

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

Anlagen:

- D0808090-1_#_de_#_Technische Beschreibung E-147 EP5 E2.pdf
- D0901963-3_#_de_#_TB_Fundamente_E-147_EP5-E2-MST-126-FB-C-01.pdf
- D0990039-0_#_de_#_Turm_E-147_EP5_E2-MST-126-FB-C-01.pdf
- PLM-EWES-SP042-S1 E-147 EP5 E2 5000 kW-Rev001de-de.pdf
- D0978609-1_#_de;en_#_Fundamentdatenblatt_E-147_EP5-E2-MST-126-FB-C-01_Tg.pdf

Antragsteller: Windpark Krimpenfort GmbH & Co. KG

Aktenzeichen:

Erstelldatum: 08.10.2020 Version: 0

1/62

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

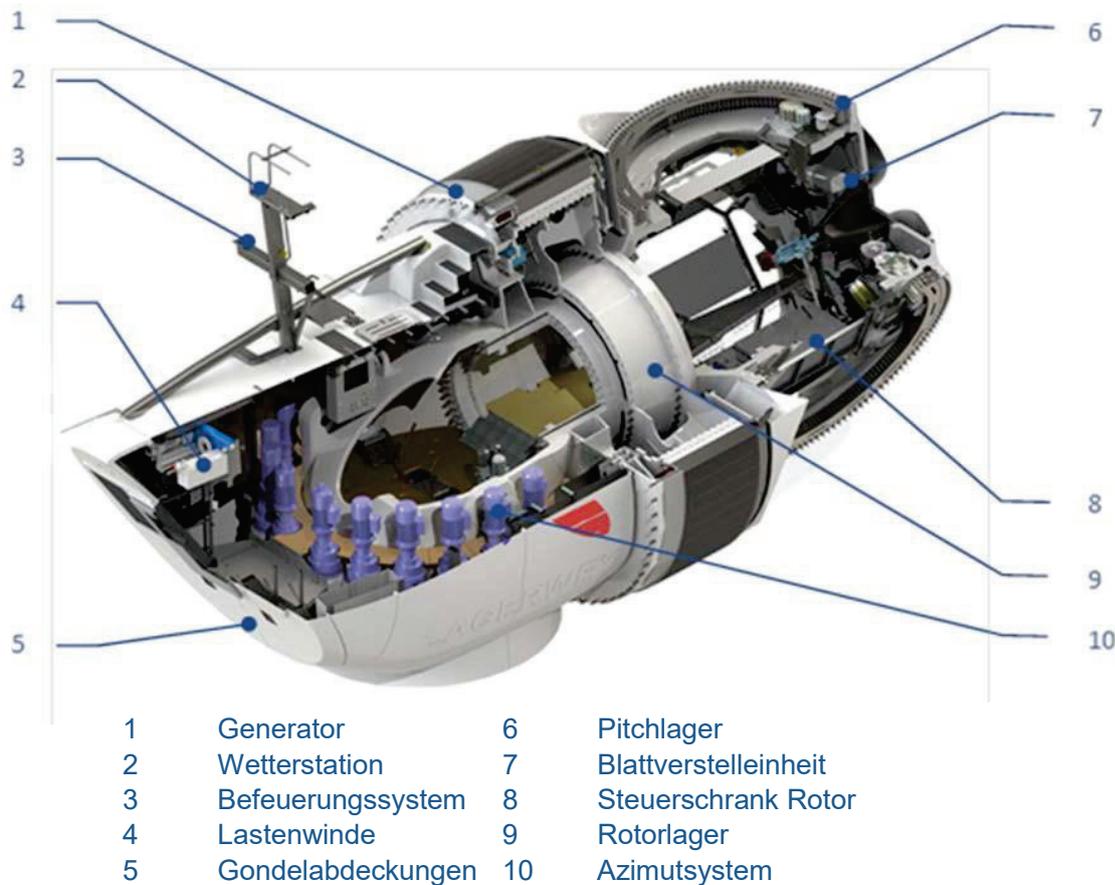
1 Technische Beschreibung

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 Fundamenterder. 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

Blattverstellungssystem

Typ	Elektrisch angetrieben
Prinzip	3 unabhängige Blattverstelleinrichtungen
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	

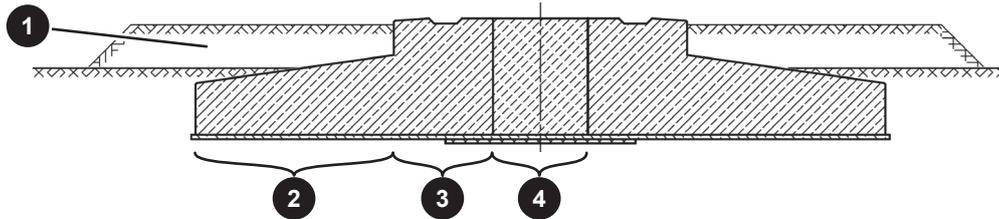


Abb. 1: Fundamentschnitt

1	Bodenaufschüttung	2	Sporn
3	Sockel	4	Bereich ohne statisch relevante Bewehrung

Allgemeine Fundamentdaten

Jedes Fundament besteht aus einem kreisringförmigen Sporn mit innenliegendem Sockel, der als Auflager für den Stahlurm dient. Das ganze Fundament wird aus Stahlbeton hergestellt. Unter den Fundamenten befindet sich eine 0,10 m dicke Sauberkeitsschicht aus Beton C12/15.

In der Sockelmitte ist der Fundamentkorb einbetoniert. Innerhalb des Fundamentkorbs befindet sich ein Bereich ohne statisch relevante Bewehrung mit einem Durchmesser von 5,20 m, der als Leerrohrdurchführung dient. Auf den Sporn wird eine dauerhafte Bodenaufschüttung aufgebracht, die bis auf 0,15 m unter die Sockeloberkante reicht. Die Sockeloberkante liegt 0,70 m über der Geländeoberkante.

Für diese Fundamente ist ein Grundwasserstand bis zur Geländeoberkante zulässig.

Kreisförmige Flachgründung (mit Auftriebswirkung)

Der Außendurchmesser des Fundaments beträgt 26,30 m, der Außendurchmesser des Sockels beträgt 10,30 m. Die Spornhöhe beträgt innen 2,30 m und außen 1,20 m. Die Gesamthöhe im Bereich des Sockels beträgt 2,70 m.

