

## Technische Daten ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3

Allgemein		
Hersteller	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich	
Typenbezeichnung	E-160 EP5 E3	
Nennleistung	5560 kW	
Rotordurchmesser	160 m	
Windklasse (IEC 4th Edition)	IIIA	S <sup>1</sup>
Auslegungslebensdauer	20 Jahre	25 Jahre
Extrem-Windgeschwindigkeit in Nabhöhe (10-min-Mittelwert)	37,50 m/s	37,50 m/s
entspricht einem Lastäquivalent von circa (3-s-Bö)	52,50 m/s	52,50 m/s
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabhöhe	7,50 m/s	8,50 m/s

Rotor mit Blattverstellungssystem	
Typ	Luvläufer mit aktivem Blattverstellungssystem
Drehrichtung	Uhrzeigersinn (in Windrichtung gesehen)
Rotorblattanzahl	3
Rotorblattlänge	78,3 m
überstrichene Rotorfläche	20 106 m <sup>2</sup>
Rotorblattmaterial	Glasfaser und Polyester
untere Drehzahl Leistungseinspeisung <sup>2</sup>	4,4 U/min
Solldrehzahl <sup>3</sup>	9,6 U/min
Blattspitzengeschwindigkeit bei Solldrehzahl	80,44 m/s
Abregelwindgeschwindigkeit (mit optionaler ENERCON Sturmregelung)	25 m/s (12-s-Mittel)
Abschaltwindgeschwindigkeit	28 m/s (10-min-Mittel)
Konuswinkel	≤5°
Rotorachswinkel zur Horizontalen	6°

<sup>1</sup> Die Windklasse S setzt sich zusammen aus Windklasse IIIA mit 20 Jahren Auslegungslebensdauer (Betriebs- und Extremlasten) und Windklasse IIB mit 25 Jahren Auslegungslebensdauer (Betriebslasten)

<sup>2</sup> Drehzahl, bei der die Einspeisung beginnt.

<sup>3</sup> Drehzahl, auf die im Volllastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird. Sie liegt etwas über der Nenn-drehzahl, bei der zum ersten Mal die Nennleistung erreicht wird. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Drehzahl bei kurzzeitigen negativen Schwankungen der Windgeschwindigkeit nicht unter den zum Erreichen der Nennleistung notwendigen Drehzahlbereich abfällt. Bei Böen kann die Drehzahl kurzzeitig über die Solldrehzahl ansteigen.

### Rotor mit Blattverstellungssystem

Blattverstellungssystem	je Rotorblatt ein autarkes elektrisches Stellsystem mit zugeordneter Notstromversorgung
-------------------------	---

### Antriebsstrang mit Generator

Windenergieanlagenkonzept	getriebelos, variable Drehzahl, Vollumrichter
Rotornabe	starr
Lagerung	2 Kegelrollenlager
Generator	direktgetriebener permanenterregter Synchrongenerator
Schutzart/Isolationsklasse	IP 54/F

### Bremssystem

aerodynamische Bremse	aerodynamisch über 3 autarke Blattverstellungssysteme mit Notstromversorgung
Rotorhaltebremse	hydraulisch
Rotorarretierung	in 30°-Stufen rastend

### Windnachführung

Azimuthverstellung	elektromechanisches Stellsystem
Azimuthbremse	hydraulisch

### Steuerung der Windenergieanlage

Typ	Mikroprozessor
Netzeinspeisung	Vollumrichter mit speicherprogrammierbarer Steuerung
Fernüberwachung	ENERCON SCADA
unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	integriert

### Turmvarianten

Nabenhöhe	Gesamthöhe	Bauart	Windklasse IEC <sup>4</sup>	Turbulenzkategorie IEC <sup>4</sup>
119,83 m	199,83 m	Hybrid-Stahlurm	III	A
			S <sup>1</sup>	S
166,60 m	246,60 m	Hybridurm	III	A
			S <sup>1</sup>	S

<sup>4</sup> Ausgabe der Richtlinie Edition 4

# **Technisches Datenblatt**

**General Design Conditions**

**ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3 / 5560 kW**

**Herausgeber** ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland  
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109  
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de  
Geschäftsführer: Momme Janssen, Jost Backhaus, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle  
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411  
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

**Urheberrechtshinweis** Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

**Geschützte Marken** Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

**Änderungsvorbehalt** Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

#### Dokumentinformation

<b>Dokument-ID</b>	D02251887/5.0-de		
<b>Vermerk</b>	Originaldokument		
<b>Datum</b>	<b>Sprache</b>	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b>
2022-01-07	de	DA	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

### Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

### Übergeordnete Normen und Richtlinien

Dokument-ID	Dokument
DIBt 2012	Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Fassung Oktober 2012, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin
DIN EN ISO 12944	Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme
IEC 61400-1:2019	Wind energy generation systems – Part 1: Design Requirements

### Zugehörige Dokumente

Dokument-ID	Dokument
D0178786	Technische Beschreibung Sturmregelung

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Technische Daten der Windenergieanlage .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Auslegung der Windenergieanlage .....</b>	<b>8</b>
3.1	Zertifizierte/angestrebte Auslegungsbedingungen .....	8
3.2	Weitere Anforderungen an den Standort .....	11
3.3	Einhaltung der Auslegungsparameter .....	11

## Abkürzungsverzeichnis

**HST**            Hybrid-Stahlurm

**HT**             Hybridurm

**ST**             Stahlurm

## 1 Einleitung

In diesem Dokument sind die wichtigsten Parameter für die konstruktive Auslegung gemäß den offiziell zugrunde gelegten Normen aufgeführt. Darüber hinaus werden die wichtigsten Anforderungen an potentielle Standorte hinsichtlich der Standsicherheit der Windenergieanlage dargestellt.

Die hier aufgeführten Parameter und Werte treffen keine Aussagen zum allgemeinen oder standortspezifischen Leistungsverhalten und/oder zu Schallemissionen der Windenergieanlage. Diese Informationen können einer separaten Dokumentation entnommen werden.

## 2 Technische Daten der Windenergieanlage

Tab. 1: Turmvarianten

Ausführung	Turmvariante
Hybrid-Stahlurm	E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01
Hybridurm	E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01
Stahlurm	E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-01

Tab. 2: Daten

Parameter	Wert	Einheit
Rotordurchmesser	160	m
Nennwirkleistung	5560	kW
Einschalt-Windgeschwindigkeit	2,5	m/s
Nennwindgeschwindigkeit (simulierter Wert, leistungsoptimierter Betrieb)	13,5	m/s
Beginn der Sturmregelung <sup>1</sup> (12-s-Mittelwert)	25	m/s
Abschalt-Windgeschwindigkeit <sup>2</sup> (10-min-Mittelwert)	28	m/s
minimale Betriebsdrehzahl <sup>3</sup>	4,4	U/min
Solldrehzahl <sup>4</sup>	9,6	U/min
Auslegungslebensdauer für Windklasse IIIA	20	Jahre
Auslegungslebensdauer für Windklasse S <sup>5</sup>	25	Jahre

<sup>1</sup> Weitere Informationen zur ENERCON Sturmregelung können dem Dokument D0178786 „Technische Beschreibung Sturmregelung“ entnommen werden.

<sup>2</sup> Bei aktivierter Sturmregelung.

<sup>3</sup> Drehzahl, bei der die Einspeisung beginnt.

