Technische Beschreibung

ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

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: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
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	D02765171/3.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2023-06-20	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Documentation Department

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.

Dokument-ID	Dokument
D02766054	Technische Daten E-175 EP5

Inhaltsverzeichnis

1 Produktübersicht ... 6

2 Komponenten der ENERCON Windenergieanlage ... 8

2.1 Rotorblätter ... 8

2.2 Gondel ... 8

2.2.1 Generator ... 8

2.3 Turm ... 9

3 Netzeinspeisesystem ... 10

4 Sicherheitssystem ... 13

4.1 Sicherheitseinrichtungen ... 13

4.2 Sensorsystem ... 13

5 Steuerung ... 15

5.1 Windnachführung ... 15

5.2 Rotorblattverstellung ... 15

5.3 Start der Windenergieanlage ... 16

5.3.1 Startvorbereitung ... 16

5.3.2 Windmessung und Ausrichtung der Gondel ... 16

5.3.3 Leistungseinspeisung ... 17

5.4 Betriebsarten ... 18

5.4.1 Volllastbetrieb ... 18

5.4.2 Teillastbetrieb ... 18

5.4.3 Trudelbetrieb ... 18

5.5 Sicheres Anhalten der Windenergieanlage ... 19

6 Fernüberwachung ... 20

7 Wartung ... 21

Abkürzungsverzeichnis

CFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
FACTS	Flexible Alternating Current Transmission System (Flexibles Wechselstrom-Übertragungssystem)
FT	FACTS Transmission (elektrische Konfiguration mit FACTS-Eigenschaften)
FTQ	FACTS Transmission mit Option Q+ (elektrische Konfiguration mit erweitertem Blindleistungsstellbereich)
FTQS	FACTS Transmission mit Option Q+ und STATCOM-Option (elektrische Konfiguration mit erweitertem Blindleistungsstellbereich und STATCOM-Option)
FTS	FACTS Transmission mit STATCOM-Option (elektrische Konfiguration mit STATCOM-Option)
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (überwachende Steuerung und Datenerfassung)
STATCOM	Static compensator (statischer Kompensator)

1 Produktübersicht

Abb. 1: Produktübersicht

Die Windenergieanlage erzeugt elektrische Energie aus Wind. Der anströmende Wind bewirkt, dass der Rotor sich im Uhrzeigersinn dreht. Die Drehbewegung wird in elektrische Energie umgewandelt. Die Windenergieanlage arbeitet automatisch.

Die Windenergieanlage besteht im Wesentlichen aus dem Turm, aus der drehbaren Gondel mit verstellbaren Rotorblättern und aus elektrischen Komponenten zur Erzeugung und Aufbereitung der elektrischen Energie.

Getriebelos

Das Antriebssystem der Windenergieanlage besteht aus wenigen drehenden Bauteilen. Die Rotornabe und der Rotor des Generators sind ohne Getriebe als feste Einheit miteinander verbunden. Dadurch verringert sich die mechanische Belastung und die technische Lebensdauer wird erhöht. Der Wartungs- und Serviceaufwand wird verringert und die Betriebskosten sinken. Da das Getriebe und andere schnelldrehende Teile entfallen, werden die Energieverluste zwischen Rotor und Generator und die Geräuschemissionen verringert.

Aktive Rotorblattverstellung

Die aktive Rotorblattverstellung begrenzt die Drehzahl des Rotors und die dem Wind entnommene Leistung. Somit wird die maximale Leistung der Windenergieanlage auch kurzfristig exakt auf Nennleistung begrenzt. Durch Verstellen der Rotorblätter in Fahnenstel-

lung wird der Rotor angehalten, ohne dass der Antriebsstrang durch den Einsatz einer mechanischen Bremse belastet wird. Die Energieversorgung für eine Notverstellung der Rotorblätter befindet sich in den Blattverstellschränken.

Indirekte Netzkopplung

Die vom Generator erzeugte elektrische Leistung wird über einen Vollumrichter in das Stromnetz eingespeist. Durch den Vollumrichter wird der Generator vom Netz entkoppelt und die elektrischen Eigenschaften des Generators sind für das Verhalten der Windenergieanlage am Stromnetz unerheblich. Das Netzeinspeisesystem mit Vollumrichter gewährleistet einen maximalen Energieertrag bei hoher Netzverträglichkeit.

Durch die Entkopplung vom Stromnetz kann der Generator bei jeder Windgeschwindigkeit mit einem optimalen Betriebspunkt, z. B. Drehzahl, Leistung, Spannung, betrieben werden.

2 Komponenten der ENERCON Windenergieanlage

2.1 Rotorblätter

Die Rotorblätter aus GFK, CFK, Balsaholz und Schaumstoff haben wesentlichen Einfluss auf den Ertrag der Windenergieanlage sowie auf ihre Geräuschemissionen. 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 variabler Rotorblattverstellung und variabler Drehzahl ausgelegt. Die Oberflächenbeschichtung auf Polyurethanbasis schützt die Rotorblätter vor Umwelteinflüssen wie z. B. UV-Strahlung und Erosion. Die Beschichtung ist sehr abriebfest und zähhart.

Die 3 Rotorblätter werden jeweils durch voneinander unabhängige mikroprozessorgesteuerte Rotorblattverstelleinheiten verstellt. Der eingestellte Blattwinkel wird über je 2 Blattwinkelmessungen ständig überprüft und die 3 Blattwinkel werden einzeln verstellt. Dies ermöglicht eine schnelle und präzise Einstellung der Blattwinkel entsprechend den vorherrschenden Windverhältnissen.

2.2 Gondel

Die Rotornabe dreht sich auf 2 Rotorlagern um den feststehenden Achszapfen. An der Rotornabe sind u. a. die Rotorblätter und der Generator-Rotor befestigt. Der Schleifringübertrager befindet sich an der Spitze des Achszapfens. Er überträgt über Schleifkontakte elektrische Energie und Daten zwischen dem feststehenden und dem rotierenden Teil der Gondel.
Das tragende Element des feststehenden Generator-Stators ist der Statorträger. Der Statorträger ist fest mit dem Maschinenträger verbunden. Der Stator trägt die elektrischen Windungen, in denen der elektrische Strom induziert wird.
Der Maschinenträger ist das zentrale tragende Element der Gondel. An ihm sind direkt oder indirekt alle Teile des Rotors und des Generators befestigt. Der Maschinenträger ist über das Azimutlager drehbar auf dem Turmkopf gelagert. Mit den Azimutantrieben kann die gesamte Gondel gedreht werden, damit der Rotor stets optimal zum Wind ausgerichtet ist.
Die Maschinenhausverkleidung ist aus mehreren Teilstücken gefertigt und mittels Stahlprofilen an der Gondelbühne befestigt.

2.2.1 Generator

In der Windenergieanlage kommt ein permanenterregter Synchrongenerator in Innenläuferbauweise zum Einsatz. Zur optimalen Ausnutzung des Windenergiepotentials bei allen Windgeschwindigkeiten arbeitet die Windenergieanlage mit variabler Drehzahl. Dadurch produziert der Ringgenerator Wechselstrom mit schwankender Spannung, Frequenz und Amplitude.

Die Wicklungen im Stator des Generators bilden mehrere voneinander unabhängige Drehstromsysteme. Diese Systeme werden in der Gondel aktiv gleichgerichtet und anschließend von den Wechselrichtern wieder in Drehstrom mit netzkonformer Spannung, Frequenz und Phasenlage umgerichtet. Der Transformator in der Gondel transformiert die

erzeugte Spannung auf das Niveau des Stromnetzes, in das der Strom eingespeist wird. Über die Mittelspannungsschaltanlage wird der Transformator mit dem aufnehmenden Stromnetz zusammengeschaltet.

Demzufolge ist der Generator nicht direkt mit dem aufnehmenden Stromnetz des Energieversorgungsunternehmens verbunden, sondern durch den Vollumrichter vom Netz entkoppelt.

2.3 Turm

Der Turm der Windenergieanlage ist ein Stahlrohrturm, ein Hybrid-Stahlturm oder ein Hybridturm.