Kreisförmige Tiefgründung (mit Auftriebswirkung)

Der Außendurchmesser des Fundaments beträgt 22,30 m, der Außendurchmesser des Sockels beträgt 10,30 m. Die Spornhöhe beträgt innen 2,30 m und außen 1,50 m. Die Gesamthöhe im Bereich des Sockels beträgt 2,70 m.

Die Fundamentlasten werden über Pfähle mit vorgegebenem Querschnitt in den tragfähigen Baugrund eingeleitet. Folgende Varianten sind möglich:

- 39 Ortbetonrammpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt $D = 51$ cm.
- 33 Ortbetonrammpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt $D = 56$ cm.
- 16 Bohrpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt $D = 100$ cm.

Der modulare Stahlurm (MST) besteht aus einem geteilten T-Flansch, konischen Stahlsektionen und einer Adaptersektion. Die Stahlsektionen bestehen aus 6, 8 oder 12 Blechen, die so gekantet sind, dass jede Stahlsektion einen 24-eckigen Grundriss hat. Die Adaptersektion bildet den Übergang zwischen den gekanteten Blechen und dem runden Anschluss des Maschinenträgers.

Der T-Flansch ist 0,5 m hoch, die vorletzte Stahlsektion oberhalb des Bodens ist 5,9 m hoch. Die weiteren 10 Stahlsektionen sind jeweils 11,48 m hoch und die Adaptersektion ist 2,2 m hoch. Der Durchmesser beträgt am Turmfuß 8,5 m und unter dem Turmkopfflansch 3,2 m. Die Wanddicke beträgt 22 mm.

Der untere T-Flansch wird geteilt angeliefert, auf dem Fundament ausgerichtet und mit dem Fundamentkorb verschraubt. Anschließend werden die vorgefertigten Stahlsektionen darauf montiert und mit vorgespannten Schrauben verbunden.

Im oberen Bereich jeder Stahlsektion sind Podeste angeordnet. Sie dienen als feste Arbeitsbühne sowie als Ruhebühne beim Auf- und Abstieg.

Der Aufstieg im Turm erfolgt über eine Aufstiegshilfe (Nutzlast 300 kg) gemäß Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. Die Aufstiegshilfe fährt bis zu einem Podest einige Meter unterhalb des Turmkopfs. Für die restliche Strecke wird die Sicherheitssteigleiter benutzt, die über die gesamte Turmhöhe führt. Die Sicherheitssteigleiter erfüllt in Kombination mit einer Steigschutzeinrichtung die DIN EN ISO 14122-4:2016.

Die Turminnenleuchten sind so verteilt, dass eine ausreichende Beleuchtung des Turminnenraums gegeben ist. Bei Spannungsausfall wird die Innenbeleuchtung durch eine Notstromeinrichtung versorgt, sodass Personen sicher absteigen können.

Der Zugang zum Turm erfolgt über eine außen angebrachte Treppe. Vor der Turmeingangstür ist ein Podest montiert. Im Turm befindet sich auf dieser Höhe das Eingangspodest mit dem Steuerschrank zur Bedienung der Windenergieanlage. Die Turmeingangstür ist mit einem Schloss ausgerüstet, das von innen jederzeit ohne Schlüssel und Werkzeug geöffnet werden kann.

Die Mittelspannungsschaltanlage, der Netztransformator und die unterbrechungsfreie Stromversorgung befinden sich auf der Fundamentebene, die über die Sicherheitssteigleiter erreicht wird. Der Zugang zu Mittelspannungsschaltanlage und Netztransformator ist mit einem separaten Schließsystem gesichert.

Spezifikation

Netzanschlussvariante Standard 1

ENERCON Windenergieanlage E-147 EP5 E2 5000 kW

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: Hans-Dieter Kettwig
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	PLM-EWES-SP042-S1 E-147 EP5 E2 5000 kW-Rev001de-de		
Vermerk	Originaldokument		
Vertraulichkeit	NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG		
Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2020-02-04	de	DB	ENERCON PLM GmbH / EW-Engineering Support

NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

Technische Änderungen vorbehalten.

NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

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
IEC 60076-1:2011-04	Leistungstransformatoren - Teil 1: Allgemeines
IEC 60076-10:2016-03	Leistungstransformatoren - Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel
IEC 60076-13:2006-05	Leistungstransformatoren - Teil 13: Selbstgeschützte flüssigkeitsgefüllte Transformatoren
IEC 60076-14:2013-09	Leistungstransformatoren - Teil 14: Flüssigkeitsgefüllte Leistungstransformatoren mit Hochtemperatur- Isolierstoffen
IEC 60076-16:2011-08	Leistungstransformatoren - Teil 16: Transformatoren für Windenergieanlagen-Anwendungen
IEC 60076-2:2011-02	Leistungstransformatoren - Teil 2: Übertemperaturen für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren
IEC 60076-3:2013-07	Leistungstransformatoren - Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft
IEC 60076-4:2002-06	Leistungstransformatoren - Teil 4: Leitfaden zur Blitz- und Schaltstoßspannungsprüfung von Leistungstransformatoren und Drosselspulen
IEC 60076-5:2006-02	Leistungstransformatoren - Teil 5: Kurzschlußfestigkeit
IEC 60076-7:2005-12	Leistungstransformatoren - Teil 7: Belastungsrichtlinie für ölgefüllte Leistungstransformatoren
IEC 61099:2010-08	Isolierflüssigkeiten - Anforderungen an neue synthetische organische Ester für elektrotechnische Zwecke
IEC 62271-200:2015-06	High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: Metal-enclosed AC switchgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV.