<sup>4</sup> Drehzahl, auf die im Volllastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird. Sie liegt etwas über der Nennzahl, bei der zum ersten Mal die Nennleistung erreicht wird. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Drehzahl bei kurzzeitigen negativen Schwankungen der Windgeschwindigkeit nicht unter den zum Erreichen der Nennleistung notwendigen Drehzahlbereich abfällt. Bei Böen kann die Drehzahl kurzzeitig über die Solldrehzahl ansteigen.

<sup>5</sup> Die Windklasse S erfüllt die Bedingungen der Windklasse IIIA für die Betriebs- und Extremlasten für eine Auslegungslebensdauer von 20 Jahren und die Bedingungen der Windklasse IIB für die Betriebslasten sowie der Windklasse IIIA für die Extremlasten bei einer Auslegungslebensdauer von 25 Jahren.

## 3 Auslegung der Windenergieanlage

### 3.1 Zertifizierte/angestrebte Auslegungsbedingungen

Die E-160 EP5 E3 / 5560 kW wurde/wird für die folgenden Auslegungsbedingungen der DIBt 2012 und IEC 61400-1:2019 (4th Edition) zertifiziert. Für den vorgesehenen Standort der Windenergieanlage müssen diese Auslegungsbedingungen berücksichtigt werden.

**Tab. 3: Zertifizierte/angestrebte Auslegungsbedingungen turmspezifisch für eine Auslegungsdauer von 20 Jahren**

Parameter	E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-01	E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01	E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01
IEC-Windklasse (4th Edition)	III	III	III
Turbulenzkategorie nach IEC (4th Edition)	A	A	A
DIBt-Windzone/Geländekategorie	WZ S GK S	WZ S GK S	WZ S GK S
50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe (10-min-Mittelwert) nach IEC (4th Edition) in m/s	37,50	37,50	37,50
entspricht einem Lastäquivalent von circa (3-s-Böe) in m/s	52,50	52,50	52,50
50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe (10-min-Mittelwert) nach DIBt 2012 in m/s	37,50	37,50	37,50
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe nach IEC (4th Edition) in m/s	7,50	7,50	7,50
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe nach DIBt 2012 in m/s	7,50	7,50	7,50
c-Werte des extremen Turbulenzmodells	2	2	2
Formparameter der Weibull-Funktion k	2	2	2
Windgradient	0,2	0,2	0,2

**Tab. 4: Zertifizierte/angestrebte Auslegungsbedingungen turmspezifisch für eine Auslegungslebensdauer von 25 Jahren**

Parameter	E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-01	E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01	E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01
IEC-Windklasse (4th Edition)	S <sup>1</sup>	S <sup>1</sup>	S <sup>1</sup>
Turbulenzkategorie nach IEC (4th Edition)	S	S	S
DIBt-Windzone/Geländekategorie	WZ S GK S	WZ S GK S	WZ S GK S
50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe (10-min-Mittelwert) nach IEC (4th Edition) in m/s	37,50	37,50	37,50
entspricht einem Lastäquivalent von circa (3-s-Böe) in m/s	52,50	52,50	52,50
50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe (10-min-Mittelwert) nach DIBt 2012 in m/s	37,50	37,50	37,50
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe nach IEC (4th Edition) in m/s	8,50	8,50	8,50
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe nach DIBt 2012 in m/s	8,50	8,50	8,50
c-Werte des extremen Turbulenzmodells	2	2	2
Formparameter der Weibull-Funktion k	2	2	2
Windgradient	0,2	0,2	0,2

<sup>1</sup> Die Windklasse S erfüllt die Bedingungen der Windklasse IIIA für die Betriebs- und Extremlasten für eine Auslegungslebensdauer von 20 Jahren und die Bedingungen der Windklasse IIB für die Betriebslasten sowie der Windklasse IIIA für die Extremlasten bei einer Auslegungslebensdauer von 25 Jahren.

Tab. 5: Zertifizierte/angestrebte Auslegungsbedingungen allgemein

Parameter	Wert		
	Windgeschwindigkeit in Nabhöhe in m/s	Turbulenzintensität in %	
Turbulenzintensität		A	B
	2	56,80	49,70
	4	34,40	30,10
	6	26,93	23,57
	8	23,20	20,30
	10	20,96	18,34
	12	19,47	17,03
	14	18,40	16,10
	16	17,60	15,40
	18	16,98	14,86
	20	16,48	14,42
	22	16,07	14,06
	24	15,73	13,77
	26	15,45	13,52
28	15,20	13,30	
Schräganströmung	8°		
normaler Temperaturbereich	-10 °C bis +40 °C		
extremer Temperaturbereich	-20 °C bis +50 °C		
relative Luftfeuchte	≤ 95 %		
maximale Sonneneinstrahlung	1000 W/m <sup>2</sup>		
Standard-Luftdichte	1,225 kg/m <sup>3</sup>		

Bei der Berechnung der Lasten (Betriebs- und Extremlasten) wurde ein Sicherheitsfaktor entsprechend der Lastfallgruppe berücksichtigt.

## 3.2 Weitere Anforderungen an den Standort

Tab. 6: Weitere Anforderungen an den Standort

Parameter	Wert
Abstand zwischen Windenergieanlagen im Windpark <sup>1</sup>	≥ 5 x Rotordurchmesser in Hauptwindrichtung (Turbulenzkategorie A)
	≥ 3 x Rotordurchmesser in weniger stark ausgeprägten Windrichtungen (Turbulenzkategorie A)
maximale Höhe über dem Meeresspiegel <sup>2</sup>	800 m
Überlebenstemperatur <sup>3</sup>	-40 °C
Standort gemäß Korrosionsschutzklasse	Stahlurm außen: C4 (nach DIN EN ISO 12944)
	alle inneren, vor direkten Witterungseinflüssen geschützten Komponenten: vergleichbar C3 „hoch“ (nach DIN EN ISO 12944)

<sup>1</sup> Diese Angaben sind als allgemeine Richtwerte zu betrachten. Der Einfluss des Wake-Effekts muss in jedem Fall projektspezifisch geprüft werden.

<sup>2</sup> Höhergelegene Standorte sind in der Regel ebenfalls realisierbar; sie bedürfen jedoch einer projektspezifischen Analyse.

<sup>3</sup> Für Situationen mit eingeschränkter Beanspruchung.

## 3.3 Einhaltung der Auslegungsparameter

Die in diesem Dokument angegebenen Standortbedingungen sind allgemeine Richtwerte. Es ist möglich, die Windenergieanlage auch an Standorten mit abweichenden Bedingungen zu errichten und zu betreiben. Hierfür bedarf es jedoch zusätzlicher projektspezifischer Prüfungen.

Die Windenergieanlage ist mit einer internen Regelungstechnik ausgestattet, die aus verschiedenen Überwachungssensoren und -mechanismen besteht (z. B. Sensoren für Temperatur, Vibrationen, Oszillationen und Lasten). Sollte die Regelungstechnik Abweichungen von akzeptablen Standortbedingungen feststellen, trifft die Hauptsteuerung der Windenergieanlage selbsttätig die entsprechenden Schutzmaßnahmen (z. B. Übergang in einen leistungsreduzierten Betriebsmodus oder Unterbrechung des Betriebs).

# Technische Beschreibung

Eigenbedarf

ENERCON Windenergieanlagen

Technische Änderungen vorbehalten.