Der Stahlrohrturm ist eine Röhre aus Stahlblech bestehend aus wenigen großen Stahlsektionen. Je nach Turmvariante kann die unterste Stahlsektion einteilig oder in mehrere Längselemente unterteilt sein. Die Längselemente werden zunächst am Aufstellort zu einer Stahlsektion verbunden. An den Enden der Stahlsektionen sind Flansche mit Bohrungen für die Montage angeschweißt. Die Stahlsektionen werden am Aufstellort aufeinandergestellt und miteinander verschraubt. Die Verbindung zum Fundament wird mithilfe eines Fundamentkorbs hergestellt.

Der Hybrid-Stahlturm ist eine Röhre aus Stahlblech, bestehend aus wenigen großen Stahlsektionen. Die unteren Stahlsektionen sind in mehrere gekantete Sektionsbleche unterteilt. Die oberen Stahlsektionen sind einteilig. Die gekanteten Sektionsbleche werden zunächst am Aufstellort zu Stahlsektionen zusammengeschraubt. Die einzelnen Stahlsektionen werden am Aufstellort aufeinandergestellt und miteinander verschraubt. Dies geschieht bei den längsgeteilten Stahlsektionen durch Verbindungsbleche und bei den einteiligen Stahlsektionen durch Flanschverbindungen. Die Verbindung zum Fundament wird mithilfe eines Fundamentkorbs hergestellt.

Der Hybridturm 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 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.

3 Netzeinspeisesystem

Der Permanentmagnet-Synchrongenerator ist über das Netzeinspeisesystem mit dem Netz gekoppelt. Dieses System besteht im Wesentlichen aus einem modularen Gleich- und Wechselrichtersystem mit jeweils einem gemeinsamen Gleichspannungszwischenkreis.

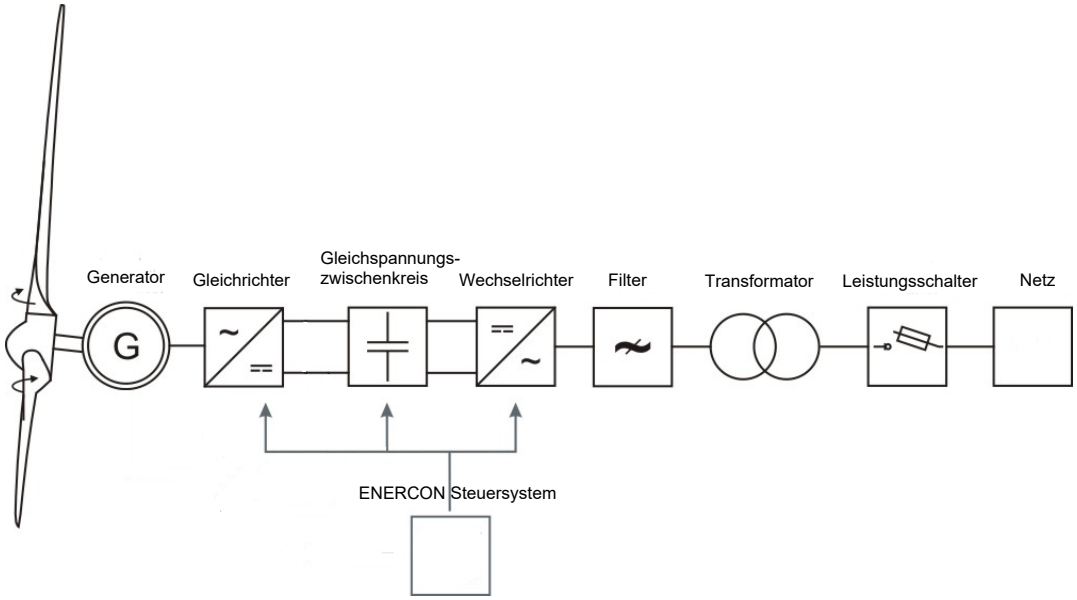


Abb. 2: Vereinfachtes elektrisches Diagramm einer Windenergieanlage

Das Netzeinspeisesystem wird – ebenso wie die Rotorblattverstellung – von dem Betriebsführungssystem mit den Zielen maximaler Energieertrag und hohe Netzverträglichkeit angesteuert.

Durch die Entkopplung von Generator und Netz kann die gewonnene Leistung optimal übertragen werden. Abrupte Änderungen der Windgeschwindigkeit wirken sich als kontrollierte Änderung der eingespeisten Leistung auf der Netzseite aus. Analog wirken sich eventuelle Störungen im elektrischen Netz praktisch nicht auf die mechanische Seite der Windenergieanlage aus. Die eingespeiste elektrische Leistung der Windenergieanlage kann von 0 kW bis zur Nennleistung exakt geregelt werden.

Im Allgemeinen werden die Merkmale, die eine bestimmte Windenergieanlage bzw. ein bestimmter Windpark hinsichtlich des Anschlusses an das aufnehmende Stromnetz aufweisen muss, vom Betreiber des Stromnetzes vorgegeben. Um unterschiedliche Forderungen erfüllen zu können, sind ENERCON Windenergieanlagen in verschiedenen Konfigurationen lieferbar.

Das Wechselrichtersystem in der Gondel wird je nach Anlagenkonfiguration ausgelegt. Ein Transformator in der Gondel wandelt die Niederspannung in die gewünschte Mittelspannung um.

Blindleistung

Die Windenergieanlage kann mit der standardmäßigen FACTS-Steuerung bei Bedarf Blindleistung bereitstellen und somit zur Blindleistungsbilanz und Spannungshaltung im Netz beitragen. Der maximale Blindleistungsstellbereich variiert je nach Windenergieanlagenkonfiguration.

Konfiguration FT

Die Windenergieanlage ist standardmäßig mit der FACTS-Technologie ausgerüstet, die die hohen Anforderungen spezifischer Netzkodizes erfüllt. Sie kann gestörte Systemzustände im Netz (Unterspannung, Überspannung, Kurzunterbrechungen etc.) mit einer Fehlerdauer von wenigen Sekunden durchfahren und somit während eines Fehlerzustands mit dem Netz verbunden bleiben.

Überschreitet die gemessene Spannung am Referenzpunkt einen definierten Grenzwert, wechselt die Windenergieanlage von dem Normalbetrieb in einen speziellen Fehlerbetriebsmodus.

Nach Fehlerklärung kehrt die Windenergieanlage in den Normalbetrieb zurück und speist die verfügbare Leistung in das Netz ein. Kehrt die Spannung nicht innerhalb einer einstellbaren Zeit in den für den Normalbetrieb zulässigen Betriebsbereich zurück, wird die Windenergieanlage vom Netz getrennt.

Bei Durchfahren des Netzfehlers gibt es verschiedene Fehlermodi mit unterschiedlichen Strategien der Einspeisung eines zusätzlichen Blindstroms während des Netzfehlers. Die Steuerungsstrategien beinhalten wiederum unterschiedliche Einstellmöglichkeiten für die Fehlerarten.

Die Auswahl einer geeigneten Steuerungsstrategie basiert auf spezifischen Projekt- und Netzanschlussbedingungen, die von dem zuständigen Netzbetreiber bestätigt werden müssen.

Konfiguration FTS

Konfiguration FT mit Option STATCOM
Wie Konfiguration FT, jedoch befähigt STATCOM die Windenergieanlage zusätzlich, Blindleistung abzugeben und aufzunehmen unabhängig davon, ob sie selbst Wirkleistung erzeugt und ins Netz einspeist. Ähnlich einem Kraftwerk kann sie damit das Stromnetz jederzeit aktiv stützen. Ob die Konfiguration eingesetzt werden kann, muss am jeweiligen Projekt geprüft werden.

Konfiguration FTQ

Konfiguration FT mit Option Q+

Die Konfiguration FTQ besitzt alle Eigenschaften der Konfiguration FT. Darüber hinaus verfügt sie über einen erweiterten Blindleistungsstellbereich.

Konfiguration FTQS

Konfiguration FT mit Optionen Q+ und STATCOM

Die Konfiguration FTQS besitzt alle Eigenschaften der Konfigurationen FTQ und FTS.

Frequenzschutz

ENERCON Windenergieanlagen können in Netzen mit einer Nennfrequenz von 50 Hz oder auch 60 Hz eingesetzt werden.

Der Arbeitsbereich der Windenergieanlagen ist durch einen unteren und oberen Grenzwert für die Frequenz vorgegeben. Über- und Unterfrequenzereignisse am Referenzpunkt der Windenergieanlage führen zum Auslösen des Frequenzschutzes und nach Ablauf der Verzögerungszeit von maximal 60 s zum Abschalten der Windenergieanlage.

