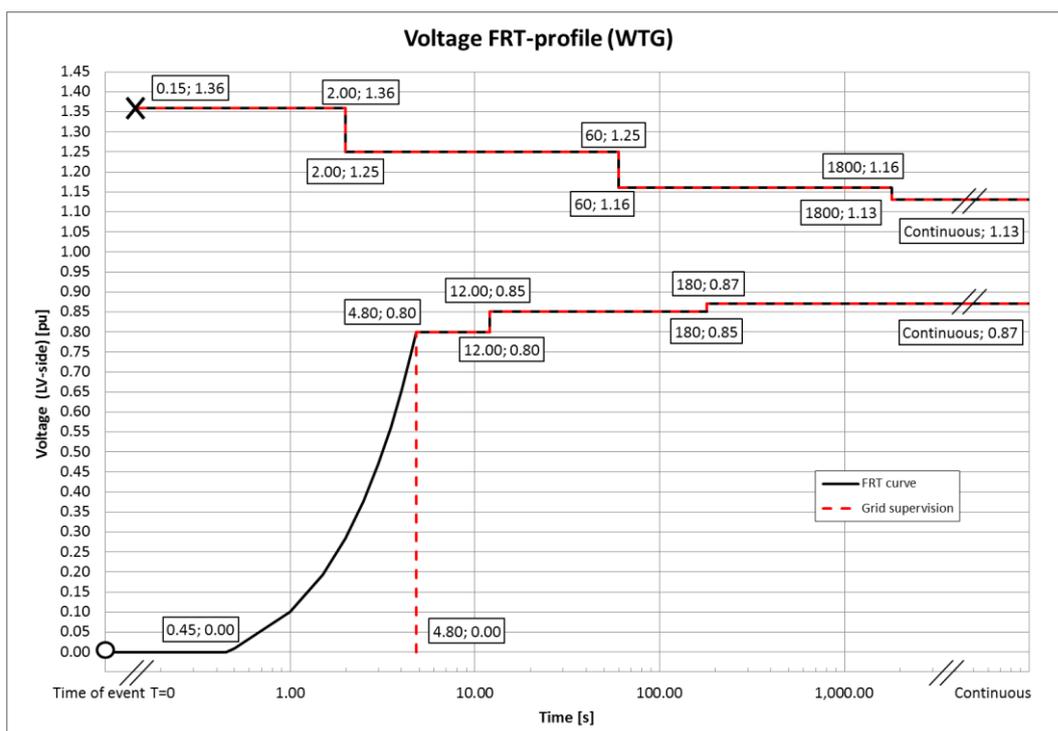


Abbildung 10-5: Spannungstoleranzkurve für symmetrische und asymmetrische Störungen, wobei U die gemessene Spannung im Stromnetz darstellt.

Bei Stromnetzstörungen außerhalb der Schutzkurve in Abbildung 10-5 wird die Windenergieanlage vom Stromnetz getrennt.

**HINWEIS**

Alle Angaben zur Kapazität beim Durchfahren von Netzfehlern sind vorläufig und vorbehaltlich etwaiger Änderungen.

Zeitspanne bis zur Leistungswiederherstellung	
Leistungswiederherstellung auf 90 % des Niveaus vor einer Störung	max. 0,1 s

Tabelle 10-5: Zeitspanne bis zur Leistungswiederherstellung

## 10.9 Leistung – Blindstrombeitrag

Der Blindstrombeitrag hängt davon ab, ob die auf die Windenergieanlage einwirkende Störung symmetrischer oder asymmetrischer Art ist.

### HINWEIS

Alle Angaben zum Blindstrombeitrag sind vorläufig und vorbehaltlich etwaiger Änderungen.

### 10.9.1 Symmetrischer Blindstrombeitrag

Während symmetrischer Spannungsabfälle speist der Windpark zur Stützung der Stromnetzspannung Blindstrom ein. Der eingespeiste Blindstrom ist eine Funktion der gemessenen Stromnetzspannung.