**Herausgeber** ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland  
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109  
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de  
Geschäftsführer: Momme Janssen, Jost Backhaus, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle  
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411  
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

**Urheberrechtshinweis** Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

**Geschützte Marken** Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

**Änderungsvorbehalt** Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

#### Dokumentinformation

<b>Dokument-ID</b>	D0215274/16.0-de
<b>Vermerk</b>	Originaldokument

<b>Datum</b>	<b>Sprache</b>	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b>
2021-07-15	de	DB	WRD GmbH / Validierung

Technische Änderungen vorbehalten.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Verbraucher .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Betriebspunkte .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Betriebsbedingungen .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>9</b>
5.1	Eigenbedarf der Windenergieanlage im Sommer .....	9
5.2	Eigenbedarf der Windenergieanlage im Winter .....	11

## Abkürzungsverzeichnis

<b>FT</b>	FACTS Transmission (elektrische Konfiguration mit FACTS-Eigenschaften)
<b>FTQ</b>	FACTS Transmission mit Option Q+ (elektrische Konfiguration mit erweitertem Blindleistungsstellbereich)
<b>STATCOM</b>	Static compensator (statischer Kompensator)

## 1 Einleitung

ENERCON Windenergieanlagen beziehen im Stillstand wie auch im Trudelbetrieb Wirkleistung aus dem Versorgungsnetz, um die Funktionalität der Steuerung und der Hilfsantriebe aufrecht zu erhalten. Bestimmte Umgebungsbedingungen wie z. B. Windgeschwindigkeit, Windrichtungsänderungen, Umgebungstemperatur oder Luftfeuchtigkeit können Einfluss auf die Höhe des Leistungsbezugs haben. Erzeugt eine Windenergieanlage Wirkleistung, wird der Eigenbedarf von der Windenergieanlage selbst gedeckt.

In diesem Dokument wird der Eigenbedarf der ENERCON Windenergieanlagen im Stillstand wie auch im Trudelbetrieb dargestellt. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Abschätzungen, die unter Berücksichtigung bestimmter Betriebsbedingungen der Windenergieanlagen ermittelt wurden. Grundlage für die Abschätzungen sind Messungen an den jeweiligen Windenergieanlagentypen mit unterschiedlichen elektrischen Konfigurationen und verschiedenen Varianten des Kühl- und Heizsystems.

## 2 Verbraucher

Auch wenn eine Windenergieanlage keine Wirkleistung erzeugt, sind einzelne Systeme aktiv und müssen mit elektrischer Energie versorgt werden. Folgende Systeme und Verbraucher verursachen einen signifikanten Teil des Eigenbedarfs der Windenergieanlage:

Tab. 1: Relevante Verbraucher

System	Verbraucher
Grundverbrauch	Steuerungsplatinen
Windnachführung	Azimutmotoren
	Blattverstellmotoren
Kühlsystem	Turmlüfter
	Gondellüfter
	Lüfter-Umrichterschrank
	Flüssigkeitskühlung mit Pumpenmodul und Passivkühler (modellspezifisch)
Heizsystem	Generatortrocknung
	Heizung
	Heizkörper-Umrichterschränke
Blattheizung (projektspezifisch)	Heizregister
	Radialventilator

Tab. 2: Relevante Verluste

System	Verluste
STATCOM	Schaltverluste der Umrichter

Der Energiebezug einer Windenergieanlage mit Blindleistungsexport oder Blindleistungsimport bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten hängt von den projektspezifischen Wetterbedingungen (Wind, Temperatur etc.) ab.

### Elektrische Konfiguration

Die Messungen haben gezeigt, dass der Unterschied zwischen den elektrischen Konfigurationen (FT und FTQ) keinen signifikanten Einfluss auf den Eigenbedarf der Windenergieanlagen hat. Daher wird die elektrische Konfiguration nicht berücksichtigt.

### 3 Betriebspunkte

Für die Ermittlung des Eigenbedarfs werden verschiedene Betriebspunkte berücksichtigt.

#### **Windenergieanlage im Standby**

Die Windenergieanlage produziert keine elektrische Energie trotz vorhandener Netzversorgung. Ursachen können z. B. Windmangel oder ein Regelsignal vom Netzbetreiber sein.

Die relevanten Verbraucher sind je nach Bedarf aktiv. Die relevanten Verbraucher sind Windnachführung, Kabelentdrillung, Kühl- und Heizsystem sowie die Blattheizung (projektspezifisch).

#### **Windenergieanlage mit STATCOM**

Die Windenergieanlage produziert keine Wirkleistung trotz vorhandener Netzversorgung. Blindleistung wird zur Spannungsregelung und Netzstabilisierung zur Verfügung gestellt. Für die Ermittlung des Eigenbedarfs wird die maximale Blindleistungsbereitstellung im „Absorption“-Betrieb (Import von Blindleistung) betrachtet.

#### **Windenergieanlage nach Netzausfall**

Die Windenergieanlage wird nach einem Netzausfall wieder eingeschaltet. Mehrere relevante Verbraucher werden gleichzeitig eingeschaltet, wie z. B. Generatortrocknung, Heizsystem, Windnachführung oder Kühlsystem.

## 4 Betriebsbedingungen

Um einen möglichst breiten Betriebsbereich abzudecken, werden bestimmte Betriebsbedingungen untersucht.

### Sommer

Im Sommer sind neben der Versorgung der Steuerung zeitweise die Windnachführung sowie die Kühlsysteme der Windenergieanlage aktiv.

### Winter

Im Winter sind neben der Versorgung der Steuerung zeitweise die Windnachführung sowie die Kühlsysteme aktiv. Die Heizsysteme und die Blattheizung (projektspezifisch) sind besonders bei längeren Standzeiten aktiv.

Um zu den jeweiligen Betriebspunkten eine Aussage zum Eigenbedarf machen zu können, sind in den folgenden zwei Tabellen die relevanten Verbraucher zugeordnet.

**Tab. 3: Verbraucher/Verluste im Sommer**

Verbraucher/Verluste	im Standby	mit STATCOM	nach Netzausfall
Grundverbrauch	x	x	x
Windnachführung	x	x	x
Kühlsystem	x	x	x
Heizsystem			
Blattheizung (projektspezifisch)			
STATCOM		x	

**Tab. 4: Verbraucher/Verluste im Winter**

Verbraucher/Verluste	im Standby	mit STATCOM	nach Netzausfall
Grundverbrauch	x	x	x
Windnachführung	x	x	x
Kühlsystem		x	x
Heizsystem	x		x
Blattheizung (projektspezifisch)	x	x	
STATCOM		x	

## 5 Ergebnisse

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Ermittlung des Eigenbedarfs von ENERCON Windenergieanlagen im Stillstand wie auch im Trudelbetrieb als Maximalwert und als 15-Minuten-Mittelwert dargestellt. Dabei werden sowohl die in Kap. 3, S. 7 dargestellten Betriebspunkte, als auch die unter Kap. 4, S. 8 aufgeführten Szenarien berücksichtigt.

Die nachfolgenden Werte können bei einer Windenergieanlage mit gleicher Bezeichnung aber reduzierter Nennleistung geringer sein.

### Maximalwerte (Max.)

Bei den Maximalwerten handelt es sich um eine Addition der einzelnen Leistungen, die beim Betrieb der einzelnen Systeme gemessen werden.

### 15-Minuten-Mittelwerte (15 min)

Bei den 15-Minuten-Mittelwerten handelt es sich um Werte, die unter Berücksichtigung von gewissen Einschaltzyklen der Hilfsaggregate über eine Periode von 15 Minuten entstehen.