Leistungs-Frequenz-Regelung

Kommt es aufgrund einer Netzstörung zu einer kurzfristigen Überfrequenz, kann die Windenergieanlage ihre Leistungseinspeisung dynamisch reduzieren, um einen Beitrag zur Wiederherstellung des Gleichgewichts zwischen Erzeuger- und Verbundnetz zu leisten.

Die eingespeiste Wirkleistung kann im Normalbetrieb vorbeugend begrenzt werden. Im Fall einer Unterfrequenz wird dann die durch diese Begrenzung vorgehaltene Leistung zur Frequenzstabilisierung bereitgestellt. Die Charakteristik dieser Regelung kann sehr flexibel an verschiedenste Anforderungen angepasst werden.

4 Sicherheitssystem

Die Windenergieanlage verfügt über eine Vielzahl von sicherheitstechnischen Einrichtungen, die dazu dienen, die Windenergieanlage dauerhaft in einem sicheren Betriebsbereich zu halten. Neben Komponenten, die ein sicheres Anhalten der Windenergieanlagen gewährleisten, zählt hierzu ein komplexes Sensorsystem. Dieses erfasst ständig alle relevanten Betriebszustände der Windenergieanlage und stellt die entsprechenden Informationen über das Fernüberwachungssystem ENERCON SCADA bereit.

Die Steuerung der Windenergieanlage erkennt mit den Sensoren eine Störung und versucht die Windenergieanlage mit verminderter Leistung weiter zu betreiben. Wird dadurch der die Störung verursachende Fehler nicht beherrscht, wird die Windenergieanlage von der Sicherheitssteuerung in den sicheren Zustand gebracht.

4.1 Sicherheitseinrichtungen

Not-Halt-Taster

In der Windenergieanlage befinden sich in der Bedieneinheit im Turmfuß, am Gondelsteuerschrank, gegebenenfalls im Turmeingangsbereich und an weiteren Positionen Not-Halt-Taster. Bei Betätigung eines Not-Halt-Tasters werden die Rotorblätter notverstellt. Dadurch wird der Rotor aerodynamisch gebremst. Ein Not-Halt schaltet die Windenergieanlage nur teilweise spannungsfrei.

Weiterhin versorgt werden:

- die Befeuerung
- die Beleuchtung
- die Steckdosen

4.2 Sensorsystem

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.

Eine Vielzahl von Sensoren erfasst laufend den aktuellen Zustand der Windenergieanlage und die relevanten Umgebungsparameter. Die entsprechenden Informationen stellt das Sensorsystem über ein Fernüberwachungssystem 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. 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.

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. Wenn die Nenndrehzahl dennoch 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.

Luftspaltüberwachung

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

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 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.

5 Steuerung

Die Steuerung der Windenergieanlage beruht auf einem speicherprogrammierbaren Steuerungssystem, das 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 im Anlagendisplay im Turmfuß und in der Gondel angezeigt.

5.1 Windnachführung

Auf dem Turmkopf befindet sich das Azimutlager mit einem 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 überwacht die Windnachführung. Erkennt sie Unregelmäßigkeiten, wird die Windnachführung deaktiviert und die Windenergieanlage angehalten.

5.2 Rotorblattverstellung

Funktionsprinzip

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

Im Automatikbetrieb (Normalbetrieb) wird der Blattwinkel so eingestellt, dass einerseits die im Wind enthaltene Energie optimal ausgenutzt wird und andererseits keine Überlastung der Windenergieanlage eintritt; ggf. werden dabei auch Randbedingungen wie Schalloptimierung eingehalten. Außerdem ermöglicht das Blattverstellsystem das aerodynamische Abbremsen des Rotors.

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

Blattwinkel

Besondere Rotorblattstellungen (Blattwinkel):

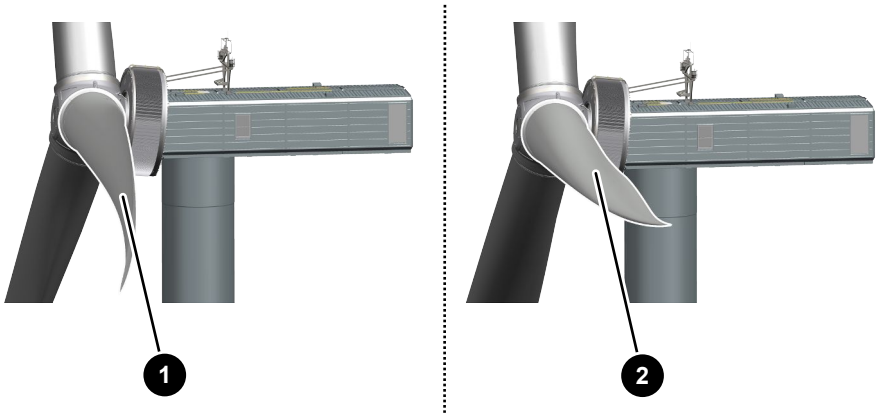


Abb. 3: Besondere Rotorblattstellungen

Rotorblattstellung	Erklärung
1	Stellung im Teillastbetrieb. Die Rotorblätter erzeugen maximalen Auftrieb. Der Rotor dreht sich.
2	Fahnenstellung. Die Rotorblätter erzeugen keinen Auftrieb. Der Rotor wird aerodynamisch gebremst und steht still oder bewegt sich minimal.

5.3 Start der Windenergieanlage

5.3.1 Startvorbereitung

Solange ein Hauptstatus > 0 ansteht, bleibt die Windenergieanlage angehalten. Sobald der Hauptstatus 0 wird, ist die Windenergieanlage bereit und der Startvorgang wird eingeleitet. Sollten bestimmte Randbedingungen für einen Start, wie z. B. das Laden der Notverstellkondensatoren, noch nicht abgeschlossen sein, wird der Status `0:3 Startvorbereitung` angezeigt.

Während der Startvorbereitung beginnt eine 150 Sekunden dauernde Windmess- und Ausrichtungsphase der Windenergieanlage.

5.3.2 Windmessung und Ausrichtung der Gondel

Ist die Startvorbereitung abgeschlossen, wird der Status `0:2 Anlage bereit` angezeigt.

Sofern sich die Steuerung im Automatikbetrieb befindet, die gemittelte Windgeschwindigkeit größer als ca. 1,8 m/s ist und die Abweichung der Windrichtung ausreichend für eine Windnachführung ist, beginnt die Windenergieanlage sich zum Wind auszurichten. Die Windenergieanlage geht ca. 60 Sekunden nach Abschluss der Startvorbereitung in den Trudelbetrieb über. Die Rotorblätter fahren langsam in den Wind und gleichzeitig werden die Notverstellkondensatoren geprüft.

Ist die Windenergieanlage mit Rotorblattlastsensoren ausgestattet, stoppen die Rotorblätter bei einem Winkel von 70° und führen dort den unter Umständen mehrere Minuten andauernden Abgleich der Rotorblattlastsensoren durch. Während dieser Zeit wird der Status `0:5 Abgleich Load Control` angezeigt.

Liegt die mittlere Windgeschwindigkeit in der Zeit der Windmess- und Ausrichtungsphase von ca. 150 Sekunden oberhalb der aktuellen Einschaltwindgeschwindigkeit, beginnt der Startvorgang (Status `0:1`). Anderenfalls bleibt die Windenergieanlage im Trudelbetrieb (Status `2:1 Windmangel: Windgeschwindigkeit zu niedrig`).

Eigenbedarf

Da die Windenergieanlage zu diesem Zeitpunkt keine Wirkleistung erzeugt, wird die für den Eigenbedarf der Windenergieanlage notwendige elektrische Energie aus dem Netz bezogen.

5.3.3 Leistungseinspeisung

Sobald eine ausreichende Zwischenkreisspannung zur Verfügung steht wird der Einspeisevorgang eingeleitet. Nach Erhöhung der Drehzahl bei ausreichend Wind und bei einem Leistungssollwert > 0 kW werden die Netzschütze (Niederspannungsseite) geschlossen und die Windenergieanlage beginnt mit der Einspeisung in das Netz.

Der Gradient für die Leistungserhöhung (dP/dt) nach einem Netzfehler oder nach einem Normalstart kann in der Steuerung innerhalb eines bestimmten Bereichs festgelegt werden.