Zugehörige Dokumente

Dokument-ID	Dokument
PLM-GS-DC003	Technische Beschreibung Anschluss von LWL-Kabeln in ENERCON Windparks
PM-EW-DC017	Technische Information Elektrischer Anschluss von Windenergieanlagen

NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

Inhaltsverzeichnis

	Mitgeltende Dokumente	4
1	Einleitung	7
2	Aufbau der turmintegrierten Transformatorstation	8
3	Liefergrenzen	9
4	Beschreibung der elektrotechnischen Komponenten	11
	4.1 Stromwandler	11
	4.1.1 Energiemessung	11
	4.2 Transformator	11
	4.2.1 Transformatorschutz	12
	4.3 Mittelspannungsschaltanlage	13
	4.3.1 Technische Daten der MS-Schaltanlage	14
	4.3.2 Bedienung MS-Schaltanlage	15
	4.3.3 Optionale Konfiguration	16
	4.3.3.1 Schlüsselverriegelung	16
	4.3.3.2 Automatische Wiedereinschaltung	16

Technische Änderungen vorbehalten.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen

ARS	Automatic Reclosing System (Automatische Wiedereinschaltung der Mittelspannungsschaltanlage)
EWM	Electrical Works Manager (Projektleiter elektrische Gewerke)
FT	FACTS Transmission (elektrische Konfiguration mit FACTS-Eigenschaften)
FTQ	FACTS Transmission mit Q+ Option (elektrische Konfiguration mit erweitertem Blindleistungsstellbereich)
IEC	International Electrotechnical Commission (Internationale Elektrotechnische Kommission)
MS	Mittelspannung
NAP	Netzanschlusspunkt
NS	Niederspannung
OS	Oberspannung
TBM	Tower Base Module
TiT	Turmintegrierte Transformatorstation
WEA	Windenergieanlage
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WP	Windpark

Größen, Einheiten, Formeln

SF₆	Schwefelhexafluorid
-----------------------	---------------------

Technische Änderungen vorbehalten.

1 Einleitung

Eine externe Transformatorstation am Turmfuß, außerhalb der WEA, ist damit nicht erforderlich. Alle Netzanschlusskomponenten der WEA, wie Transformator und MS-Schaltanlage, sind im Turm installiert.

ENERCON verfolgt seit 2002 erfolgreich das Konzept der turmintegrierten Transformatorstation. Dieses Konzept wurde im Laufe der Jahre, vor allem in sicherheitstechnischer Hinsicht, aber auch im qualitativen Bereich, immer weiterentwickelt und ist weltweit die von Kunden und Genehmigungsbehörden favorisierte Lösung für Transformatorstationen.

Vorteilhafte Aspekte der Standard-1-Ausführung:

- **Höchste Bediener-sicherheit:**
Die Konstruktion der TiT bietet ein hohes Maß an Sicherheit für den Bediener. So werden u. a. die MS-Schaltanlagen mit einem Druckentlastungskanal oder einem Störlichtbogenbegrenzer ausgestattet und aktive Leiter berührungssicher abgedeckt bzw. abgeschottet. Die MS-Schaltanlage ist mit einem Motorantrieb für den Transformator-schalter ausgerüstet. Mittels einer Fernbedienung wird der Transformator abgeschaltet, bevor der Bediener den Mittelspannungsraum betritt. Elektrische und mechanische Verriegelungen verringern das Risiko für Fehlschaltungen.
- **Hoher Wirkungsgrad:**
Durch kurze Kabelwege, insbesondere durch Einsparung der NS-Kabelverbindungen zu einer möglichen externen Transformatorstation, können die Kabelverluste reduziert werden. ENERCON installiert zudem Transformatoren mit reduzierten Leerlauf- und Kurzschlussverlusten.
- **Einfache und schnelle Installation auf der Baustelle:**
Signifikante Reduzierung der Baumaßnahmen im Vergleich zur Aufstellung einer externen Transformatorstation (ENERCON Standard 3).
- **Reduktion der beanspruchten Fläche:**
Kein zusätzlicher Platzbedarf für eine externe Transformatorstation oder breite Kabelgräben für die Verlegung von NS-Kabeln.
- **Umweltfreundliche Installation:**
Die Transformatoren sind mit biologisch abbaubaren Kühlflüssigkeiten gefüllt. Zusätzlich wird eine, für Öl undurchlässige, Wanne unterhalb des Transformators eingebaut.

2 Aufbau der turmintegrierten Transformatorstation

Das Tower Base Module (TBM) im Turm besteht aus mehreren Ebenen. Auf den unterschiedlichen Ebenen befinden sich die MS-Schaltanlage, der Transformator, der Steuer-schrank sowie die Leistungsschränke.

Es gibt Unterschiede bei der Ausführung der TBMs. Der exakte Aufbau sowie die Größe der E-Module hängen vom WEA-Typ, von der Turmhöhe und vom Turmdurchmesser ab.

Technische Änderungen vorbehalten.

3 Liefergrenzen

Bereits in der Initiierungsphase müssen die Liefergrenzen klar definiert werden, um Missverständnisse in den Zuständigkeiten oder Fehlteile und damit eine mögliche Verzögerung der Inbetriebnahme der WEA zu vermeiden.

Entsprechend diesem ENERCON Standard liefert ENERCON die notwendigen Komponenten bis zur Liefergrenze und installiert diese.

Der Anschluss der MS-Stecker an den Kabelfeldern der MS-Schaltanlage, so wie die MS-Stecker selbst, sind nicht im Lieferumfang von ENERCON enthalten. Diese Anschlussarbeiten müssen durch ein qualifiziertes Elektrofachunternehmen im Rahmen der Windparkverkabelung durchgeführt werden.

Für nähere Informationen zum Anschluss der ENERCON WEA können folgende Dokumente angefordert werden:

- PM-EW-DC017 „Technische Information Elektrischer Anschluss von Windenergieanlagen“
- PLM-GS-DC003 „Technische Beschreibung Anschluss von LWL-Kabeln in ENERCON Windparks“

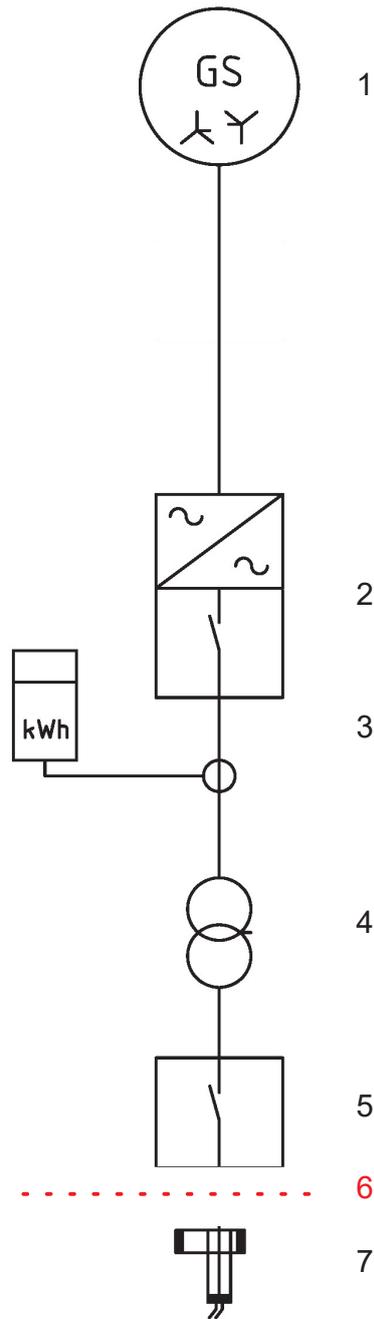


Abb. 1: Prinzipschaltbild ENERCON WEA Standard 1

1	Generator	2	Umrichter
3	NS-Zähler	4	Transformator
5	MS-Schaltanlage	6	Grenze des Lieferumfangs
7	MS-Stecker		

4 Beschreibung der elektrotechnischen Komponenten

4.1 Stromwandler

4.1.1 Energiemessung

Für die Messung der von der WEA erzeugten Leistung / Energie werden Stromwandler installiert.