## 5.1 Eigenbedarf der Windenergieanlage im Sommer

Tab. 5: Eigenbedarf der Windenergieanlage im Sommer

Windenergieanlage	im Standby		mit STATCOM		nach Netzausfall	
	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW
E-44 (200 kW) <sup>1</sup>	11	2	-	-	13	3
E-44 (250 kW) <sup>1</sup>	12	2	-	-	14	3
E-44 (500 kW) <sup>1</sup>	13	2	-	-	15	3
E-44 (900 kW)	14	2	23	16	16	3
E-48 (500 kW) <sup>1</sup>	13	2	-	-	15	3
E-48 (800 kW)	14	2	23	16	16	3
E-53 (500 kW) <sup>1</sup>	13	2	-	-	15	3
E-53 (800 kW)	14	2	23	16	16	3
E-70 E4 (1500 kW) <sup>1</sup>	47	9	-	-	52	7
E-70 E4 (2300 kW)	48	9	85	64	53	7
E-82 E2 (2000 kW)	41	8	78	61	46	7
E-82 E2 (2300 kW)	48	9	85	64	53	7
E-82 E4 (2350 kW)	52	10	117	95	57	7
E-82 E4 (3000 kW)	55	10	120	95	60	7
E-92 (2000 kW)	51	9	86	63	67	14
E-92 (2350 kW)	52	9	87	63	68	14
E-103 EP2 (2000 kW) <sup>2</sup>	51	9	86	63	67	14
E-103 EP2 (2350 kW) <sup>2</sup>	52	9	87	63	68	14
E-115 EP3 E3 (2990 kW) <sup>2</sup>	62	11	130	96	85	19

Windenergieanlage	im Standby		mit STATCOM		nach Netzausfall	
	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW
E-115 EP3 E3 (4200 kW) <sup>2</sup>	98	19	192	124	156	32
E-115 EP3 E4 (4260 kW) <sup>2</sup>	98	19	192	124	156	32
E-126 EP3 (3000 kW) <sup>2</sup>	95	19	188	122	152	32
E-126 EP3 (3500 kW) <sup>2</sup>	96	19	189	123	153	32
E-126 EP3 (4000 kW) <sup>2</sup>	98	19	192	124	156	32
E-138 EP3 (3500 kW) <sup>2</sup>	98	19	192	124	156	32
E-138 EP3 E2 (4200 kW) <sup>2</sup>	108	21	210	136	171	35
E-138 EP3 E3 (4260 kW) <sup>2</sup>	108	21	210	136	171	35
E-136 EP5 (4650 kW)	184	13	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>
E-147 EP5 (4300 kW) <sup>2</sup>	74	13	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>
E-147 EP5 E2 (5000 kW) <sup>2</sup>	74	13	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>
E-160 EP5 (4600 kW) <sup>2</sup>	74	13	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>
E-160 EP5 E2 (5500 kW) <sup>2</sup>	74	13	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>
E-160 EP5 E3 (5560 kW) <sup>2</sup>	57	10,4	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>

<sup>1</sup> länder- und projektspezifische Konfigurationen der Windenergieanlage (Verfügbarkeit prüfen)

<sup>2</sup> vorläufige Daten

<sup>3</sup> keine Daten verfügbar

Technische Änderungen vorbehalten.

## 5.2 Eigenbedarf der Windenergieanlage im Winter

Tab. 6: Eigenbedarf der Windenergieanlage im Winter (ohne Blattheizung)

Windenergieanlage	im Standby		mit STATCOM		nach Netzausfall	
	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW
E-44 (200 kW) <sup>1</sup>	6	1	-	-	8	3
E-44 (250 kW) <sup>1</sup>	7	2	-	-	9	3
E-44 (500 kW) <sup>1</sup>	9	2	-	-	11	4
E-44 (900 kW)	13	9	23	16	19	11
E-48 (500 kW) <sup>1</sup>	9	2	-	-	11	4
E-48 (800 kW)	13	9	23	16	19	11
E-53 (500 kW) <sup>1</sup>	9	2	-	-	11	4
E-53 (800 kW)	13	9	23	16	19	11
E-70 E4 (1500 kW) <sup>1</sup>	24	18	-	-	36	23
E-70 E4 (2300 kW)	25	19	85	60	37	24
E-82 E2 (2000 kW)	25	19	78	60	37	24
E-82 E2 (2300 kW)	25	19	85	60	37	24
E-82 E4 (2350 kW)	28	17	115	89	36	23
E-82 E4 (3000 kW)	32	19	118	91	40	25
E-92 (2000 kW)	28	18	72	59	50	28
E-92 (2350 kW)	29	19	73	60	51	29
E-103 EP2 (2000 kW) <sup>2</sup>	28	18	72	59	50	28
E-103 EP2 (2350 kW) <sup>2</sup>	29	19	73	60	51	29
E-115 EP3 E3 2990 kW) <sup>2</sup>	52	31	130	92	75	46
E-115 EP3 E3 (4200 kW) <sup>2</sup>	67	35	170	118	106	59
E-115 EP3 E4 (4260 kW) <sup>2</sup>	67	35	170	118	106	59
E-126 EP3 (3000 kW) <sup>2</sup>	67	33	170	116	106	55
E-126 EP3 (3500 kW) <sup>2</sup>	67	34	170	117	106	56
E-126 EP3 (4000 kW) <sup>2</sup>	67	35	170	118	106	59
E-138 EP3 (3500 kW) <sup>2</sup>	62	34	155	110	95	55
E-138 EP3 E2 (4200 kW) <sup>2</sup>	69	37	170	121	105	61
E-138 EP3 E3 (4260 kW) <sup>2</sup>	69	37	170	121	105	61
E-136 EP5 (4650 kW)	184	17	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>
E-147 EP5 (4300 kW) <sup>2</sup>	97	17	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>
E-147 EP5 E2 (5000 kW) <sup>2</sup>	97	17	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>
E-160 EP5 (4600 kW) <sup>2</sup>	97	17	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>
E-160 EP5 E2 (5500 kW) <sup>2</sup>	97	17	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>

Technische Änderungen vorbehalten.

Windenergieanlage	im Standby		mit STATCOM		nach Netzausfall	
	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW
E-160 EP5 E3 (5560 kW) <sup>2</sup>	62	11,3	-	-	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>

<sup>1</sup> länder- und projektspezifische Konfigurationen der Windenergieanlage (Verfügbarkeit prüfen)

<sup>2</sup> vorläufige Daten

<sup>3</sup> keine Daten verfügbar

Wenn die Blattheizung aktiv ist, beträgt die Heizdauer üblicherweise mehrere Stunden. Aus diesem Grund müssen die Nennleistungswerte der Blattheizung (Tab. 7, S. 12) zu den Ergebnissen in den Spalten *im Standby* und *mit STATCOM* dazu addiert werden.

### Eigenbedarf der Blattheizung im Winter

In der nachfolgenden Tabelle ist der maximale Leistungsbezug der Blattheizung für die Windenergieanlagen aufgelistet.

Eine Begrenzung der Leistungsaufnahme auf einen geringeren Wert ist möglich. Hierzu müssen entsprechende Einstellungen an der Steuerung der Windenergieanlage vorgenommen werden. Eine Verringerung der Leistungsaufnahme führt jedoch auch zu einer Verringerung der Effektivität der Blattheizung.

