

Technische Beschreibung

**ENERCON Windenergieanlage
E-147 EP5 E2**

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: Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben
 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

Dokument-ID	D0808090-1
Bemerkung	Originaldokument. Quelldokument für Übersetzung: D0801266-1

Datum	Sprache	DCC	Werk/Abteilung
2019-06-03	de	DA	WRDMS GmbH / Technische Redaktion

Inhaltsverzeichnis

1	Technische Beschreibung	4
1.1	Konzept	4
1.2	Rotor	5
1.3	Generator	5
1.4	Gondel.....	5
1.5	Türme.....	5
1.6	Steuerungsverfahren	5
1.6.1	Drehmomentregelung	5
1.6.2	Rotorblattverstellung	6
1.6.3	Windnachführung.....	6
1.7	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem.....	6
1.8	Umrichter.....	6
1.9	Erdung und Blitzschutz.....	7
2	Technische Daten	8

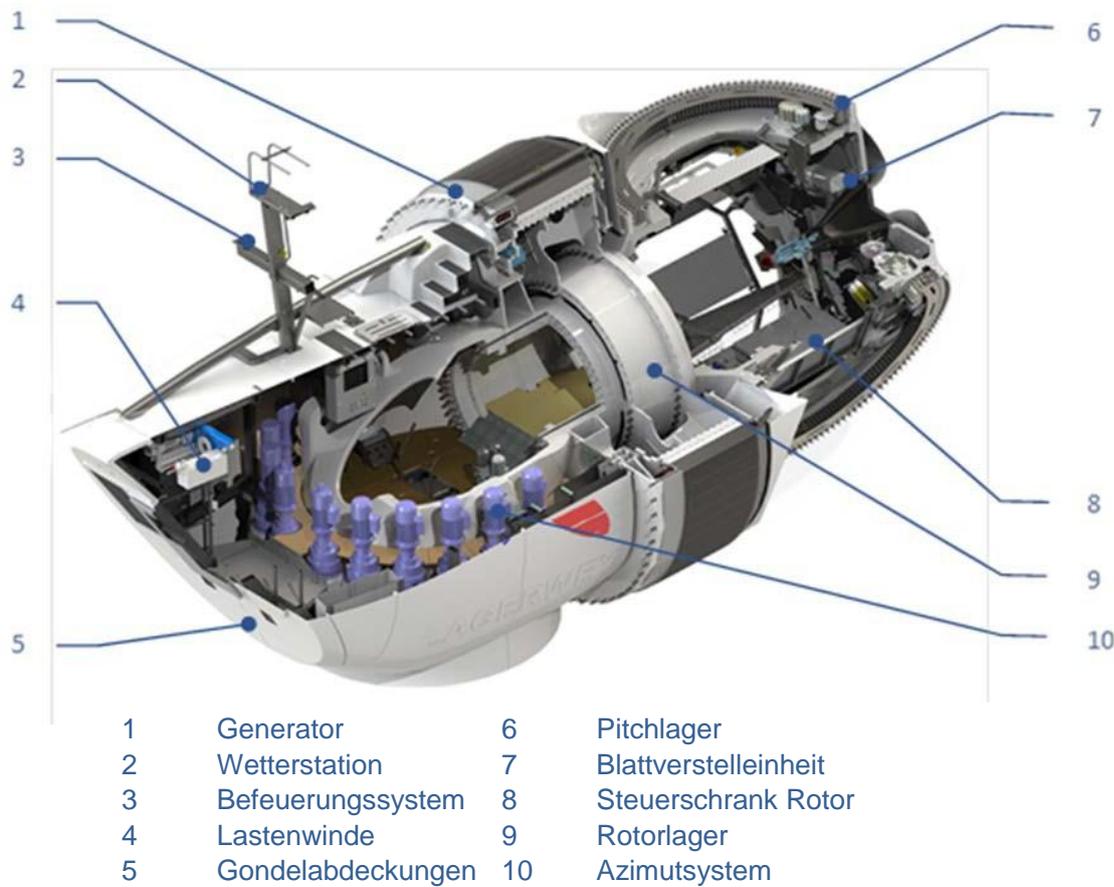
1 Technische Beschreibung

1.1 Konzept

Die E-147 EP5 E2 basiert auf der Plattform EP5, ist mit einem Rotor von 147 m Durchmesser ausgestattet und für eine Nennwirkleistung von 5,0 MW ausgelegt. Das Konzept basiert auf dem getriebelosen Prinzip, das durch einen Generator mit Direktantrieb und einen IGBT-Umrichter umgesetzt wird. Die maximale Nennwirkleistung beträgt 5,0 MW, die tatsächliche Nennwirkleistung hängt von den Schallanforderungen und der örtlichen Netzkapazität ab. Es können mehrere geräuschreduzierte Betriebsarten aktiviert werden, was zu einer schrittweise leicht verringerten Nennwirkleistung führt.

Tabelle 1-1: Konfiguration von Windenergieanlagen der Plattform E5 mit einem Rotordurchmesser von 147 m.

Bezeichnung der Konfiguration	Turm-typ	Rotor-durch-messer	Rotor-blatt-satz	Ro-torna-ben-höhe	Windklasse
E-147 BLM 5.0MW 126 m Klasse IIA	MST Mk2	147 m	LM71.8	126 m	IEC 2A DIBt WZ 3 GK II