4.2 Transformator

Der Transformator überträgt die von der WEA bei 690 V Ausgangsspannung erzeugte elektrische Leistung in das mittelspannungsseitige Windparknetz.

ENERCON installiert ausnahmslos Öl-Hermetik-Transformatoren.

Es gibt vielfältige Gründe für den Einsatz von Öl-Hermetik-Transformatoren, u. a.:

- Hohe Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Belastungen
- Gute Wärmeableitung
- Kompaktes, berührungssicheres Gehäuse
- Geringe Leerlaufverluste
- Geringe Störanfälligkeit gegen Überlast und Wechselbelastungen

Bereits in der Initiierungsphase muss die Netzspannung/-frequenz am Einspeisepunkt beim zuständigen Energieversorger erfragt und ENERCON mitgeteilt werden, um die Transformatoren für die richtige Mittelspannung und Netzfrequenz bestellen zu können. Bei Hochspannungsanschlüssen ist die Niederspannung des Leistungstransformators (Spannung im WP-Netz) maßgeblich für die Mittelspannung des WEA Transformators.



Der Wert der Netzspannung/-frequenz im Windpark muss im Anlagenliefervertrag festgehalten werden.

Eine Zinkflockenbeschichtung verbunden mit einer Deckschicht aus Wasserlack RAL 7033 schützt den Transformatorkegel vor Korrosion.

Der Transformator steht in einer nach WHG zertifizierten Ölwanne, welche für das komplette Flüssigkeitsvolumen des Transformators ausgelegt ist.

Als Isolations- und Kühlungsflüssigkeit des Transformators wird synthetischer Ester eingesetzt, der einen Brennpunkt von ≥ 300 °C aufweist (Kühlmittelart K3 nach IEC 61099).

Das Risiko eines Transformatorbrandes ist bei diesem Transformator als sehr gering einzustufen, da sich der hermetisch geschlossene Kessel bei einem inneren Fehler öffnen müsste, damit Sauerstoff zugeführt werden kann. Das Öffnen des Transformatorkegels wird durch ein umfangreiches, redundantes Schutzsystem sicher verhindert.

Tab. 1: Transformatordaten

Parameter	Wert
Nennleistung FT (kVA)	5600
Nennleistung FTQ (kVA)	6000
Typ	Step-Up Transformator für Windenergieanlagen

NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

Parameter	Wert
Nennfrequenz (Hz)	Entsprechend Netzfrequenz
Nennspannung OS-Seite (kV)	Entsprechend Netzspannung am NAP bzw. Netzspannung im Windpark bei Hochspannungsanschlüssen
Umstellerausführung	Off load
Umgebungstemperatur (°C)	- 25 bis + 50
Kühl- / Isoliermedium	Synthetischer Ester
Max. Installationshöhe über NN (m)	1000
Schallleistungspegel L_w in dB[A]	≤ 78
Betriebsart	Dauerbetrieb
Erfüllte Standards	Anwendbare Teile der IEC 60076 (siehe Kapitel Mitgeltende Dokumente)

4.2.1 Transformatorschutz

Die von ENERCON installierten Transformatoren verfügen über ein umfassendes Schutzsystem. Der Transformatorschutz setzt sich wie folgt zusammen:

- Überstrom- und Kurzschlusschutz auf der MS-Seite des Transformators
- Kurzschlusschutz auf der Niederspannungsseite des Transformators
- Analoger Temperatursensor
- Öldruckwächter
- Ölniveauschalter

Technische Änderungen vorbehalten.