**Tab. 7: Nennleistung Blattheizung**

Windenergieanlage	Nennleistung Blattheizung in kW (Blattheizungsmodul je Rotorblatt)
E-44 (200 kW) <sup>1</sup>	15,2
E-44 (250 kW) <sup>1</sup>	15,2
E-44 (500 kW) <sup>1</sup>	15,2
E-44 (900 kW)	15,2
E-48 (500 kW) <sup>1</sup>	15,2
E-48 (800 kW)	15,2
E-53 (500 kW) <sup>1</sup>	15,2
E-53 (800 kW)	15,2
E-70 (1500 kW) <sup>1</sup>	22,7
E-70 (2300 kW)	22,7
E-82 E2 (2000 kW)	29,0
E-82 E2 (2300 kW)	29,0
E-82 E4 (2350 kW)	29,0
E-82 E4 (3000 kW)	29,0
E-92 (2000 kW)	43
E-92 (2350 kW)	43
E-103 EP2 (2000 kW) <sup>2</sup>	43
E-103 EP2 (2350 kW) <sup>2</sup>	55,5
E-115 EP3 E3 (2990 kW) <sup>2</sup>	74,3

Technische Änderungen vorbehalten.

Windenergieanlage	Nennleistung Blattheizung in kW (Blattheizungsmodul je Rotorblatt)
E-115 EP3 E3 (4200 kW) <sup>2</sup>	68
E-115 EP3 E4 (4260 kW) <sup>2</sup>	68
E-126 EP3 (3000 kW) <sup>2</sup>	55,5
E-126 EP3 (3500 kW) <sup>2</sup>	55,5
E-126 EP3 (4000 kW) <sup>2</sup>	68
E-138 EP3 (3500 kW) <sup>2</sup>	68
E-138 EP3 E2 (4200 kW) <sup>2</sup>	68
E-138 EP3 E3 (4260 kW) <sup>2</sup>	68
E-136 EP5 (4650 kW)	keine Blattheizung
E-147 EP5 (4300 kW)	keine Blattheizung
E-147 EP5 E2 (5000 kW)	keine Blattheizung
E-160 EP5 (4600 kW)	keine Blattheizung
E-160 EP5 E2 (5500 kW)	keine Blattheizung
E-160 EP5 E3 (5560 kW)	keine Blattheizung

<sup>1</sup> länder- und projektspezifische Konfigurationen der Windenergieanlage (Verfügbarkeit prüfen)

<sup>2</sup> vorläufige Daten

# Technische Beschreibung

ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3

**Herausgeber** ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland  
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109  
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de  
Geschäftsführer: Momme Janssen, Jost Backhaus, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle  
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411  
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

**Urheberrechtshinweis** Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

**Geschützte Marken** Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

**Änderungsvorbehalt** Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

#### Dokumentinformation

<b>Dokument-ID</b>	D02225927/6.1-de		
<b>Vermerk</b>	Originaldokument		
<b>Datum</b>	<b>Sprache</b>	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b>
2022-01-11	de	DB	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Übersicht ENERCON Windenergieanlage .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Komponenten der ENERCON Windenergieanlage .....</b>	<b>6</b>
2.1	Gondel .....	6
2.2	Generator .....	6
2.3	Turm .....	7
2.4	Rotorblätter .....	7
2.5	Vollumrichter .....	8
<b>3</b>	<b>Sicherheitssystem .....</b>	<b>9</b>
3.1	Sicherheitseinrichtungen .....	9
3.2	Sensorsystem .....	10
3.3	Erdung und Blitzschutz .....	11
<b>4</b>	<b>Steuerung .....</b>	<b>12</b>
4.1	Windnachführung .....	12
4.2	Blattverstellsystem .....	12
4.3	Drehmomentregelung .....	12
<b>5</b>	<b>Fernüberwachung .....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Wartung .....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Technische Daten ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3 .....</b>	<b>15</b>

## Abkürzungsverzeichnis

**SCADA**            Supervisory Control and Data Acquisition (überwachende Steuerung und Datenerfassung)

## 1 Übersicht ENERCON Windenergieanlage

Die ENERCON Windenergieanlage ist eine direktgetriebene Windenergieanlage mit Dreiblattrotor, aktiver Rotorblattverstellung, drehzahlvariabler Betriebsweise und einer Nennleistung von 5560 kW. Sie hat einen Rotordurchmesser von 160 m und wird mit einer Nabhöhe von 99,00 m, 119,83 m und 166,60 m geliefert.

## 2 Komponenten der ENERCON Windenergieanlage

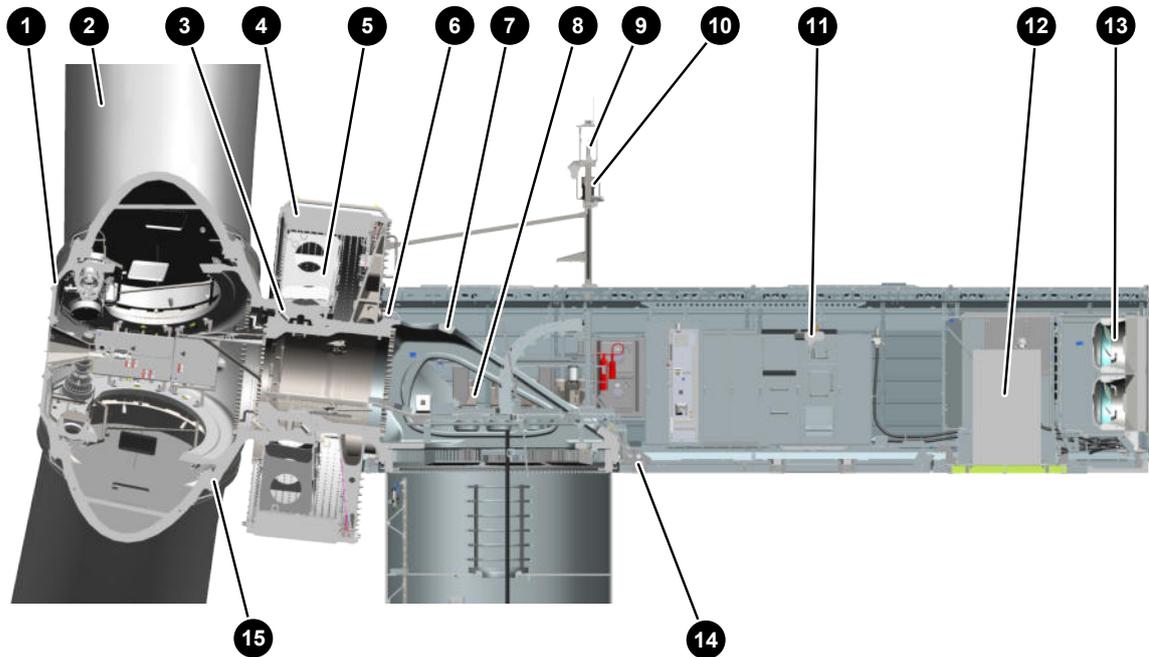


Abb. 1: Gondelschnitt

1 Rotornabe	2 Rotorblatt
3 Rotorlager	4 Generator-Stator
5 Generator-Rotor	6 Rotorarretierung
7 Maschinenträger	8 Azimutantrieb
9 Windmessgerät mit Blitzfangstangen	10 Befeuerung
11 Kran Gondel	12 Transformator
13 Flüssigkeitskühlung	14 Azimutlager
15 Blattflanschlager	

### 2.1 Gondel

Die tragende Struktur des Maschinenhauses besteht aus Gusseisen (EN-GJS-400-18-LT). Die Gondelverkleidung besteht aus Stahl. Die Gondel ist durch ein Azimutlager mit dem Turmkopf verbunden.