Der Standardwert ergibt einen Blindstromanteil von 1 pu des Nennstroms an der Mittelspannungsseite des Mittelspannungstransformators. Abbildung 10-6 stellt den Blindstrombeitrag als eine Funktion der Spannung dar. Der Blindstrombeitrag ist unabhängig von den tatsächlichen Windbedingungen und dem Leistungsniveau vor einer Störung. Wie in Abbildung 10-6 dargestellt, ist der Gradient für die Blindstromeinspeisung mit einem Blindstrom von 2 % des Nennstroms pro 1 % Spannungsfall definiert. Der Anstieg kann zur Anpassung an die standortspezifischen Anforderungen auf einen Wert von 0–10 % parametrisiert werden.

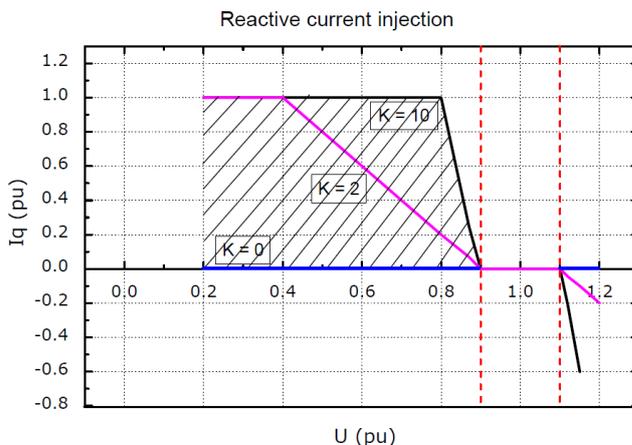


Abbildung 10-6: Blindstromeinspeisung

### 10.9.2 Asymmetrischer Blindstrombeitrag

Der Blindstrom beruht auf der gemessenen positiven Sequenzspannung und dem verwendeten k-Faktor. Während asymmetrischer Spannungsabfälle wird die Blindstromeinspeisung auf ca. 0,4 pu beschränkt, um einen möglichen Spannungsanstieg auf die gesunden Phasen zu begrenzen.

## 10.10 Leistung – Mehrfache Spannungsabfälle

Die Windenergieanlage ist so ausgelegt, dass sie Automatische Wiedereinschaltungen (AWE) und mehrfache Spannungsabfälle innerhalb einer kurzen Zeitspanne vertragen kann, da solche Spannungsabfälle nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt sind. Beispielsweise stellen zehn

Spannungsabfälle einer Dauer von jeweils 200 ms innerhalb von 30 Minuten auf 20 % der Spannung in der Regel kein Problem für die Windenergieanlage dar.

### 10.11 Leistung – Regelung von Wirk- und Blindleistung

Die Windenergieanlage kann Wirk- und Blindleistung über das VestasOnline®-SCADA-System regeln.

Max. Anstiegsrate für externe Steuerung	
<b>Wirkleistung</b>	0,1 pu/s bei einer max. Leistungsniveauänderung um 0,3 pu
	0,3 pu/s bei einer max. Leistungsniveauänderung um 0,1 pu
<b>Blindleistung</b>	20 pu/s

*Tabelle 10-6: Anstiegsraten für Wirk-/Blindleistung (Werte sind vorläufig)*

Zur Unterstützung der Stromnetzstabilität ist die Windenergieanlage in der Lage, bei Wirkleistungsreferenzen bis 10 % der Nennleistung der Windenergieanlage mit dem Stromnetz verbunden zu bleiben. Bei Wirkleistungsreferenzen unter 10 % kann es zur Trennung der Windenergieanlage vom Stromnetz kommen.

### 10.12 Leistungsmerkmal – Spannungsregelung

Die Windenergieanlage ist für eine Integration in die Spannungsregelung VestasOnline® durch Ausnutzung der Blindleistungskapazität der Anlage konzipiert.