5.4 Betriebsarten

Ist der Startvorgang beendet, arbeitet die Windenergieanlage im Automatikbetrieb (Normalbetrieb). Im Automatikbetrieb werden ständig die Windverhältnisse ermittelt, die Rotordrehzahl und die Generatorleistung optimiert, die Gondelposition der Windrichtung angepasst und sämtliche Sensorzustände erfasst.

Um die Stromerzeugung bei unterschiedlichen Windverhältnissen zu optimieren, wechselt die Windenergieanlage im Rahmen des Automatikbetriebs je nach Windgeschwindigkeit zwischen 3 Betriebsarten. Unter bestimmten Umständen hält die Windenergieanlage an, wenn die Konfiguration der Windenergieanlage dies vorsieht. Zusätzlich kann das Energieversorgungsunternehmen, in dessen Netz die erzeugte Energie eingespeist wird, die Möglichkeit bekommen, per Fernsteuerung das Verhalten der Windenergieanlage direkt zu beeinflussen, z. B. um die Einspeisung zeitweilig zu reduzieren.

Die Windenergieanlage wechselt zwischen folgenden Betriebsarten:

- Volllastbetrieb
- Teillastbetrieb
- Trudelbetrieb

5.4.1 Volllastbetrieb

Windgeschwindigkeit ≥ Nennwindgeschwindigkeit

Bei und oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit hält die Windenergieanlage die Drehzahl des Rotors durch die Rotorblattverstellung auf ihrem Sollwert und begrenzt dadurch die Leistung auf ihren Nennwert.

5.4.2 Teillastbetrieb

Einschaltwindgeschwindigkeit ≤ Windgeschwindigkeit < Nennwindgeschwindigkeit

Während des Teillastbetriebs (die Windgeschwindigkeit liegt zwischen Einschalt- und Nennwindgeschwindigkeit) wird die maximal mögliche Leistung aus dem Wind entnommen. Die Rotordrehzahl und die Leistungsabgabe ergeben sich aus der jeweils aktuellen Windgeschwindigkeit. Dabei beginnt die Rotorblattverstellung schon im Grenzbereich zum Volllastbetrieb, um einen kontinuierlichen Übergang zu gewährleisten.

5.4.3 Trudelbetrieb

Windgeschwindigkeit < Einschaltwindgeschwindigkeit

Bei Windgeschwindigkeiten unterhalb der Einschaltwindgeschwindigkeit kann kein Strom ins Netz eingespeist werden. Die Windenergieanlage läuft im Trudelbetrieb, d. h. die Rotorblätter sind weitgehend aus dem Wind gedreht (Blattwinkel ≥ ca. 60°), und der Rotor dreht sich langsam oder bleibt bei völliger Windstille stehen.

Durch die langsame Bewegung (Trudeln) werden die Rotorlager weniger belastet als bei längerem Stillstand und eine Wiederaufnahme der Stromerzeugung und -einspeisung bei wieder stärker werdendem Wind ist schneller möglich.

5.5 Sicheres Anhalten der Windenergieanlage

Die Windenergieanlage kann durch manuellen Eingriff oder automatisch durch die Steuerung angehalten werden.

Die Ursachen werden nach Gefährdung in Gruppen eingeteilt.

Anhalten der Windenergieanlage durch die Rotorblattverstellung

Bei einer nicht sicherheitsrelevanten Störung werden die Rotorblätter über die Steuerung der Windenergieanlage aus dem Wind gedreht, wodurch die Rotorblätter keinen Auftrieb mehr erzeugen und die Windenergieanlage sicher anhält.

Notverstellung

Die Notverstellkondensatoren haben die für eine Notverstellung nötige Energie gespeichert und werden während des Betriebs der Windenergieanlage im geladenen Zustand gehalten und laufend getestet. Bei einer Notverstellung wird jeder Blattverstellmotor von den zugehörigen Notverstellkondensatoren mit Energie versorgt. Die Rotorblätter fahren geregelt in eine Stellung, in der sie keinen Auftrieb erzeugen, die sogenannte Fahnenstellung.

Da die 3 Rotorblattverstelleinheiten sich sowohl gegenseitig kontrollieren als auch unabhängig voneinander funktionieren, können beim Ausfall einer Komponente die verbliebenen Rotorblattverstelleinheiten weiterhin arbeiten und den Rotor anhalten.

Notbremsung

Wenn ein Not-Halt-Taster gedrückt wird oder wenn bei drehendem Rotor die Rotorarretierung betätigt wird, leitet die Steuerung eine Notbremsung ein.

Dabei wird durch die Notverstellung der Rotorblätter der Rotor innerhalb von bis zu 60 Sekunden von der Nenndrehzahl bis nahezu zum Stillstand gebremst.

6 Fernüberwachung

Standardmäßig sind alle ENERCON Windenergieanlagen über das ENERCON SCADA System mit der regionalen Serviceniederlassung verbunden. Diese 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.

7 Wartung

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

Die Windenergieanlagen werden regelmäßig, je nach Anforderung 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, bei der Auffälligkeiten und Schäden festgestellt werden. Verbrauchte Schmierstoffe werden nachgefüllt.

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

Technische Daten E-175 EP5 E1

Allgemein	
Hersteller	ENERCON Global GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich
Typbezeichnung	E-175 EP5
Nennwirkleistung	6000 kW (bis zu 6300 kW[1])
Rotordurchmesser	175 m
Auslegungslebensdauer	25 Jahre
maximale Standorthöhe[2]	2000 m

Rotor mit Blattverstellsystem	
Typ	Luvläufer mit aktivem Blattverstellsystem
Drehrichtung	Uhrzeigersinn (in Windrichtung gesehen)
Rotorblattanzahl	3
Rotorblattlänge	85,98 m
überstrichene Fläche	23840,5 m²
Rotorblattmaterial	GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff), CFK (kohlenstofffaser-verstärkter Kunststoff), Balsaholz, Schaumstoff
Abschaltwindgeschwindigkeit	25 m/s (10-min-Mittel)
Konuswinkel	-5°
Rotorachswinkel zur Horizontalen	6°
Blattverstellsystem	je Rotorblatt ein autarkes elektrisches Stellsystem mit zuge-ordneter Notstromversorgung

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

Bremssystem	
aerodynamische Bremse	aerodynamisch über 3 autarke Blattverstellsysteme mit Not-stromversorgung
Rotorbremse	E-Brake
Rotorarretierung	in 30°-Stufen rastend

[1] im Yield Optimized Mode 12 (OM-YO-12) (ertragsoptimierter Betriebsmodus 12). Die Verfügbarkeit des Yield Optimized Mode 12 ist u. a. von der Turmvariante und vom Standort abhängig.

[2] über Normalhöhennull; höhere Standorte möglich, müssen aber projektspezifisch geprüft werden.

© ENERCON Global GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Windnachführung	
Azimutverstellung	elektromechanisches Stellsystem
Azimutbremse	elektrisch

Steuerung der Windenergieanlage	
Typ	Mikroprozessor
Typbezeichnung	PI-CS
Netzeinspeisung	Vollumrichter mit speicherprogrammierbarer Steuerung
Fernüberwachung	ENERCON SCADA Edge
unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	integriert

Turmvarianten		
Nabenhöhe ab Geländeoberkante	**Gesamthöhe ab Geländeoberkante**	**Bauart**
111,65 m	199,2 m	Hybrid-Stahlturm
112,42 m	199,9 m	Stahlrohrturm
132,46 m	220,0 m	Hybrid-Stahlturm
162,00 m	249,5 m	Hybridturm
162,00 m	249,5 m	Hybrid-Stahlturm

Zertifizierte/angestrebte turmspezifische Auslegungsbedingungen					
Nabenhöhe ab Geländeoberkante	**Windklasse nach IEC[3]**	**Turbulenzkategorie nach IEC[3]**	**50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe (10-min-Mittelwert) nach IEC[3]**	**entspricht einem Lastäquivalent von circa (3-s-Böe)**	**Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe nach IEC[3]**
111,65 m	II	A	42,50 m/s	59,50 m/s	8,50 m/s
112,42 m	S	A	42,50 m/s	59,50 m/s	7,00 / 6,80[4] m/s
132,46 m	S	A	42,50 m/s	59,50 m/s	7,20 / 7,20[4] m/s
162,00 m[5]	S	A	42,50 m/s	59,50 m/s	7,80 / 6,70[4] m/s
162,00 m[6]	S	A	42,50 m/s	59,50 m/s	7,25 m/s