Der Transformator und der Umrichter sind in der Gondel untergebracht.

Mit den Azimutantrieben kann die gesamte Gondel gedreht werden, damit der Rotor stets optimal zum Wind ausgerichtet ist.

### 2.2 Generator

Der direktgetriebene Generator ist ein mehrpoliger Generator. Die Erregung erfolgt durch Permanentmagnete am Generator-Rotor. Der Generator ist luftgekühlt, mit einer passiven äußeren Luftkühlung durch den Luftstrom und einer aktiven inneren Luftspaltkühlung. Der Generator ist für eine Nennleistung von 5560 kW ausgelegt. Für die Wartung verfügt der Generator über eine Rotorarretierung und eine Rotorhaltebremse.

## 2.3 Turm

Der Turm der Windenergieanlage ist ein Hybrid-Stahlurm oder ein Hybridurm.

Der Hybrid-Stahlurm besteht aus abgekanteten Sektionsblechen aus Stahl und aus rohrförmigen Stahlsektionen. Die Turmsektionen werden am Aufstellort miteinander verschraubt. Die Verbindung zum Fundament wird mithilfe eines Fundamentkorbs hergestellt.

Der Hybridurm besteht im unteren Teil aus Betonsegmenten und im oberen Teil aus Stahlsektionen. Die Betonsegmente werden am Aufstellort aus Fertigteilen zusammengesetzt und aufeinandergestellt. Die oberen Stahlsektionen werden abschließend aufgesetzt und verschraubt. In vertikaler Richtung werden die Betonsegmente durch Spannglieder aus Spannstahl vorgespannt. Die Spannglieder verlaufen entweder vertikal durch Kanäle in den Betonsegmenten oder extern an der Turminnenwand. Sie sind im Turmfundament verankert.

Alle Türme werden bereits im Werk mit dem fertigen Anstrich bzw. Witterungs- und Korrosionsschutz versehen, sodass nach der Montage möglichst keine weiteren Arbeiten an der Turmoberfläche anfallen.

## 2.4 Rotorblätter

Die Rotorblätter haben wesentlichen Einfluss auf den Ertrag der Windenergieanlage sowie auf ihre Geräuschemission. Form und Profil der Rotorblätter wurden gemäß den folgenden Vorgaben entwickelt:

- hoher Leistungsbeiwert
- lange Lebensdauer
- geringe Geräuschemissionen
- niedrige mechanische Lasten
- effizienter Materialeinsatz

Die Rotorblätter der Windenergieanlage sind speziell für den Betrieb mit Blattverstellungssystem und variabler Drehzahl ausgelegt.

Die Rotorblätter sind elastisch und biegen sich bei Windbelastung etwas nach hinten. Die Rotorblätter sind hohl und werden durch innenliegende Stege ausgesteift. Alle Komponenten der Rotorblattstruktur bestehen aus glasfaserverstärktem Polyester oder aus mehrlagigen Konstruktionen mit Schaum und Balsa als Kernmaterialien. Die Anbindung des Rotorblatts an die Rotornabe erfolgt mit einer Bolzenverbindung.

Die Oberfläche der Rotorblätter ist beschichtet. Die Beschichtung schützt vor Verschmutzung und Umwelteinflüssen. Auf der Oberfläche sind unterschiedliche aerodynamische Bauteile zur Leistungssteigerung oder zur Verringerung der Schallemission angebracht.

Zur Reduzierung der Schallemission im Betrieb wird das Rotorblatt optional mit einem segmentierten Hinterkantenkamm (Trailing Edge Serration) ausgerüstet. Der Hinterkantenkamm verkleinert die Turbulenzen an der Blatthinterkante und mindert damit die Schallemission der Windenergieanlage. Zur passiven Strömungsbeeinflussung sind an den Rotorblättern saugseitig Vortexgeneratoren eingesetzt. Zur Vergrößerung des aerodynamischen Auftriebs der Rotorblätter sind druckseitig T-Spoiler in der Nähe der Hinterkante installiert.

## 2.5 Vollumrichter

Die Generatorleistung mit variabler Frequenz wird gleichgerichtet, in eine konstante Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz umgewandelt (AC-DC-AC-Wandlung) und in das Netz eingespeist. Ein Vollumrichter wird verwendet, um die Qualität der elektrischen Leistung zu optimieren.

## 3 Sicherheitssystem

Die Windenergieanlage verfügt über eine Vielzahl von sicherheitstechnischen Einrichtungen, die dazu dienen, die Windenergieanlage dauerhaft in einem sicheren Betriebsbereich zu halten. Hierzu zählen Komponenten, die ein sicheres Anhalten der Windenergieanlage ermöglichen und ein komplexes Sensorsystem.

Bewegen sich sicherheitsrelevante Betriebsparameter außerhalb eines zulässigen Bereichs, wird die Windenergieanlage mit reduzierter Leistung weiterbetrieben oder angehalten.

### 3.1 Sicherheitseinrichtungen

#### Not-Halt-Taster im Turmfuß und im Maschinenhaus

In Gefahrensituationen kann die Windenergieanlage bzw. der Rotor durch Betätigung eines Not-Halt-Tasters schnell gestoppt werden.

Im Turmfuss und im Maschinenhaus befinden sich Not-Halt-Taster an folgenden Stellen:

- Tower Control Box
- Tower Control Panel
- Steuerschrank Transformator Gondel
- Cooling Control Box
- Nacelle Control Box

Not-Halt-Taster rasten im gedrückten Zustand ein. Nach einem Not-Halt kann die Windenergieanlage wieder gestartet werden, sofern die Ursache für den Not-Halt beseitigt und der Not-Halt-Taster zurückgesetzt wurde.

#### Not-Halt-Taster im Rotorkopf

Im Rotorkopf befinden sich Not-Halt-Taster an folgenden Stellen:

- Rotor Control Box (3x)
- Handgerät Manual Pitch Control (3x)

Die Betätigung eines Not-Halt-Tasters an einer Rotor Control Box oder an einem Handgerät Manual Pitch Control führt zu einer sofortigen Unterbrechung der Spannungsversorgung des Frequenzumrichters des Blattverstellantriebs des betreffenden Rotorblatts. Das Blattverstellsystem stoppt augenblicklich die Blattverstellung. Die 400 V-Spannungsversorgung des Rotorkopfs wird unterbrochen und die Blattverstellantriebe der 2 anderen Rotorblätter führen mithilfe der Energie der Kondensatoren in der Rotor Energy Storage Box eine Notverstellung der Rotorblätter durch.

#### Hauptschalter im Maschinenhaus

Im Maschinenhaus befinden sich Hauptschalter an folgenden Stellen:

- Nacelle Control Box
- Maschinenträger
- Cooling Control Box

Mit dem Hauptschalter an der Nacelle Control Box kann die Nacelle Control Box spannungsfrei geschaltet werden. Gleichzeitig wird die Spannungsversorgung des Rotorkopfs unterbrochen, wodurch die Notverstellung der Rotorblätter aktiviert wird.

Mit dem Hauptschalter am Maschinenträger (Hub Main Disconnect Switch) wird die Spannungsversorgung des Rotorkopfs unterbrochen. Dadurch wird die Notverstellung der Rotorblätter aktiviert.

Mit dem Hauptschalter an der Cooling Control Box werden die Komponenten des Flüssigkeitskühlsystems im Maschinenhaus spannungsfrei geschaltet.