### 10.13 Leistung – Frequenzregelung

Die Windenergieanlage lässt sich zur Frequenzregelung durch Begrenzung der abgegebenen Leistung als Funktion der Netzfrequenz (Überfrequenz) konfigurieren. Totbereich und Anstieg sind für die Frequenzregelungsfunktion einstellbar.

### 10.14 Verzerrung – Störfestigkeit

Die Windenergieanlage lässt sich mit einem (Hintergrund-)Spannungsklirrfaktor von 8 % vor Anschluss an die Netzschnittstelle anschließen und nach Anschluss mit einem Spannungsklirrfaktor von 8 % betreiben.

### 10.15 Hauptbeitragende zum Eigenverbrauch

Der Stromverbrauch der Windenergieanlage ist als der Energiebetrag definiert, den die Windenergieanlage aufnimmt, wenn sie keine Energie an das Stromnetz liefert. Dies ist im Steuersystem als Production Generator 0 (Null) definiert.

Die in Tabelle 10-7 aufgeführten Komponenten haben den größten Einfluss auf den Eigenbedarf der Windenergieanlage (Der durchschnittliche Eigenverbrauch hängt von den vorherrschenden Bedingungen, dem Klima, der Windenergieanlagenleistung, den Abschaltzeiten usw. ab.).

Die VMP8000-Steuerung verfügt über einen Ruhemodus, durch den der Eigenbedarf nach Möglichkeit reduziert wird. Ebenso können die Kühlpumpen ausgeschaltet werden, wenn sich die Windenergieanlage im Leerlauf befindet.

<b>Hauptbeitragende zum Eigenbedarf</b>	
<b>Hydraulikmotor</b>	2 x 15 (V117)/18,5 kW (V136 + V150) (master-slave)
<b>Azimutmotoren</b>	Maximal insgesamt 21 kW
<b>Wassererwärmung</b>	10 kW
<b>Wasserpumpen</b>	2,2 + 5,5 kW
<b>Ölerwärmung</b>	7,9 kW
<b>Ölpumpe für Getriebschmierung</b>	12,5 kW
<b>Steuerung einschließlich Heizelementen für die Hydraulik und alle Steuerungen</b>	ungefähr 3 kW
<b>Leerlaufverlust Mittelspannungstransformator</b>	siehe Abschnitt 4.3 Mittelspannungstransformator auf Seite 14.

*Tabelle 10-7: Angaben zu den Hauptbeitragenden zum Eigenbedarf (Werte sind vorläufig).*