[3] Ausgabe der Richtlinie Edition 4
[4] im Yield Optimized Mode 12
[5] Hybridturm
[6] Hybrid-Stahlturm

© ENERCON Global GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Technisches Datenblatt

General Design Conditions

ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 E1 / 6000 kW

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Herausgeber

ENERCON Global 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: Uwe Eberhardt, Ulrich Schulze Südhoff
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 202549
Ust.Id.-Nr.: DE285537483

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 Global GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON Global 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 Global 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 Global 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 Global 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	D02772001/7.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2025-04-09	de	DA	WRD Wobben Research and Development GmbH / Documentation Department

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
D0160496	Technische Beschreibung Option Cold Climate

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 5

2 Technische Daten der Windenergieanlage 6

3 Auslegung der Windenergieanlage 7

3.1 Zertifizierte/angestrebte Auslegungsbedingungen 7

3.2 Weitere Anforderungen an den Standort 10

3.3 Einhaltung der Auslegungsparameter 10

4 Konfigurationen für extreme Temperaturen 11

4.1 Option Cold Climate 11

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
Stahlrohrturm	E-175 EP5-ST-112-FB-C-01
Hybrid-Stahlturm	E-175 EP5-HST-112-FB-C-01
Hybrid-Stahlturm	E-175 EP5-HST-132-FB-C-01
Hybridturm	E-175 EP5-HT-162-ES-C-01
Hybrid-Stahlturm	E-175 EP5-HST-162-FB-C-01

Tab. 2: Technische Daten

Parameter	Wert	Einheit
Rotordurchmesser	175	m
Nennwirkleistung	6000	kW
Einschalt-Windgeschwindigkeit	2,5	m/s
Nennwindgeschwindigkeit (simulierter Wert mit Turbulenzen, leistungsoptimierter Betrieb)	12,5	m/s
Nennwindgeschwindigkeit (simulierter Wert statisch, leistungsoptimierter Betrieb)	11	m/s
Abschalt-Windgeschwindigkeit (10-min-Mittelwert)[1]	25	m/s
minimale Betriebsdrehzahl[2]		
■ E-175 EP5-ST-112-FB-C-01	4,6	U/min
■ E-175 EP5-HST-112-FB-C-01	4,6	U/min
■ E-175 EP5-HST-132-FB-C-01	3,9	U/min
■ E-175 EP5-HT-162-ES-C-01	4,6	U/min
■ E-175 EP5-HST-162-FB-C-01	3,9	U/min
Solldrehzahl[3]	8,75	U/min
Auslegungslebensdauer	25	Jahre

[1] Bei aktivierter Sturmregelung.

[2] Drehzahl, bei der die Einspeisung beginnt.

[3] Drehzahl, auf die im Volllastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird. Sie liegt etwas über der Nenndrehzahl, 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.

3 Auslegung der Windenergieanlage

3.1 Zertifizierte/angestrebte Auslegungsbedingungen

Die Windenergieanlage 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

Parameter	E-175 EP5-ST-112-FB-C-01	E-175 EP5-HST-112-FB-C-01	E-175 EP5-HST-132-FB-C-01	E-175 EP5-HT-162-ES-C-01	E-175 EP5-HST-162-FB-C-01
IEC-Windklasse (4th Edition)	S	II	S	S	S
Turbulenzkategorie nach IEC (4th Edition)	A	A	A	A	A
DIBt-Windzone/ Geländekategorie	-	S	WZ S[4]	WZ 2/GK II	S
50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe (10-min-Mittelwert) nach IEC (4th Edition) in m/s	42,50	42,50	42,50	42,50	42,50
entspricht einem Lastäquivalent von circa (3-s-Böe) in m/s	59,50	59,50	59,50	59,50	59,50
50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe (10-min-Mittelwert) nach DIBt 2012 in m/s	-	42,50	42,50	42,50	42,50
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe nach IEC (4th Edition) in m/s	7,00	8,50	7,20	7,80	7,25

[4] Die Windgeschwindigkeiten der hier ausgewiesenen Windzone S decken die Windgeschwindigkeiten der Windzone 2 Geländekategorie I und II nach DIBt 2012, bzw. DIN EN 1991-1-4/NA ab. Gemäß DIBt 2012 ist das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe in Windzone 1 und 2 mit dem Wert von Windzone 3 anzusetzen. Da die ausgewiesene Windzone S das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit der Windzone 3 nicht abdeckt, wird eine Windzone S ausgewiesen und es muss standortspezifisch gezeigt werden, dass das Jahresmittel vom Designwert abgedeckt ist.

Parameter	E-175 EP5-ST-112-FB-C-01	E-175 EP5-HST-112-FB-C-01	E-175 EP5-HST-132-FB-C-01	E-175 EP5-HT-162-ES-C-01	E-175 EP5-HST-162-FB-C-01
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe nach DIBt 2012 in m/s	-	8,50	7,20	7,80	7,25
c-Werte des extremen Turbulenzmodells	2	2	2	2	2
Formparameter der Weibull-Funktion k	2	2	2	2	2
Windgradient	0,1/0,2	0,1/0,2	0,2	0,2	0,2

Tab. 4: Zertifizierte/angestrebte Auslegungsbedingungen allgemein

Parameter	Wert	
Turbulenzintensität	Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe in m/s	Turbulenzintensität in %
	2	56,80
	4	34,40
	6	26,93
	8	23,20
	10	20,96
	12	19,47
	14	18,40
	16	17,60
	18	16,98
	20	16,48
	22	16,07
	24	15,73
	26	15,45
Schräganströmung	8°	
normaler Temperaturbereich	-10 °C bis +40 °C	
extremer Temperaturbereich	-20 °C bis +50 °C	
relative Luftfeuchte	≤ 95 %	
maximale Sonneneinstrahlung	1000 W/m^2	
Standard-Luftdichte	1,225 kg/m^3	

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

3.2 Weitere Anforderungen an den Standort

Tab. 5: Weitere Anforderungen an den Standort

Parameter	Wert
Abstand zwischen Windenergieanlagen im Windpark[5]	≥ 5 x Rotordurchmesser in Hauptwindrichtung (Turbulenzkategorie A)
	≥ 3 x Rotordurchmesser in weniger stark ausgeprägten Windrichtungen (Turbulenzkategorie A)
maximale Höhe über dem Meeresspiegel[6]	800 m
Überlebenstemperatur[7]	-40 °C
Standort gemäß Korrosionsschutzklasse	Stahlturm außen: C4 (nach DIN EN ISO 12944)
	alle inneren, vor direkten Witterungseinflüssen geschützten Komponenten: vergleichbar C3 „hoch“ (nach DIN EN ISO 12944)

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).

[5] Diese Angaben sind als allgemeine Richtwerte zu betrachten. Der Einfluss des Wake-Effekts muss in jedem Fall projektspezifisch geprüft werden.

[6] Höhergelegene Standorte sind in der Regel ebenfalls realisierbar; sie bedürfen jedoch einer projektspezifischen Analyse.