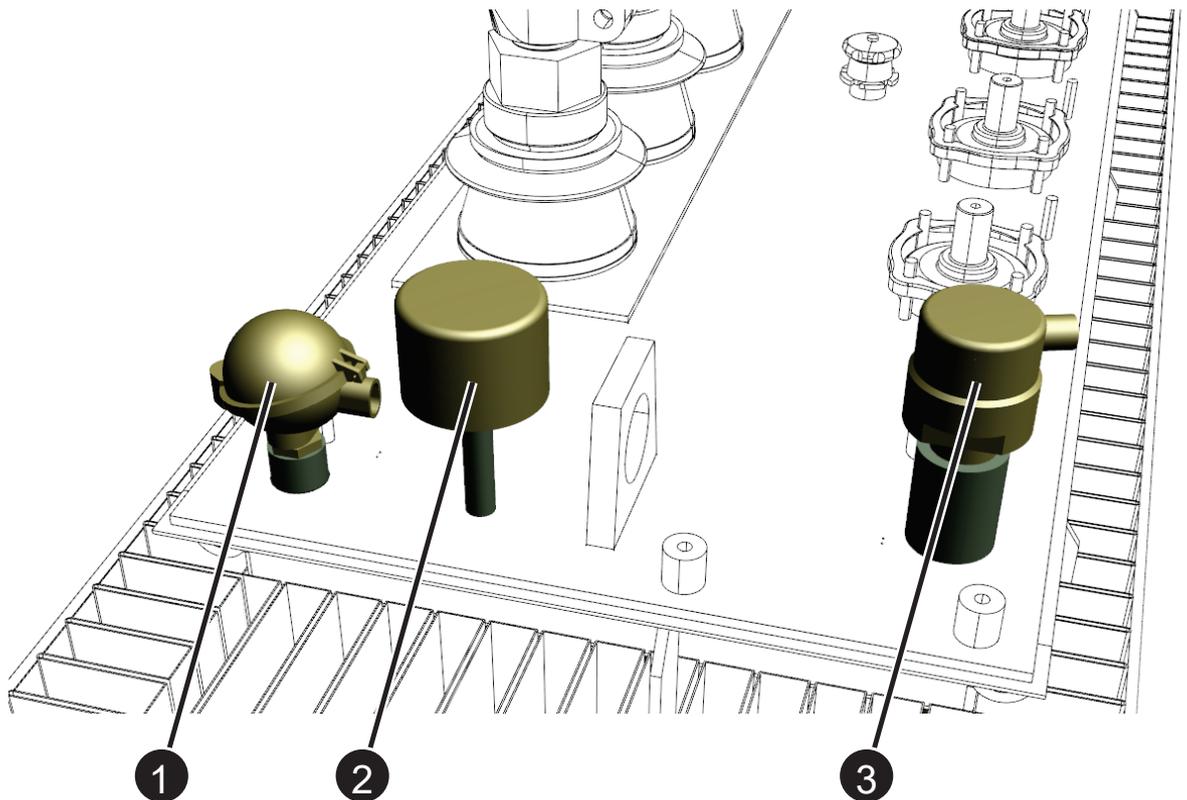


Abb. 2: Beispielhafte Ansicht der Transformatorschutzsensoren

1	Temperatursensor
2	Öldruckwächter
3	Ölniveauschalter

Erläuterung der Schutzfunktion:

- Der Überstrom- und Kurzschlusschutz auf der MS-Seite wirkt direkt auf den MS-Transformatorschalter.
- Der Niederspannungsschutz schützt den Leistungsschrank, den Transformator und die NS-Kabel zwischen NS-Verteilung und den Leistungsschränken bei einem inneren Kurzschluss im Leistungsschrank.
- Die zweistufige Temperaturüberwachung wird mittels temperaturabhängigen Widerstands in der Thermometertasche des Transformators ausgeführt. Bei Erreichen der Warnschwelle wird die Ausgangsleistung der WEA reduziert. Bei Erreichen der Abschaltchwelle wird die WEA abgeschaltet. So wird eine Transformatorüberlastung verhindert.
- Öldruckwächter und Ölniveauschalter wirken über den Steuerschrank Transformator indirekt auf den MS-Transformatorschalter.

4.3 Mittelspannungsschaltanlage

ENERCON installiert ausschließlich SF₆-isolierte Schaltanlagen, wenn nicht anders vereinbart. Die Aspekte für diese Wahl sind:

- Hohe Lebensdauer
- Hohe Bedienersicherheit
- Sehr guter Schutz gegen Umwelteinflüsse

- Kompakte, geschlossene Bauart
- Geringer Wartungsaufwand

Alle von ENERCON installierten SF₆-isolierten MS-Schaltanlagen werden inkl. Anbauten im Rahmen des ENERCON-Präqualifikationsverfahrens auf Erfüllung der ENERCON-Spezifikationskriterien überprüft und für den Einbau zugelassen. Teil des Präqualifikationsverfahrens ist die Durchführung einer praktischen Typenprüfung der kompletten Anlagenkonfiguration zur Einhaltung der IEC 62271-200.

Die von ENERCON installierten MS-Schaltanlagen erhalten einen Druckentlastungskanal, der mit der MS-Schaltanlage verbunden wird. Im Fall eines internen Fehlers wird der entstehende Gasdruck über eine Sollbruchstelle (Berstscheibe) entlastet. Das Öffnen der Berstscheibe erfolgt nur, wenn der durch den Fehler aufgebrachte Energieinhalt groß genug ist, um die Berstscheibe zu zerstören. Praktische Erfahrungen zeigen, dass die aufgebrachte Energie ($I^2 \times t$) in den allermeisten Fällen nicht ausreicht, um Gas austreten zu lassen. Ein gegebenenfalls austretendes Gasgemisch wird im Druckentlastungskanal abgekühlt und entspannt. Der verbleibende Gasdruck kann über den Kanal in einen unkritischen, vom Bediener abgewandten Bereich entweichen.

Bei einem Fehler im Kabelanschlussraum wird der entstehende Druck ebenfalls über den Sockel in den Druckentlastungskanal geleitet.



Abb. 3: Beispiel für 2- und 3-feldige MS-Schaltanlage

4.3.1 Technische Daten der MS-Schaltanlage

Tab. 2: Technische Daten der Mittelspannungsschaltanlage

Bemessungsspannung Ur [kV]	24	36
Nennfrequenz [Hz]	50 / 60	
Anzahl Schaltfelder	3	2
Isoliermedium	SF ₆	
Bauart	Kompakt	
Betriebsart	Dauerbetrieb	
Bemessungs-Betriebsstrom der Sammelschiene I _r [A] ≥	630	
Transformatorfeld / Transformatorschutz	Leistungsschalter	
Bemessungs-Kurzzeitstrom I _k [kA] ≥	16	
Bemessungs-Kurzschlussdauer t _k [t] ≥	1	
Bemessungs-Kurzschlusseinschaltstrom I _{ma} [kA] ≥	50	

NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

Bemessungsspannung U_r [kV]	24	36
Bemessungs-Kurzzeit-Stehwechselspannung U_d Leiter - Erde [kV] \geq	50	70
Bemessungs-Stehblitzstoßspannung U_p Leiter - Erde [kV] \geq	125	170
Bemessungs-Stehblitzstoßspannung U_p über die Trennstrecke [kV] \geq	145	190

Für weitere Informationen bzw. Fragen zu Betriebsspannungen > 36 kV kann der zuständige EWM kontaktiert werden.

4.3.2 Bedienung MS-Schaltanlage

Zur Optimierung der Bediener-sicherheit installiert ENERCON in der WEA eine Akku-gepufferte Fernschalteinrichtung für den MS-Transformatorschalter. Diese Fernbedienung ermöglicht das Ein- und Ausschalten des MS-Transformatorschalters innerhalb der WEA auf der Eingangsebene von außerhalb der turmintegrierten Transformatorstation. Der MS-Transformatorschalter erhält einen Motorantrieb und eine Auslösespule, um das Ein- und Ausschalten zu ermöglichen.

Die Fernbedienung ist mit einem Vorhängeschloss gesichert, so dass die Bedienung nur durch schaltberechtigtes Personal erfolgen kann.

Bei Gasverlust fällt der Zeiger des Manometers in den "roten" Bereich. In diesem Fall darf die Schaltanlage nicht mehr betätigt werden. Das unterwiesene und schaltberechtigte ENERCON Personal hat Anweisung, dass vor allen Schaltmaßnahmen der Gasdruck zu kontrollieren ist. In die Schaltung des Transformatorschalters ist eine elektrische Verriegelung zur Verhinderung des Schaltvorganges bei zu geringem Gasdruck integriert.