E-147 BLM 5.0MW 155 m Klasse IIA	MST Mk2	147 m	LM71.8	155 m	IEC 2A DIBt WZ ≥ 2 GK II



1.2 Rotor

Der Rotor besteht aus der Nabe mit 3 Rotorblättern aus glasfaserverstärktem Material. Das Blitzschutzsystem ist in die Blatt- und Nabenkonstruktion integriert.

Das Tragwerk der Rotornabe besteht aus Gusseisen (EN-GJS-400-18-LT).

Die Rotorblattverstellung ist über 90 Grad möglich und erfolgt über Kugeldrehverbindungen zwischen der Blattwurzel und der Rotornabe. Die Verstellbewegungen werden durch 3 unabhängige, an die gegossene Nabe montierte Blattverstellgetriebe aktiviert. Der Zugang zum Nabeninneren erfolgt durch die hohle Hauptwelle.

1.3 Generator

Der Generator mit Direktantrieb ist ein mehrpoliger Generator mit Dauermagneten am inneren Rotor, der die Erregung erzeugt. Der Generator wird durch die Außenluftführung gekühlt und ist für eine Nennwirkleistung von 5,0 MW ausgelegt.

Das Rotorlager besteht aus einer montierten Lagerbaugruppe, die in die hohle Hauptwelle integriert ist. Die Bauteile des Rotorlagers kommen von professionellen Anbietern, die über ein Höchstmaß an Erfahrung verfügen und eine hohe Zuverlässigkeit bieten. Die Nabe stößt an das Rotorlagergehäuse des Generators. Für Wartungs- und Servicezwecke verfügt der Generator über ein integriertes internes Schließsystem und ein kleines Bremssystem zum Positionieren des Rotors.

1.4 Gondel

Das Gondeltragwerk ist eine kompakte Gusseisenkonstruktion (EN-GJS-400-18-LT), die die Rotorlast effizient auf den Turm überträgt und die Azimutgetriebe aufnimmt. Der Generator ist direkt an die Gondel montiert und regelt den Kippwinkel zur Rotorwelle. Die Unterseite der Gondel ist über eine Kugeldrehverbindung mit dem Turmkopf verbunden.