### **Hauptschalter im Turmfuß**

Im Turmfuß befinden sich Hauptschalter an folgenden Stellen:

- Tower Control Box
- Steuerschrank Transformator Turmfuß

Mit dem Hauptschalter an der Tower Control Box können alle angeschlossenen Komponenten im Turmfuß, in der Gondel und in der Nabe spannungsfrei geschaltet werden.

Mit dem Hauptschalter am Steuerschrank Transformator Turmfuß wird der Steuerschrank Transformator Turmfuß aus- und eingeschaltet. Dadurch wird sichergestellt, dass bei Arbeiten am Transformator und an der Mittelspannungsschaltanlage kein Wiedereinschalten möglich ist.

## **3.2 Sensorsystem**

Eine Vielzahl von Sensoren erfasst laufend den aktuellen Zustand der Windenergieanlage und die relevanten Umgebungsparameter. Die entsprechenden Informationen stellt das Sensorsystem über das Fernüberwachungssystem ENERCON SCADA bereit. Die Steuerung der Windenergieanlage wertet die Signale aus und steuert die Windenergieanlage so, dass die aktuell verfügbare Windenergie optimal ausgenutzt wird und dabei die Sicherheit des Betriebs gewährleistet ist.

### **Redundante Sensoren**

Um eine Plausibilitätsprüfung durch Vergleich der gemeldeten Werte zu ermöglichen, sind für einige Betriebszustände redundante Sensoren eingebaut. Dies gilt z. B. für die Messung der Temperatur im Generator, die Messung der Windgeschwindigkeit oder die Messung des aktuellen Rotorblattwinkels. Ein defekter Sensor wird zuverlässig erkannt und kann repariert oder durch die Aktivierung eines Reservesensors ersetzt werden. Die Windenergieanlage kann dadurch in der Regel ohne sofortigen Serviceeinsatz sicher weiter betrieben werden.

### **Kontrolle der Sensoren**

Die Funktionstüchtigkeit aller Sensoren wird entweder im laufenden Betrieb regelmäßig durch die Steuerung selbst oder, wo dies nicht möglich ist, im Zuge der Wartung kontrolliert.

### **Drehzahlüberwachung**

Die Steuerung der Windenergieanlage regelt durch Verstellung des Blattwinkels die Rotordrehzahl so, dass die Nenndrehzahl auch bei sehr starkem Wind nicht nennenswert überschritten wird. Auf plötzlich eintretende Ereignisse, z. B. eine starke Windbö oder eine schlagartige Verringerung der Generatorlast, kann das Blattverstellungssystem jedoch unter Umständen nicht schnell genug reagieren. Wenn die Nenndrehzahl um einen festgelegten Wert überschritten wird, hält die Steuerung der Windenergieanlage die Windenergieanlage an. Die Windenergieanlage kann über das Fernüberwachungssystem neu gestartet werden.

Wenn ein Fehler vorliegt, wird die Windenergieanlage durch eine Notverstellung angehalten.

### **Temperaturüberwachung**

Einige Komponenten der Windenergieanlage werden gekühlt. Zudem messen Temperatursensoren kontinuierlich die Temperatur an Komponenten, die vor hohen Temperaturen geschützt werden müssen.

Bei zu hohen Temperaturen wird die Leistung der Windenergieanlage reduziert, gegebenenfalls wird die Windenergieanlage angehalten.

Einige Messpunkte sind zusätzlich mit Übertemperaturschaltern ausgerüstet. Die Übertemperaturschalter veranlassen ebenfalls das Anhalten der Windenergieanlage nachdem eine bestimmte Temperatur überschritten wurde. Nach dem Abkühlen kann die Windenergieanlage wieder in Betrieb genommen werden, nachdem der Grund für die Überschreitung untersucht wurde.

### **Überwachung der Kabelverdrillung**

Die Turmkabel haben im oberen Turmbereich so viel Bewegungsspielraum, dass die Gondel um 1,5 Umdrehungen nach links und rechts gedreht werden kann, ohne dass die Turmkabel dabei beschädigt werden und überhitzen. Je nach Grad der Verdrillung und Höhe der Windgeschwindigkeit entscheidet die Steuerung der Windenergieanlage, wann die Turmkabel entdrillt werden müssen.

Die Überwachung der Kabelverdrillung verfügt über eine Sensorik, die bei einer Überschreitung des zulässigen Stellbereichs die Stromversorgung der Azimutmotoren unterbricht.

### **Luftspaltüberwachung**

Der Luftspalt zwischen Rotor und Stator des Generators darf eine bestimmte Breite nicht unterschreiten. Der Luftspalt wird durch induktive Näherungssensoren überwacht, die am Rotorumfang verteilt sind. Wenn der Luftspalt einen bestimmten Wert unterschreitet, wird die Windenergieanlage angehalten. Die Windenergieanlage kann neu gestartet werden, sobald die Ursache beseitigt wurde.

## **3.3 Erdung und Blitzschutz**

Das Blitzschutzsystem der Rotorblätter besteht aus Metallrezeptoren, die den Blitz von der Außenhaut des Rotorblatts auf die innere Ableitungseinrichtung übertragen. Im Flanschbereich des Rotorblatts wird der Blitzstrom weiter an die Bolzen übertragen, die mit dem Blitzschutzsystem der Windenergieanlage verbunden sind.

Der Haupterdungsstrang führt von den Blitzfangeinrichtungen in den Rotorblättern durch den feststehenden Generatorträger zu Gondel und Turm und anschließend in die Fundamenterde. Die Fundamentbewehrung und die Erdungselektroden bilden zusammen den zentralen Erdungspunkt der Windenergieanlage, an den alle Erdungsanschlüsse angeschlossen sind. Die Windmessstation und die Gondel verfügen ebenfalls über Blitzfangeinrichtungen, die mit der tragenden Struktur des Maschinenhauses verbunden sind.

## 4 Steuerung

Die Steuerung der Windenergieanlage beruht auf einer speicherprogrammierbaren Steuerung, die über Sensoren sämtliche Komponenten der Windenergieanlage sowie Daten, wie Windrichtung und Windgeschwindigkeit, abfragt und die Betriebsweise der Windenergieanlage entsprechend anpasst. Der aktuelle Status der Windenergieanlage und eventuelle Störungen werden am Tower Control Panel im Turmfuß angezeigt.

### 4.1 Windnachführung

Auf dem Turmkopf befindet sich das Azimutlager mit einem außenverzahnten Zahnkranz. Das Azimutlager ermöglicht die Drehung und somit die Windnachführung der Gondel.

Ist die Abweichung zwischen der Windrichtung und der Richtung der Rotorachse größer als der vorgegebene zulässige Maximalwert, werden die Azimutantriebe eingeschaltet, die die Gondel dem Wind nachführen. Die Steuerung der Azimutmotoren gewährleistet ein sanftes Anlaufen und Bremsen. Die Steuerung der Windenergieanlage überwacht die Windnachführung. Erkennt die Steuerung der Windenergieanlage Unregelmäßigkeiten, wird die Windnachführung deaktiviert und die Windenergieanlage angehalten.

### 4.2 Blattverstellungssystem

Das Blattverstellungssystem ändert die Position der Rotorblätter und damit den Anstellwinkel, mit dem die Luft das Rotorblattprofil anströmt. Mit dem Rotorblattwinkel ändert sich der Auftrieb des Rotorblatts und damit auch die Kraft, mit der der Rotor gedreht wird.