ENERCON Personal ist verpflichtet, den Transformator auszuschalten bevor die TiT betreten wird.

Schaltvorgänge an den Kabelfeldern der MS-Schaltanlage können lediglich manuell unter Berücksichtigung der 5 Sicherheitsregeln und bestimmungsgemäßer Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung durchgeführt werden. Diese dürfen nur von geschultem ENERCON-Fachpersonal durchgeführt werden.

Technische Änderungen vorbehalten.

4.3.3 Optionale Konfiguration

4.3.3.1 Schlüsselverriegelung

Auf Anfrage kann ENERCON die MS-Schaltanlagen mit einer zusätzlichen Schlüsselverriegelung ausrüsten. Mit Hilfe der Schlüsselverriegelung können Schaltfelder bzw. Schalter unterschiedlicher MS-Schaltanlagen in unterschiedlichen WEA gegeneinander verriegelt werden. So ist es möglich, eine genau definierte Reihenfolge beim Zu- und Abschalten von MS-Schaltanlagen vorzugeben. In einigen Ländern fordern Kunden und / oder Netzbetreiber diese Option aufgrund von landesspezifischen Richtlinien.

4.3.3.2 Automatische Wiedereinschaltung

Auf Anfrage kann ENERCON die MS-Schaltanlagen mit einem elektrischen System für die zeitlich gestaffelte automatische Wiedereinschaltung (ARS) des MS-Transformatorschalters nach Netzspannungsausfall liefern. Das elektrische System zur automatischen Wiedereinschaltung besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Spannungserkennungssystem
- Steuerung

In manchen Netzen ist es nötig, MS-Schalter nach Netzfehlerklärung automatisch wieder einzuschalten. Die Realisierung der zeitlich gestaffelten automatischen Wiedereinschaltung basiert auf der Forderung des zuständigen Verteilnetzbetreibers, wonach hohe Transformatoreinschaltströme und die damit verbundenen kurzzeitigen Spannungseinbrüche während der Zuschaltung von WEA-Transformatoren zu vermeiden sind.

Nach Netzausfall >10 s in dem zugehörigen Windpark werden automatisch alle MS-Transformatorschalter in den mit ARS ausgerüsteten MS-Schaltanlagen ausgelöst.

Die wiederkehrende Spannung wird mittels Spannungserkennungssystem im Kabelfeld der MS-Schaltanlage erfasst. Das Spannungserkennungssystem erteilt die Freigabe für die zeitlich gestaffelte Wiedereinschaltung des MS-Transformatorschalters. So wird die gleichzeitige Einschaltung mehrerer Transformatoren und der damit verbundene hohe Einschaltstrom verhindert.

Technische Änderungen vorbehalten.

Fundamentdatenblatt

Foundation Data Sheet

E-147 EP5-E2-MST-126-FB-C-01

Tiefgründung
Pile Foundation

WZ3 GK II (DIBt, Fassung Oktober 2012)
WTC WK IIA (IEC 61400-1, 3rd edition, 2005-08)

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, Jörg Scholle Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411 Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360
Urheberrechtshinweis	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.</p> <p>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.</p>
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.

Publisher	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Germany Phone: +49 4941 927-0 ▪ Fax: +49 4941 927-109 E-mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de Managing Directors: Hans-Dieter Kettwig, Jörg Scholle Local court: Aurich ▪ Company registration number: HRB 411 VAT ID no.: DE 181 977 360
Copyright notice	<p>The entire content of this document is protected by copyright and – with regard to other intellectual property rights – international laws and treaties. ENERCON GmbH holds the rights in the content of this document unless another rights holder is expressly identified or obviously recognisable.</p> <p>ENERCON GmbH grants the user the right to make copies and duplicates of this document for informational purposes for its own intra-corporate use; making this document available does not grant the user any further right of use. Any other duplication, modification, dissemination, publication, circulation, surrender to third parties and/or utilisation of the contents of this document – also in part – shall require the express prior written consent of ENERCON GmbH unless any of the above is permitted by mandatory legislation.</p> <p>The user is prohibited from registering any industrial property rights in the know-how reproduced in this document, or for parts thereof.</p> <p>If and to the extent that ENERCON GmbH does not hold the rights in the content of this document, the user shall adhere to the relevant rights holder's terms of use.</p>
Registered trademarks	Any trademarks mentioned in this document are intellectual property of the respective registered trademark holders; the stipulations of the applicable trademark law are valid without restriction.
Reservation of right of modification	ENERCON GmbH reserves the right to change, improve and expand this document and the subject matter described herein at any time without prior notice, unless contractual agreements or legal requirements provide otherwise.

Dokumentinformation / Document details

Dokument-ID Document ID	D0978609-1
Vermerk Note	Originaldokument Original document

Datum Date	Sprache Language	DCC	Werk / Abteilung Plant / Department
2020-09-18	de;en	DA	WRD / Türme und Fundamente WRD / Towers and Foundations

Ergänzende Angaben / Additional notes

Angaben zum Original (ger;eng) Original document details		Angaben zur Übersetzung (--) Translation details	
Erstellt/Datum: Created/Date:	Behrns, M. / 2020-06-29	Übersetzt/Datum: Translated/Date:	
Geprüft/Datum: Checked/Date:	Villada, Gonzalez, J. / 2020-06-30	Geprüft/Datum: Checked/Date:	

Revisionen / Revisions

Rev.	Datum/Date	Änderung/Change	Erstellt/Created
0	2020-06-29	Dokument erstellt als Entwurf Document created Preliminary	MAB
1	2020-09-18	Stahlmenge und Lasten angepasst / Steel quantity and loads adjusted	JAV



Dieses Dokument wurde auf Anfrage bzw. für einen bestimmten Auftrag verschickt. Der Empfänger wurde nicht registriert. Der Empfänger wird bei Änderung nicht automatisch informiert.