## 11 Zeichnungen

### 11.1 Konstruktionsauslegung – Darstellung der Außenabmessungen

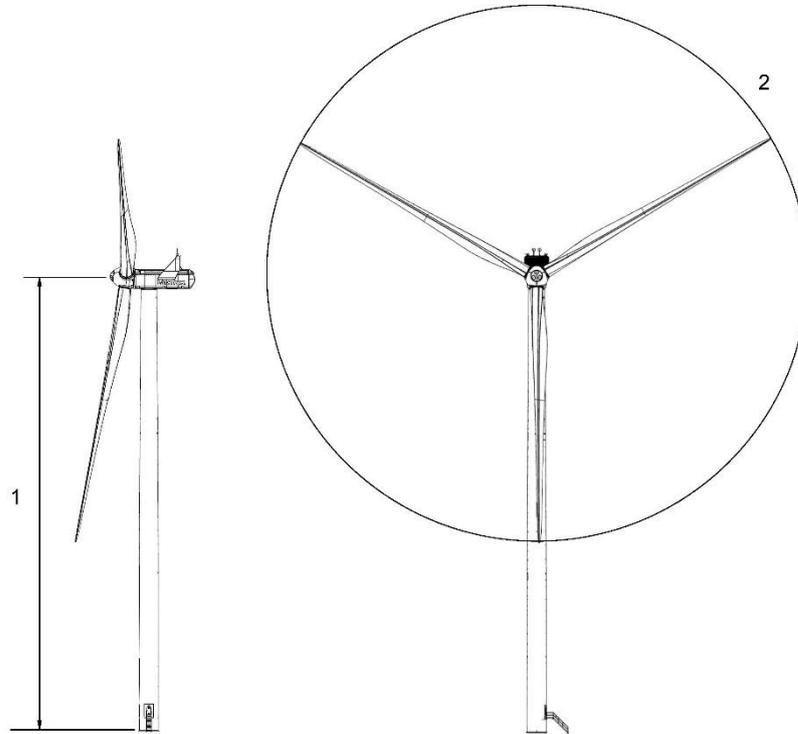


Abbildung 11-1: Darstellung der Außenabmessungen – Konstruktion

- 1 Nabhöhen: vgl. Leistungsspezifikationen  
2 Rotordurchmesser: 117–150 m

### 11.2 Baukonstruktion – Seitenansichtszeichnung

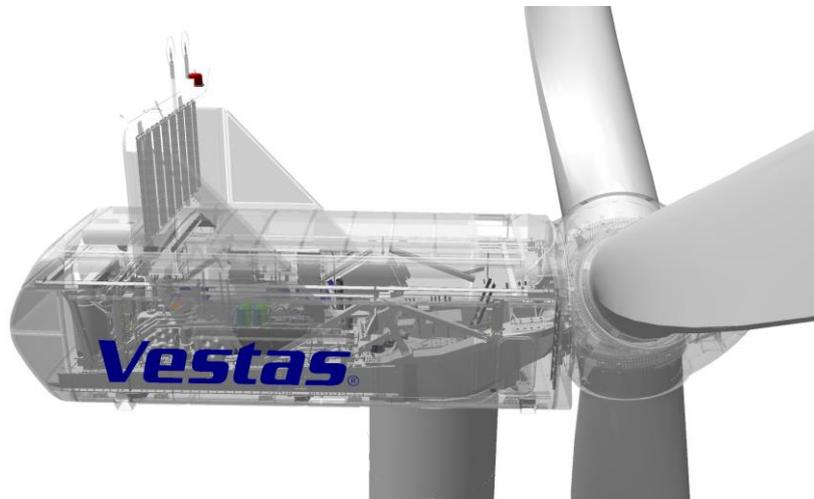


Abbildung 11-2: Seitenansichtszeichnung

## 12 Allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse

- © 2017 Vestas Wind Systems A/S. Dieses Dokument wurde von Vestas Wind Systems A/S und/oder einer der Tochtergesellschaften des Unternehmens 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 allgemeinen Beschreibungen in diesem Dokument gelten für die aktuelle Version der 4-MW-Plattform-Windenergieanlagen. Bei neueren Versionen der 4-MW-Plattform-Windenergieanlagen, die ggf. zukünftig hergestellt werden, gilt u. U. eine andere allgemeine Beschreibung. Falls Vestas eine neuere Version der 4-MW-Plattform-Windenergieanlagen liefern sollte, wird das Unternehmen hierzu eine aktualisierte allgemeine Beschreibung vorlegen.
- Vestas empfiehlt, dass die Werte des Stromnetzes so dicht wie möglich an den Nennwerten liegen und Frequenz und Spannung nur geringfügig vom Nennwert abweichen.
- Im Anschluss an einen Stromnetzausfall und/oder an Zeiträume mit sehr geringer Umgebungstemperatur muss ein gewisser Zeitraum für das Aufwärmen der Windenergieanlage eingeplant werden.
- Für alle angegebenen Start/Stop-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 Erdungssystem muss die Mindestanforderungen von Vestas sowie die lokalen und nationalen Anforderungen und Normen erfüllen.
- Die vorliegende allgemeine Beschreibung stellt kein Verkaufsangebot dar; sie beinhaltet keine Garantie oder Zusage und auch keine Prüfung der Leistungskurve und Geräusche (einschließlich und ohne Einschränkung Prüfverfahren für Leistungskurve und Geräusche). Garantien, Zusagen und/oder Prüfungen von Leistungskurve und Geräuschen (einschließlich und ohne Einschränkung Prüfverfahren für Leistungskurve und Geräusche) müssen separat schriftlich vereinbart werden.