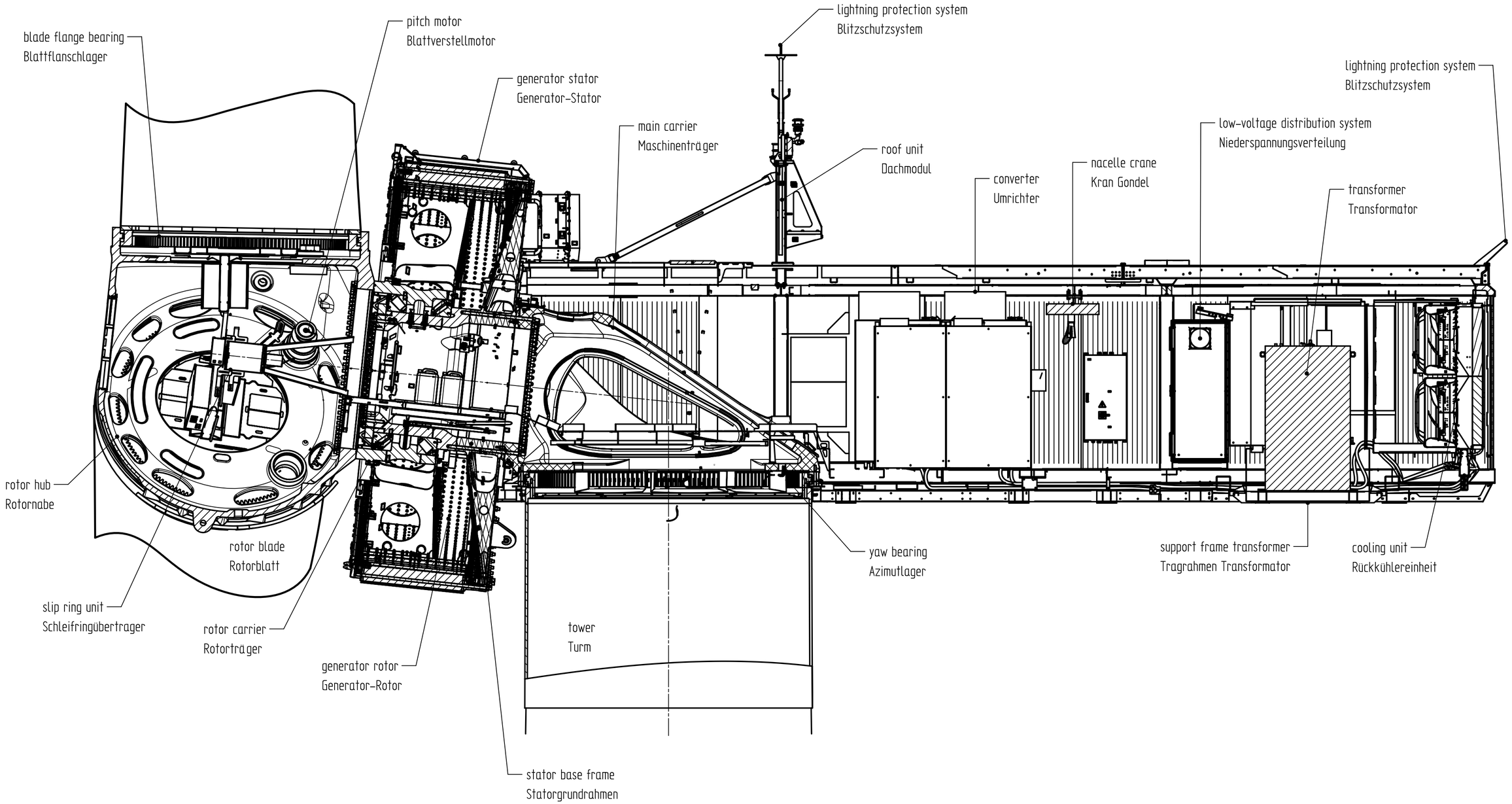
[7] Für Situationen mit eingeschränkter Beanspruchung.

4 Konfigurationen für extreme Temperaturen

4.1 Option Cold Climate

ENERCON bietet für Standorte, an denen im Durchschnitt an mehr als 9 Tagen im Jahr Temperaturen von unter -20 °C auftreten, die Windenergieanlage mit der Option Cold Climate an.

Weitere Informationen zur Option Cold Climate können dem ENERCON Dokument D0160496 „Technische Beschreibung Option Cold Climate“ entnommen werden.



©This drawing is owned by ENERCON GmbH.
It is copyrighted and at the same time
A trade secret within the meaning of § 17 UWG.
©ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.
Diese Zeichnung ist Eigentum der Firma ENERCON GmbH.
Sie ist urheberrechtlich geschützt und stellt zugleich
ein Betriebsgeheimnis im Sinne des § 17 UWG dar.

ENERCON
ENERGY FOR THE WORLD

	at / am	by / von
creator / Ersteller	2023-06-14	00005434
last modifying user / letzter ändernder Benutzer	2023-06-28	migration-cad

released at, by / freigegeben am, von

,

	Scale / Maßstab: 1:40	expected weight / erwartetes Gewicht: kg
Material / Werkstoff		
Document Type / Dokumentart: Layout drawing / Übersichtszeichnung		SEC: TL
Name / additional name / Benennung / Zusatzbenennung: WEC E-175 EP5 - 6.0 MW WEA E-175 EP5 - 6.0 MW		
Material Number / Materialnummer: 1057928	Drawing Number / Zeichnungsnummer: D02912639/0.0-de/en	Sheet / qty Blatt / Blätter: 1/1

A2

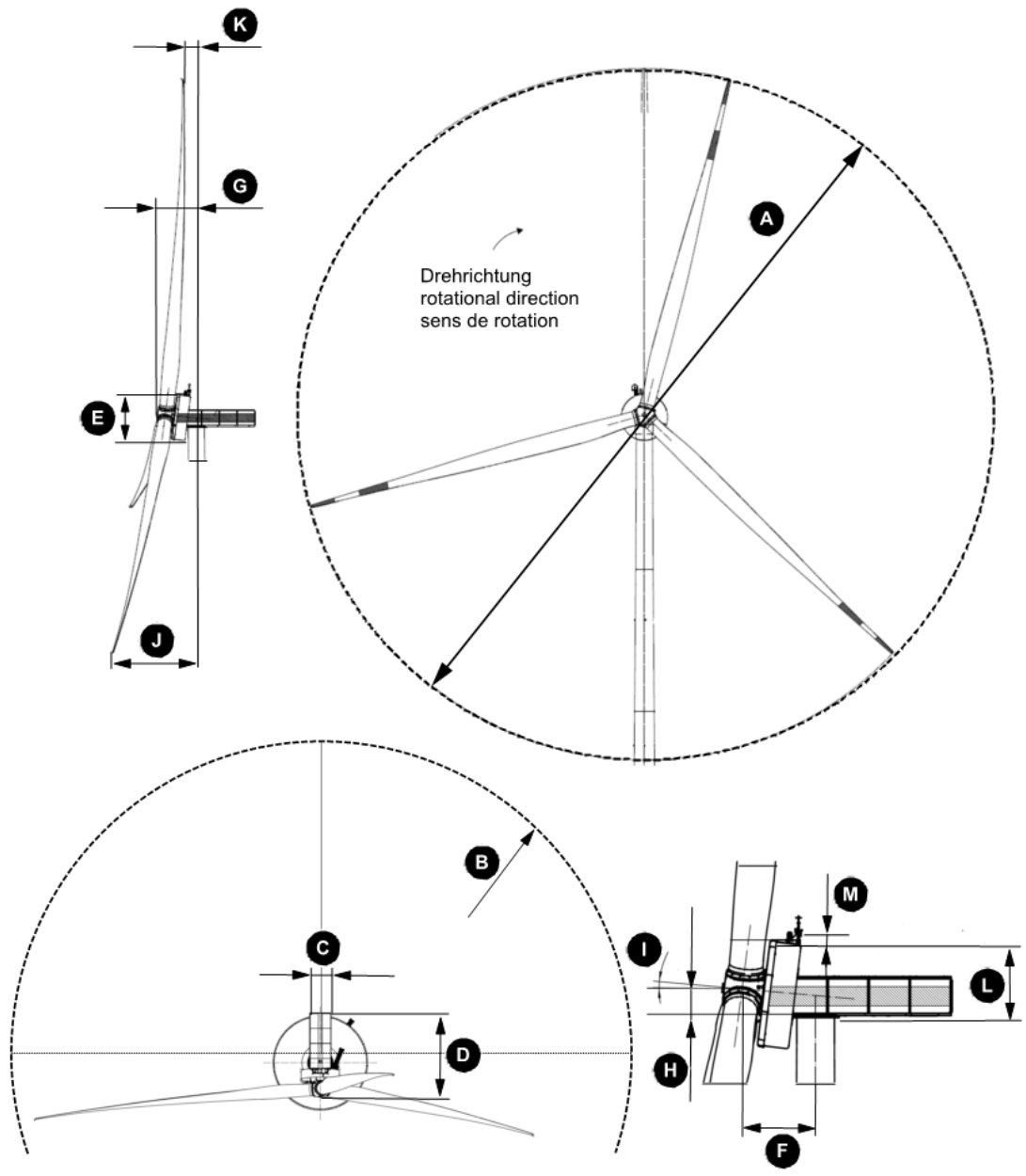


Abb. / Fig.: Schematische Darstellung der Gondel / Schematic diagram of the nacelle / Représentation schématique de la nacelle