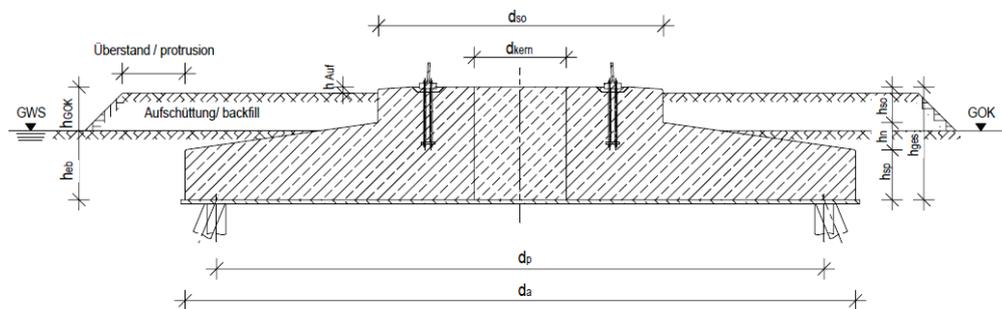
This document has been forwarded upon request or with regard to a specific order. The recipient has not been registered. The recipient will not be automatically notified about any amendments.

1 Allgemeine Angaben / General information

Typenstatik	H+P Ingenieure GmbH	<i>Design-specific structural analysis</i>
Tiefgründung	Ø 22,30 m	<i>Pile foundation</i>
Auftrag / Datum	E20-037 / 28.08.2020	<i>Order no./ date</i>

2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

Außendurchmesser	d_a	22,30 m	Outer diameter
Sockeldurchmesser	d_{so}	10,30 m	Base diameter
Durchmesser Fundamentkern	d_{kern}	5,20 m	Diameter of foundation core
Pfahlkreisdurchmesser Variante A, B	d_p	21,10 m	Pile ring diameter Option A, B
Pfahlkreisdurchmesser Variante C	d_p	20,70 m	Pile ring diameter Option C
Fundamenthöhe	h_{ges}	2,70 m	Foundation height
Sockelhöhe	h_{so}	0,40 m	Base height
Höhe Spornneigung	h_n	0,80 m	Spur incline height
Spornhöhe	h_{sp}	1,50 m	Spur height
Differenz Fundamentoberkante bis Geländeoberkante	h_{GOK}	0,70 m	Difference between foundation top edge and ground level
Differenz Fundamentoberkante – Oberkante Aufschüttung	h_{Auf}	0,15 m	Difference between foundation top edge and top edge of backfill
Einbindetiefe (ohne Sohlvertiefung)	h_{eb}	2,00 m	Embedment depth (without bottom pit)
Betongüte und Volumen	C 35/45	793 m ³	Concrete quality and volume
Betonstahl und Gewicht	B 500B B 400B	117 t ~145 t	Reinforcement steel and weight



Maximal zulässiger Grundwasserstand (GWS) bis zur Geländeoberkante (GOK).

Maximum permissible groundwater level (GWS) is up to ground level (GOK).

Der erforderliche Überstand der Aufschüttung über die Fundamentaußenkanten ist durch den verantwortlichen Baugrundgutachter festzulegen.

The required protrusion of the backfill beyond the outer foundation edges must be defined by the responsible geotechnical expert.

Pfähle / Piles:

Variante A / Variant A:	39 Ortbetonrammpfähle nach innen und außen geneigt 39 rammed in-situ concrete piles inclined to the inside / outside	Ø	51 cm
Variante B / Variant B:	33 Ortbetonrammpfähle nach innen und außen geneigt 33 rammed in-situ concrete piles inclined to the inside / outside	Ø	56 cm
Variante C / Variant C:	16 Bohrpfähle vertikal 16 bored piles vertical	Ø	100 cm

3 Mindestdreh- und -wegfedersteifigkeiten Minimum rotational and translational spring stiffness

Folgende Mindestwerte sind einzuhalten:

Observe the following minimum values:

Min. Bodendrehfederkonstanten / Min. value of rotational spring	k_{φ,stat} 12500 MNm/rad
	k_{φ,dyn} 100000 MNm/rad
Min. Bodenwegfederkonstante / Min. value of translational spring	k_{F,dyn} 150 MN/m

Es gelten folgende Beziehungen:

The following relations apply:

$$\frac{1}{k_{\phi, \text{Gesamt}}} = \frac{1}{k_{\phi, \text{Fundament}}} + \frac{1}{k_{\phi, \text{Pfahlsyste m}}}$$

$$\frac{1}{k_{\phi, \text{Total}}} = \frac{1}{k_{\phi, \text{Foundation}}} + \frac{1}{k_{\phi, \text{Pile system}}}$$

4 Zulässige Schiefstellung / Allowed misalignment

Maximal zulässige Schiefstellung infolge Bau-
grundsetzung in 20 Jahren bezogen auf den
Pfahlkreisdurchmesser.

Maximum allowed misalignment due to subsoil
settlement within 20 years, related to the pile
ring diameter.

$$\Delta s \leq 3 \text{ mm/m}$$

5 Pfahlkräfte / Pile loads

Für den Nachweis der Pfahltragsicherheit sind
sowohl Tragfähigkeitsnachweise wie auch Ge-
brauchstauglichkeitsnachweise zu führen.

Die Pfähle sollten aufgrund der Zugbeanspru-
chung mindestens 5,0 m in den tragfähigen Bau-
grund ($q_c > 7,5 \text{ MN/m}^2$) einbinden.

Durch einen Sachverständigen der Geotechnik
kann diese Einbindetiefe reduziert werden.

Es werden **nur die axialen Pfahllasten** für die
ungünstigste Lastfallkombination angegeben.
Die Lasten beziehen sich auf Oberkante Pfahl
ohne Pfahleigengewicht.

*Documented evidence of the structural safety of
piles requires load-carrying analyses and proof of
serviceability.*

*Due to tensile loads, the piles should bond with
the load-bearing subsoil for a minimum of 5.0 m
($q_c > 7.5 \text{ MN/m}^2$).*

*This anchoring depth can be reduced by means
of geotechnical expertise.*

Only axial pile loads for the worst load case
combination are indicated. Loads refer to the
top edge the pile without considering the pile's
dead load.