Im Automatikbetrieb (Normalbetrieb) wird der Rotorblattwinkel so eingestellt, dass einerseits die im Wind enthaltene Energie optimal ausgenutzt wird und andererseits keine Überlastung der Windenergieanlage eintritt. Dabei werden auch Randbedingungen wie Schalloptimierung eingehalten. Außerdem dient das Blattverstellungssystem dem aerodynamischen Abbremsen des Rotors.

Erreicht die Windenergieanlage ihre Nennleistung, dreht das Blattverstellungssystem die Rotorblätter bei weiter steigender Windgeschwindigkeit gerade so weit aus dem Wind, dass die Rotordrehzahl und die vom Generator erzeugte Leistung die Nennwerte nicht oder nur unwesentlich übersteigen.

### 4.3 Drehmomentregelung

Die Windenergieanlage ist drehzahl geregelt. Die Differenz zwischen dem aerodynamischen und dem elektromechanischen Drehmoment bestimmt die Rotordrehzahl bei Teillast. Das Gegendrehmoment wird entsprechend der Windgeschwindigkeit und dem ankommenden Drehmoment optimiert und folgt einer optimalen Schnelllaufzahl. Unter Vollastbedingungen wird die Ausgangsleistung durch die Drehmomentregelung konstant gehalten. Das vom Generator erzeugte Gegendrehmoment wird vom Umrichter gesteuert.

## 5 Fernüberwachung

Standardmäßig sind alle ENERCON Windenergieanlagen über das ENERCON SCADA System mit der regionalen Serviceniederlassung verbunden. Die regionale Serviceniederlassung kann jederzeit die Betriebsdaten von jeder Windenergieanlage abrufen und ggf. sofort auf Auffälligkeiten und Störungen reagieren.

Auch alle Statusmeldungen werden über das ENERCON SCADA System an eine Serviceniederlassung gesendet und dort dauerhaft gespeichert. Nur so ist gewährleistet, dass alle Erfahrungen aus dem praktischen Langzeitbetrieb in die Weiterentwicklung der ENERCON Windenergieanlagen einfließen können.

Die Anbindung der einzelnen Windenergieanlagen läuft über den ENERCON SCADA Server, der üblicherweise in der Übergabestation oder in dem Umspannwerk eines Windparks aufgestellt wird. In jedem Windpark ist ein ENERCON SCADA Server installiert.

Auf Wunsch des Betreibers kann die Überwachung der Windenergieanlagen von einer anderen Stelle übernommen werden.

## 6 **Wartung**

Um den dauerhaft sicheren und optimalen Betrieb der Windenergieanlage sicherzustellen, muss die Windenergieanlage in regelmäßigen Abständen gewartet werden.

Die Windenergieanlage wird regelmäßig, je nach Anforderung mindestens einmal jährlich, gewartet.

Bei der Wartung werden alle sicherheitsrelevanten Komponenten und Funktionen geprüft, z. B. das Blattverstellsystem, die Windnachführung, die Sicherheitssysteme, das Blitzschutzsystem, die Anschlagpunkte zur Personensicherung und die Sicherheitssteigleiter. Die Schraubverbindungen an den tragenden Verbindungen (Hauptstrang) werden geprüft. Alle weiteren Komponenten werden einer Sichtprüfung unterzogen. Verbrauchte Schmierstoffe werden nachgefüllt.

Die Wartungsintervalle und Wartungsumfänge können je nach regionalen Richtlinien und Normen abweichen.

## 7 Technische Daten ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3

Allgemein		
Hersteller	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich	
Typenbezeichnung	E-160 EP5 E3	
Nennleistung	5560 kW	
Rotordurchmesser	160 m	
Windklasse (IEC 4th Edition)	IIIA	S <sup>1</sup>
Auslegungslebensdauer	20 Jahre	25 Jahre
Extrem-Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe (10-min-Mittelwert)	37,50 m/s	37,50 m/s
entspricht einem Lastäquivalent von circa (3-s-Bö)	52,50 m/s	52,50 m/s
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	7,50 m/s	8,50 m/s

Rotor mit Blattverstellsystem	
Typ	Luvläufer mit aktivem Blattverstellsystem
Drehrichtung	Uhrzeigersinn (in Windrichtung gesehen)
Rotorblattanzahl	3
Rotorblattlänge	78,3 m
überstrichene Rotorfläche	20 106 m <sup>2</sup>
Rotorblattmaterial	Glasfaser und Polyester
untere Drehzahl Leistungseinspeisung <sup>2</sup>	4,4 U/min
Solldrehzahl <sup>3</sup>	9,6 U/min
Blattspitzengeschwindigkeit bei Solldrehzahl	80,44 m/s
Abregelwindgeschwindigkeit (mit optionaler ENERCON Sturmregelung)	25 m/s (12-s-Mittel)
Abschaltwindgeschwindigkeit	28 m/s (10-min-Mittel)

<sup>1</sup> Die Windklasse S setzt sich zusammen aus Windklasse IIIA mit 20 Jahren Auslegungslebensdauer (Betriebs- und Extremlasten) und Windklasse IIB mit 25 Jahren Auslegungslebensdauer (Betriebslasten)

<sup>2</sup> Drehzahl, bei der die Einspeisung beginnt.

<sup>3</sup> Drehzahl, auf die im Volllastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird. Sie liegt etwas über der Nenn-drehzahl, bei der zum ersten Mal die Nennleistung erreicht wird. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Drehzahl bei kurzzeitigen negativen Schwankungen der Windgeschwindigkeit nicht unter den zum Erreichen der Nennleistung notwendigen Drehzahlbereich abfällt. Bei Böen kann die Drehzahl kurzzeitig über die Solldrehzahl ansteigen.

<b>Rotor mit Blattverstellungssystem</b>	
Konuswinkel	≤ 5°
Rotorachswinkel zur Horizontalen	6°
Blattverstellungssystem	je Rotorblatt ein autarkes elektrisches Stellsystem mit zugeordneter Notstromversorgung

<b>Antriebsstrang mit Generator</b>	
Windenergieanlagenkonzept	getriebelos, variable Drehzahl, Vollumrichter
Rotornabe	starr
Lagerung	2 Kegelrollenlager
Generator	direktgetriebener permanenterregter Synchrongenerator
Schutzart/Isolationsklasse	IP 54/F

<b>Bremssystem</b>	
aerodynamische Bremse	aerodynamisch über 3 autarke Blattverstellungssysteme mit Notstromversorgung
Rotorhaltebremse	hydraulisch
Rotorarretierung	in 30°-Stufen rastend

<b>Windnachführung</b>	
Azimuthverstellung	elektromechanisches Stellsystem
Azimuthbremse	hydraulisch

<b>Steuerung der Windenergieanlage</b>	
Typ	Mikroprozessor
Netzeinspeisung	Vollumrichter mit speicherprogrammierbarer Steuerung
Fernüberwachung	ENERCON SCADA
unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	integriert

<b>Turmvarianten</b>				
Nabenhöhe	Gesamthöhe	Bauart	Windklasse IEC <sup>4</sup>	Turbulenzkategorie IEC <sup>4</sup>
99,00 m	179,00 m	Stahlrohrturm	III	A
			S <sup>1</sup>	S
119,83 m	199,83 m	Hybrid-Stahl-turm	III	A
			S <sup>1</sup>	S
166,60 m	246,60 m	Hybridturm	III	A

<sup>4</sup> Ausgabe der Richtlinie Edition 4

Turmvarianten				
			S <sup>1</sup>	S