Pos.	Bezeichnung Description Designation	Wert Value Valeur	Pos.	Bezeichnung Description Designation	Wert Value Valeur
A	**Rotordurchmesser** Rotor diameter Diamètre du rotor	175 m	**H**	**Oberkante Turmkopfflansch bis Nabe** Top edge of top tower flange to hub Bord supérieur de la bride supérieure du mât jusqu'au moyeu	1,85 m
B[1]	**Exzentrizitätsfläche** Eccentric surface Surface excentrique	24805,90 m²	**I**	**Neigung** Incline Inclinaison	6°
C	**Gondelbreite** Nacelle width Largeur de la nacelle	4,99 m	**J[1]**	**Turmmitte bis tiefste Blattposition** Tower centre to bottom of blade Milieu du mât jusqu'à la position la plus basse de la pale	26,64 m
D	**Gondellänge** Nacelle length Longueur de la nacelle	19,85 m	**K[1]**	**Turmmitte bis höchste Blattposition** Tower centre to top position of blade Milieu du mât jusqu'à la position la plus haute de la pale	8,42 m
E	**Gondelhöhe einschließlich Generator** Nacelle height including generator Hauteur de la nacelle, y compris le générateur	6,31 m	**L**	**Oberkante Turmkopfflansch bis Oberkante Gondel** Top edge of top tower flange to nacelle top edge Bord supérieur de la bride du sommet du mât jusqu'au bord supérieur de la nacelle	4,84 m
F	**Turmmitte bis Nabe horizontal** Tower centre to hub horizontal Milieu du mât vers le moyeu horizontalement	6,07 m	**M**	**Oberkante Gondel bis Oberkante Befeuerungsträger** Top nacelle edge to top beacon carrier edge Bord supérieur de la nacelle jusqu'au bord supérieur du support du balisage	-0,21 m
G	**Turmmitte bis Gondelspitze** Tower centre to nacelle tip Milieu du mât vers l'extrémité de la nacelle	8,05 m		**Volumen der Gondel** Volume of the nacelle Volume de la nacelle	312,50 m³

[1] Die Werte beziehen sich auf den Einbauzustand des Rotorblatts ohne Pitch und ohne jegliche Belastungen. / The values refer to the installation state of the rotor blade when not pitched and without any load. / Les valeurs se rapportent à l'état de montage de la pale du rotor sans pitch et sans charges.

© ENERCON Global GmbH. Alle Rechte vorbehalten. / All rights reserved. / Tous droits réservés.

Released: 2024-10-16 12:25

Gewichte Gondel E-175 EP5 E1

Gewichte der Transporteinheiten

Bei den Gewichtsangaben sind die notwendigen Transportvorrichtungen berücksichtigt. Materialien zur Verkabelung und weitere Kleinteile werden in mehreren Containern mit einem jeweiligen Maximalgewicht von 24 t transportiert.

Tab. 1: Gewicht pro Transporteinheit

Transporteinheit	Anzahl der Transporteinheiten	Gewicht in t pro Transporteinheit
Maschinenhaus mit Transformator	1	ca. 83,2
Maschinenhaus ohne Transformator	1	ca. 72,2
Transformator	1	ca. 11,0
Rotornabe	1	ca. 53,5
Generator-Rotor	1	ca. 64,8
Generator-Stator	1	ca. 70,2
Rotorblatt	1	ca. 29,5

Gewichte der Hebeeinheiten

Im Folgenden sind die Hebeeinheiten für die abgeladenen und vormontierten Gondelkomponenten, den Generator und die Rotorblätter beim Aufbau der Windenergieanlage gelistet.

Tab. 2: Gewicht pro Hebeeinheit

Hebeeinheit	Gewicht in t (ohne Werkzeug, Material und Hebemittel)	Gewicht in t (mit Werkzeug, Material und Hebemittel)
Maschinenhaus mit Transformator	ca. 83,0	ca. 84,0
Maschinenhaus ohne Transformator	ca. 72,0	ca. 73,0
Transformator	ca. 11,0	ca. 11,0
Rotornabe	ca. 51,5	ca. 52,5
Generator-Rotor	ca. 60,0	ca. 60,5
Generator-Stator	ca. 64,5	ca. 68,7
Generator	ca. 124,5	ca. 127,0
Rotorblatt	ca. 27,0	ca. 54,4 (Ematec RBC-D 50) ca. 52,3 (Ematec RBC-D 42)

© ENERCON Global GmbH. Alle Rechte vorbehalten.
Technische Änderungen vorbehalten.

Technische Beschreibung

Netzanschlussvariante 6 - Transformator in der Gondel

E-175 EP5 E1

Technische Änderungen vorbehalten.

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Freigabe: 2024-10-29 12:30

Herausgeber

ENERCON Global 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: Uwe Eberhardt, Ulrich Schulze Südhoff
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 202549
Ust.Id.-Nr.: DE285537483

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 Global GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON Global 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 Global 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 Global 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 Global 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	D02761648/4.0-de
Vermerk	Originaldokument
Vertraulichkeit	NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2024-10-29	de	DB	ENERCON Global GmbH / High Voltage Systems

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30

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
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
DIN EN 50181:2011-04	Steckbare Durchführungen über 1 kV bis 52 kV und von 250 A bis 2,50 kA für Anlagen anders als flüssigkeitsgefüllte Transformatoren; Deutsche Fassung EN 50181:2010
DIN EN 50708-1-1	Leistungstransformatoren - Zusätzliche europäische Anforderungen - Teil 1-1: Allgemeiner Teil - Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 50708-1-1:2020
DIN EN IEC 60204-11*VDE 0113-11:2019	Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 11: Anforderungen an Ausrüstung für Spannungen über 1 000 V Wechselspannung oder 1 500 V Gleichspannung, aber nicht über 36 kV
DIN VDE 0250-813	Isolierte Starkstromleitungen - Teil 813: Leitungstrosse
DIN VDE 0298	Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen
IEC 60076-1	Power transformers - Part 1: General
IEC 60076-10:2016	Power transformers - Part 10: Determination of sound levels
IEC 60076-13:2006	Power transformers - Part 13: Self-protected liquid-filled transformers
IEC 60076-14:2013	Power transformers - Part 14: Liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials
IEC 60076-16:2018	Power transformers - Part 16: Transformers for wind turbine applications
IEC 60076-2:2011	Power transformers - Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers
IEC 60076-3:2013	Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
IEC 60076-4:2002	Power transformers - Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing; Power transformers and reactors
IEC 60076-5:2006	Power transformers - Part 5: Ability to withstand short circuit
IEC 60076-7:2018	Power transformers - Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers
IEC 60502-2*CEI 60502-2:2014-02	Starkstromkabel mit extrudierter Isolierung und ihre Garnituren für Nennspannungen von 1 kV (Um = 1,2 kV) bis 30 kV (Um = 36 kV) - Teil 2: Kabel für Nennspannungen von 6 kV (Um = 7,2 kV) bis 30 kV (Um = 36 kV)

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2024-10-29 12:30

Dokument-ID	Dokument
IEC 60840:2020	Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (Um= 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV) - Test methods and requirements
IEC 61099:2010	Insulating liquids - Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes
IEC 61400-1:2019	Wind energy generation systems – Part 1: Design Requirements
IEC 62271-1	High-voltage switching devices and switchgears – Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear
IEC 62271-200	High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: Metal-enclosed AC switchgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV.
Richtlinie 2006/42/EG	Maschinenrichtlinie
Verordnung (EU) Nr. 2019/1783	VERORDNUNG 2019/1783 DER KOMMISSION vom 1. Oktober 2019 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission zur Umsetzung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Kleinleistungs-, Mittelleistungs- und Großleistungstransformatoren

Zugehörige Dokumente

Dokument-ID	Dokument
D02108186	Technical description – Duct allocation in ENERCON steel tower foundations (Technische Beschreibung Leerrohrbelegung in ENERCON Stahlrohrturmfundamenten)
D02109462	Technische Beschreibung Elektrischer Anschluss von Windenergieanlagen