1.5 Türme

Der modulare Stahlurm Mk2 (MST) ist aus Turmsektionen mit gebogenen Platten mit einem kurzen geschweißten Teil oben aufgebaut. Je nach Nabenhöhe variieren die Anzahl der Sektionen und auch der Außendurchmesser. Siehe Tabelle 1 mit einem Überblick. Am Turmkopf beträgt der Teilkreisdurchmesser 3,045 m, der Flansch am Turmkopf hat einen Außendurchmesser von 3,17 m. Die Turmhöhe von der Unterseite des Ankerflansches bis einschließlich Turmkopfflansch ist in Dokument D0801248 „Tower description EP5 – Mk2“ (Turmbeschreibung EP5 – Mk2) Tabelle 1 angegeben.

1.6 Steuerungsverfahren

1.6.1 Drehmomentregelung

Der Betrieb der Windenergieanlage beruht auf dem Prinzip der variablen Drehzahl. Die Differenz zwischen dem aerodynamischen und dem elektromechanischen Drehmoment bestimmt die Rotordrehzahl bei Teillast. Das Gegenmoment ist für jeden Arbeitspunkt optimiert und folgt weitestgehend einem optimalen Blattspitzengeschwindigkeitsverhältnis. Unter Vollast wird die Ausgangsleistung mithilfe der Drehmomentregelung konstant gehalten. Das vom Generator erzeugte Gegenmoment wird vom Umrichter geregelt.

1.6.2 Rotorblattverstellung

Die Windenergieanlage verfügt über drei unabhängige Blattverstellantriebssysteme zur Regelung des Blattwinkels. Die Verstellung der Rotorblätter erfolgt so, dass die Drehzahl der Windenergieanlage und die Last innerhalb der Auslegungsgrenzen bleiben. Das Betriebsführungssystem der Windenergieanlage erstellt Sollwerte für die Blattverstelleinrichtungen.

Unter Rotornendrehzahl ist der Blattwinkel für ein optimales Blattspitzengeschwindigkeitsverhältnis zur Stromerzeugung überwiegend nahe der Arbeitsposition fixiert.

Der Regler ist für die integrierte Möglichkeit zur zyklischen/individuellen Rotorblattverstellung vorbereitet.

1.6.3 Windnachführung

Der Nachführmechanismus besteht aus einer Kugeldrehverbindung und bis zu 12 Azimutantrieben. Eine aktivierte Azimutbremse dient der Vermeidung von Schlupf in der Anlage. Diese Bremse kann bei der Windnachführung (teilweise) gelöst werden.

Der Steuerung der Windenergieanlage steuert den Windnachführungsprozess. Die Eingangssensoren für den Azimutprozess sind Wind- und Drehsensoren. Die Steuerung minimiert die Azimutbelastung und die Azimutbewegungen.

1.7 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem

Die Anlagensteuerung ist modular aufgebaut. Einige Funktionen werden von Subsystemen gesteuert. Für die Kommunikation zwischen der lokalen Intelligenz und dem Betriebsführungssystem der Windenergieanlage wird ein Feldbus eingesetzt.

Die Hardware der Steuerung der Windenergieanlage befindet sich in Steuerschränken, die in der Nabe, der Gondel und dem Turmfuß untergebracht sind. Die Regler sind über den Feldbus miteinander verbunden.

Die Hauptfunktion der Rotorsteuerung ist die Regelung der Rotordrehzahl innerhalb des festgelegten Bereichs. Die Funktion wird über 3 unabhängige Blattverstellmotoren und -antriebe realisiert. Die drei Blattwinkel sind während des Betriebs synchronisiert.

Das Sicherheitssystem (Not-/Schutzsystem) ist um dieselben drei unabhängigen Wechselstrom-Blattverstelleinheiten identischer Konstruktion herum aufgebaut. Bei Störungen der Windenergieanlage (Bedienelemente) oder im Versorgungsnetz übernimmt der spezielle Verstellumrichter mit hohem Schutzniveau die Aufgabe, die Anlage durch schnelles Drehen der Rotorblätter aus dem Wind zu drehen. Ultrakondensatoren stellen die Reservestromversorgung des Sicherheitssystems bereit. Wenn eine Blattverstelleinrichtung ausfällt, können die anderen beiden die Windenergieanlage in einen sicheren Zustand bringen. Der Zustand der Kondensatoren wird während des Betriebs geprüft.