5.1 Variante A: Ortbetonrammpfähle / Variant A: Rammed in-situ concrete piles

Querschnitt Durchmesser	51cm	<i>Cross section diameter</i>
Anzahl	39	<i>Quantity</i>
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	<i>Pile length (proof length in static calculation)</i>
Anzahl Neigung nach außen	26 4,5:1	<i>Quantity outward inclination</i>
Anzahl Neigung nach innen	13 7,0:1	<i>Quantity inward inclination</i>

Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F_{Gk} in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	F_{Gk} in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	F_{Qk} in kN	ΣF_k in kN
Druck / Compression	(1.00/1.00)	-873	-	-929	-1802
Zug / Tension	(1.00/1.00)	-	-629	1119	490

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_F = 1,0$)

Loads do not include partial safety factors
($\gamma_F = 1.0$)

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F_{Gd} in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	F_{Gd} in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	F_{Qd} in kN	ΣF_d in kN
Druck / Compression	(1.35/0.90)	-1127	-	-1144	-2271
Zug / Tension	(1.35/0.90)	-	-525	1026	501

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$)

All loads include partial safety factors
($\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$)

Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	F_G	<i>portion due to permanent loads</i>
Anteil infolge veränderlicher Lasten	F_Q	<i>portion due to varying loads</i>
Charakteristische Lasten	F_k	<i>characteristic loads</i>
Bemessungswerte der Lasten	F_d	<i>load design values</i>
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	ΣF	<i>sum of permanent and varying loads</i>

5.2 Variante B: Ortbetonrammpfähle / Variant B: Rammed in-situ concrete piles

Querschnitt Durchmesser	56cm	<i>Cross section diameter</i>
Anzahl	33	<i>Quantity</i>
Pfahlänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	<i>Pile length (proof length in static calculation)</i>
Anzahl Neigung nach außen	22 4,5:1	<i>Quantity outward inclination</i>
Anzahl Neigung nach innen	11 7,0:1	<i>Quantity inward inclination</i>

Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F_{Gk} in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	F_{Gk} in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	F_{Qk} in kN	ΣF_k in kN
Druck / Compression	(1.00/1.00)	-1031	-	-1094	-2125
Zug / Tension	(1.00/1.00)	-	-743	985	242

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_F = 1,0$)

Loads do not include partial safety factors
($\gamma_F = 1.0$)

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F_{Gd} in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	F_{Gd} in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	F_{Qd} in kN	ΣF_d in kN
Druck / Compression	(1.35/0.90)	-1332	-	-1344	-2676
Zug / Tension	(1.35/0.90)	-	-621	1211	590

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$)

All loads include partial safety factors
($\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$)

Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	F_G	<i>portion due to permanent loads</i>
Anteil infolge veränderlicher Lasten	F_Q	<i>portion due to varying loads</i>
Charakteristische Lasten	F_K	<i>characteristic loads</i>
Bemessungswerte der Lasten	F_d	<i>load design values</i>
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	ΣF	<i>sum of permanent and varying loads</i>

5.3 Variante C: Bohrpfähle / Variant C: Bored piles

Querschnitt Durchmesser	100 cm	<i>Cross section diameter</i>
Anzahl	16	<i>Quantity</i>
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	<i>Pile length (proof length in static calculation)</i>
Anzahl vertikal	16	<i>Quantity vertical</i>

Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F_{Gk} in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	F_{Gk} in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	F_{Qk} in kN	ΣF_k in kN
Druck / Compression	(1.00/1.00)	-1702	-	-2528	-4230
Zug / Tension	(1.00/1.00)	-	-1226	1640	414

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_F = 1,0$)

Loads do not include partial safety factors
($\gamma_F = 1.0$)

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F_{Gd} in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	F_{Gd} in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	F_{Qd} in kN	ΣF_d in kN
Druck / Compression	(1.35/0.90)	-2198	-	-3154	-5352
Zug / Tension	(1.10/0.90)	-	-1025	2148	1123

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$)

All loads include partial safety factors
($\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$)

Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	F_G	<i>portion due to permanent loads</i>
Anteil infolge veränderlicher Lasten	F_Q	<i>portion due to varying loads</i>
Charakteristische Lasten	F_k	<i>characteristic loads</i>
Bemessungswerte der Lasten	F_d	<i>load design values</i>
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	ΣF	<i>sum of permanent and varying loads</i>

5.4 Bemessungswerte der Pfahlschnittgrößen/ Pile stress resultant design values

Anzahl Pfähle / number of piles		39	33	16
Horizontalkraft (Pfahloberkante) / Horizontal force (top edge of pile)	H_d	52 kN	61 kN	273 kN
Einspannmoment in der Platte / Fixed-end moment in plate	M_d	89 kNm*	120 kNm*	616 kNm*
Max. Moment in Pfahlmitte / Max. moment at centre of pile	M_d	91 kNm*	113 kNm*	797 kNm*

* in Abhängigkeit von der anstehenden Bettung

Die Bemessungswerte der Pfahlschnittgrößen dürfen für eine Vorbemessung verwendet werden und sind mit den Bemessungswerten der Pfahlkräfte ungünstig zu kombinieren.

Pile stress resultant design values may be used for pre-analyses and must be unfavourably combined with pile force design values.

Der Nachweis der inneren Tragfähigkeit ist standortabhängig unter Berücksichtigung des ENERCON-Pflichtenheftes „Nachweisführung der inneren Tragfähigkeit von Pfahlssystemen“ zu führen.

The inner bearing capacity must be verified depending on the location, taking ENERCON's specifications document "Verification of internal pile capacity" into account.

6 Lasten an der Fundamentunterkante Loads at the bottom edge of the foundation

Die hier angegebenen F_Z -Lasten enthalten ein Fundamenteigengewicht $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ sowie eine Aufschüttung $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ (Schotter) und $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ (Boden) im erdfeuchten Zustand.

M_{XY} enthält ein Zusatzmoment infolge Schiefstellung von Turm und Fundament.

The F_Z loads specified here include a dead weight of foundation $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ and a backfill weight $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ (gravel) and $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ (soil) in earth-moist condition.

M_{XY} includes an additional moment due to misalignment of tower and foundation.

6.1 Charakteristische Lastfälle / Characteristic load cases

Lastfall Load case	(γ_F / γ_F)	F_{XY} in kN	$F_{Z,\min}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Z,\max}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	M_{XY} in kNm	M_Z in kNm
DLC 3.0	(1.00/1.00)	810	-34034	-24513	94167	3780
N / T / DLC 8.2	(1.00/1.00)	2170	-34034	-24513	162519	11500
N / A / T	(1.00/1.00)	2590	-34034	-24513	177093	11500

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_F = 1,00$)

Loads do not include partial safety factors
($\gamma_F = 1.00$)

6.2 Bemessungswerte der Lastfälle / Load case design values

Lastfall Load case	(γ_F / γ_F)	F_{XY} in kN	$F_{Z,\min}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Z,\max}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	M_{XY} in kNm	M_Z in kNm
N / A / T	(1.35/0.90)	2920	-43960	-20494	220564	-15180

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$)

All loads include partial safety factors
($\gamma_{\text{Buoyancy}} = 1.10$)

7 Koordinatensystem / Coordinate system