Die Gondelausstattung sorgt für die Windnachführung und Windmessungen wie Windrichtung und Windgeschwindigkeit.

1.8 Umrichter

Der Generatorstrom mit variabler Frequenz wird zu einer konstanten Frequenz von 50/60 Hz gleichgerichtet und umgeformt (Wechselstrom-Gleichstrom-Wechselstrom-Umformung) und in das Netz eingespeist. Ein Vollumrichter optimiert die Netzverträglichkeit (minimierte Oberschwingungsströme, geringe Flicker, netzstörungstolerant, Blindleistung auf Abruf). Der Um-

richter regelt den Strom als Funktion der Drehzahl der Windenergieanlage und hält ihn bei Nennleistung konstant.

1.9 Erdung und Blitzschutz

Der Hauptteil der Erdung beginnt bei den Blitzableitern an den Rotorblättern und läuft über die nicht rotierende Generatöraufhängung zur Gondel und den Turm in die Fundamente der Erde. Die Fundamentbewehrung und die Erdungselektroden bilden gemeinsam den zentralen Erdungspunkt, an den alle Erdungsverbindungen angeschlossen sind. Die Blitzableiter der Halterung der Windstation und der Gondel sind mit dem Tragwerk der Gondel verbunden.

2 Technische Daten

Die Technischen Daten für die Konfigurationen aus Tabelle 1-1 sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Allgemeines

Konstruktionsstandards	Gemäß IEC 61400-1 Ausgabe 3
Entwurfslebensdauer	20 Jahre

Betriebsdaten

Einschaltgeschwindigkeit	2,5 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit	25 m/s (10-Minuten-Mittel) 30 m/s (5-Sekunden-Mittel) Sturmregelung (geplant)
Windgeschwindigkeit bei Nennleistung	11 m/s (quasi statisch)
Bemessungswindklasse	Windklasse II, Turbulenz A gemäß IEC 61400-1 Ausgabe 3
Referenzwindgeschwindigkeit V_{ref}	42,5 m/s (IEC Windklasse II)
Überlebenswindgeschwindigkeit $V_{e50} = 1,4 \times V_{ref}$	59,5 m/s (IEC Windklasse II)
Windhöhe	8° gemäß IEC 61400-1
Betriebstemperaturbereich	-10/-20 bis +30/+40 [°C] (< -10 und > +25 °C kann zur Drosselung führen)
Standby-Temperaturbereich	-20 bis +50 °C

Rotorblatt

Blatttyp	LM 71.8 P
Blattlänge	71,8 m
Drehrichtung	Uhrzeigersinn
Masse	22954 kg
Material	Glasfaser und Polyester
Reduzierung der Geräuschbelästigung	Geriffelte Kanten

Rotor

Typ	3-blättrig, waagerechte Achse
Position	Luvseite
Rotorkippwinkel	6°
Rotorkegel (Blattwurzel)	2°
Durchmesser	147 m
Überstrichene Rotorfläche	16939 m ²

Rotordrehzahl	Variable Drehzahl
Rotordrehzahl bei Nennleistung n_r	10,3 U/min
Rotordrehzahl bei Einschaltleistung	4 U/min
Leistungsregulierung	Rotorblattverstellung
Nabe, Gesamtmasse	≈ 47 t

Blattverstellsystem

Typ	Elektrisch angetrieben
Prinzip	3 unabhängige Blattverstellrichtungen
Blattwinkelbereich	0 bis 90°
Sicherheitssystem	Wechselstrommotor + Ultrakondensatoren als Reserve

Generator

Typ	Mehrpoleig synchron
Nennleistung	5000 kW
Nenn Drehzahl n_r	10,3 U/min
Spannung	Niederspannung
Felderregung	Dauermagnet
Generatormasse	≈ 130 t
Schutz	IP 54
Kühlung	Außenluftkühlung
Isolationsklasse	F
Durchmesser	5,95 m
Temperatursensoren	PT-100
Betriebsbremse	Hydraulikbremse
Hauptwelle der Windenergieanlage	Hohlwelle + Hauptlagerbaugruppe
Verbindungen zu Gondel und Nabe	Hochfeste Schrauben

Gondel

Gondel, Gesamtmasse	≈ 46 t (ohne Generator)
Azimutlager	Kugeldrehverbindung
Azimutantrieb	Elektromotoren und Zahnradgetriebe
Azimutbremse	Aktive Bremssättel
Azimutgeschwindigkeit	0,3°
Windgeschwindigkeits- und Flügelradsensoren	Beheizte Windfahne und Schalenanemometer + Ultraschall-Windmessung

Verbindungen zu Turm und Gondel
 Serviceausstattung

 Hochfeste Schrauben
 Lastenwinde

Türme

Typ	Modularer Stahlturm (MST)
Nabenhöhe	126/155 m
Anzahl der Sektionen	11+1 (oben) für 126 und 13+1 für 155
Unterer Durchmesser 126/155 m	8,5//9,7 m
Oberer Durchmesser	3 m
Anschlüsse	Plattensegment mit verschraubter reibschlüssiger Verbindung

Umrichtersystem

Typ	IGBT
Kühlung	Wasser-/luftgekühlt
Netzkopplung	Wechselstrom-Gleichstrom-Wechselstrom
Netzseitiger Typ	3 Phasen
Netzseitiger Anschluss	Motorbetriebener Hauptschutzschalter
Netzfiltertopologie	LCL
Regelbetrieb	Drehmomenttabelle
Leistungsfaktorstandard	Regelbar zwischen 0,92 und 1,00 vor- oder nachlaufend
Netzverträglichkeit	THD <4%
Energiemessung	+ und - kWh
Schutz	Überspannungsableiter 10 kA
Schutzklasse	IP 54
Einschaltstrom beim Hochfahren	Kein Einschaltstrom (begrenzt durch die Umrichterelektronik)
Netzseitige Spannung	690 V
Low-Voltage-Ride-Through	Optional (gemäß lokalen Netzanschlussregeln)
MS-Wandler + Schaltanlage	Optional Siemens/Schneider/ABB/UTU

Anlagensteuerung

Hauptreglertyp	SPS-Regler
Rotorsteuerung	Blattverstellantrieb und Überdrehzahlschutz
Gondelsteuerung	Rotordrehzahlsteuerung / Alarmmanagement / Windnachführung / Wind-, Temperatur-, Beschleunigungs-, Kabelverdrillungs- und sonsti-

Turmfußsteuerung	ge Messungen / Datenprotokollierung
Interne Kommunikation	HMI-Bedienfeld
Externe Kommunikation	Faseroptik
	Internetanschluss
Erdungsfundament	
Maximaler Erdungswiderstand	Gemäß IEC 62305-3
Tiefenelektroden	Minimal 2 x 50 mm ² Kupfer- oder Stahläquivalent
	Maximaler Widerstand 2,5 Ohm
Ringelektroden	Minimum 1 x 50 mm ²
Fundamentbewehrung	An Erdelektroden angeschlossen
Netzanforderungen	
Spannungsebene	Mittelspannung, nominal $\pm 10\%$
Spannungsungleichheit	Verhältnis von Gegen- zu Mitimpedanz max. 2 %
Frequenzebene	50 oder 60 Hz $\pm 2\%$
Maximale Oberschwingungsverzerrung Netzanschlusspunkt (NAP), ohne Windenergieanlage	
Gemäß IEC 61400-1	