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis **6**

1 Einleitung **7**

2 Netzanschlusskomponenten **7**

3 Liefergrenze und elektrischer Anschlusspunkt **7**
3.1 Liefergrenze **9**
3.2 Elektrischer Anschlusspunkt **9**

4 Standardlieferumfang für elektrotechnische Komponenten **9**
4.1 MS-Transformator der WEA **9**
4.1.1 Technische Daten des MS-Transformators 10
4.1.2 Transformatorschutz 10
4.2 MS-Schaltanlage der WEA **11**
4.2.1 Technische Daten der MS-Schaltanlage 12
4.2.2 Bediensicherheit der MS-Schaltanlage 13
4.3 MS-Kabel zwischen MS-Schaltanlage und Transformator **13**
4.3.1 Technische Daten der MS-Kabel 14
4.4 Mitgelieferte Dokumentation **14**

5 Optionale Konfiguration **15**
5.1 Optionen für den MS-Transformator der WEA **15**
5.2 Optionen für die MS-Schaltanlage **17**

Fachwortverzeichnis **20**

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2024-10-29 12:30

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen

ARS	Automatic Reclosing System (Automatische Wiedereinschaltung der Mittelspannungsschaltanlage)
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EWM	Electrical Works Manager (Projektleiter elektrische Gewerke)
FAT	Factory acceptance test (Werksabnahmeprüfung)
FT	FACTS Transmission (elektrische Konfiguration mit FACTS-Eigenschaften)
FTQ	FACTS Transmission mit Option Q+ (elektrische Konfiguration mit erweitertem Blindleistungsstellbereich)
FTQS	FACTS Transmission mit Option Q+ und STATCOM-Option (elektrische Konfiguration mit erweitertem Blindleistungsstellbereich und STATCOM-Option)
FTS	FACTS Transmission mit STATCOM-Option (elektrische Konfiguration mit STATCOM-Option)
HS	Hochspannung
IEC	International Electrotechnical Commission (Internationale Elektrotechnische Kommission)
MS	Mittelspannung
NHN	Normalhöhennull
NS	Niederspannung
OS	Oberspannung
SAT	Site acceptance test (Abnahme einer Maschine oder Anlage am Aufstellort)
WEA	Windenergieanlage

Größen, Einheiten, Formeln

A	Ampere
Hz	Hertz
I_k''	Anfangskurzschlusswechselstrom
kA	Kiloampere
kV	Kilovolt
kVA	Kilovoltampere
SF_6	Schwefelhexafluorid

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30

1 Einleitung

Die Netzanschlussvariante 6 beschreibt die ENERCON Ausführung der WEA-integrierten MS-Komponenten („E-Gondel“), ihre Liefergrenzen und mögliche Optionen.

Parameter wie Spannung, Frequenz, Einhaltung der Netzvorschriften sowie örtliche Anforderungen oder Richtlinien können Änderungen an den Hauptkomponenten erforderlich machen. Diese Produktdifferenzierung von Standard zu möglichen Optionen muss im Anlagenliefervertrag oder in einer Ergänzung festgehalten werden.

Optionale Ausstattung, Anforderungen oder Abweichungen von dieser Netzanschlussvariante sind mit Mehrkosten und ggf. verlängerten Lieferzeiten verbunden.

2 Netzanschlusskomponenten

Alle Netzanschlusskomponenten der WEA, wie Transformator und MS-Schaltanlage, sind in der WEA installiert. Der Transformator befindet sich in der Gondel, die MS-Schaltanlage im Turmfuß.

3 Liefergrenze und elektrischer Anschlusspunkt

Die Liefergrenze und der elektrische Anschlusspunkt sind im nachfolgenden Prinzipschaltbild dargestellt und werden in Kap. 3.1, S. 9 und Kap. 3.2, S. 9 näher erläutert.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30

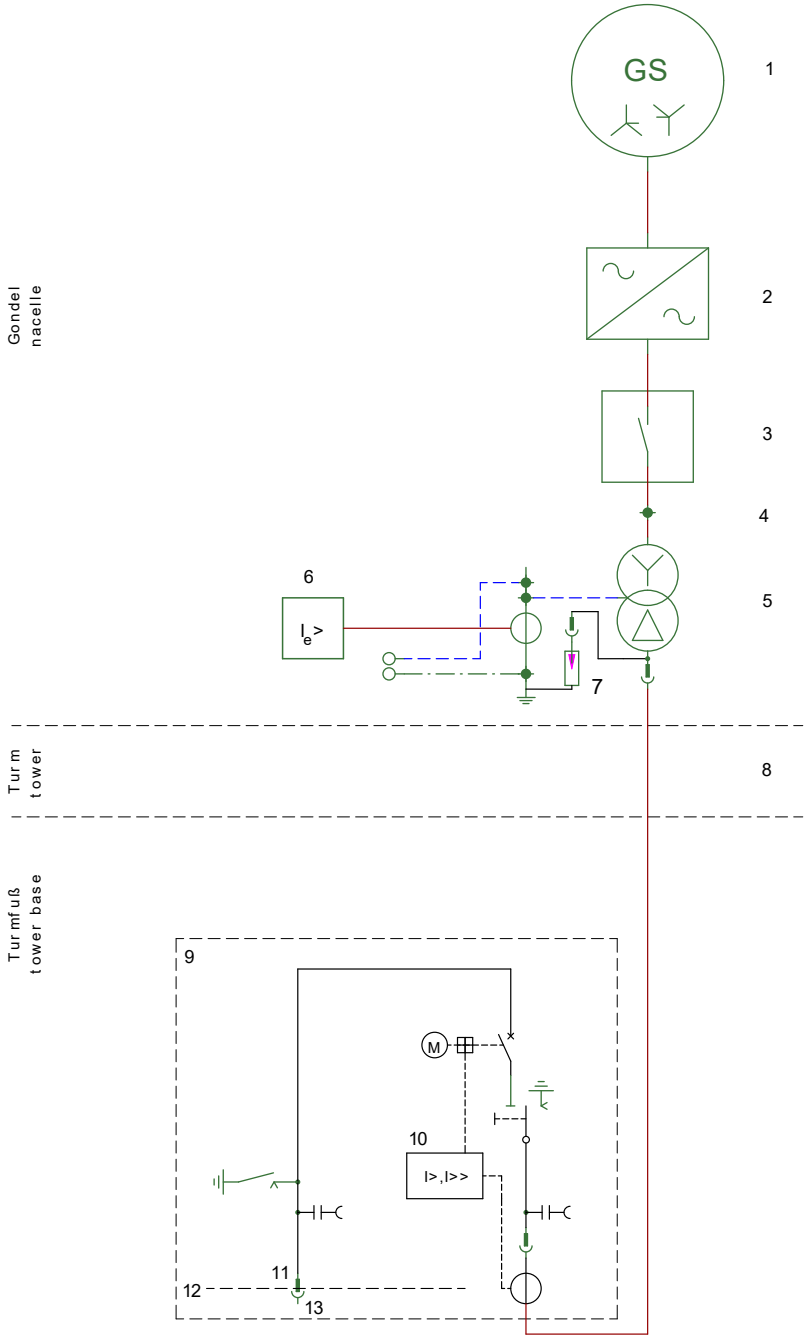


Abb. 1: Prinzipschaltbild – Netzanschlussvariante 6

1	Generator	2	Umrichter
3	NS-Trennvorrichtung	4	Elektrischer Referenzpunkt
5	MS-Transformator der WEA	6	NS-Erdschlusserkennung
7	MS-Überspannungsableiter	8	MS-Turmkabel
9	MS-Schaltanlage	10	MS-Überstrom- und Kurzschluss-schutz
11	MS-Durchführung der Schaltanlage	12	Grenze des Lieferumfangs und elek-trischer Anschlusspunkt
13	MS-Stecker der Parkverkabelung		

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30

3.1 Liefergrenze

Wie im Prinzipschaltbild dargestellt, befindet sich die Liefergrenze an den Anschlussstellen der MS-Schaltanlage. Entsprechend dieser Liefergrenze liefert und installiert ENERCON die elektrischen Komponenten.

Die Lieferung der MS-Kabel und -Stecker sowie deren Anschluss an den Kabelfeldern der MS-Schaltanlage sind nicht Teil des Lieferumfangs von ENERCON.

Diese Anschlussarbeiten sind durch ein qualifiziertes Elektrofachunternehmen im Rahmen der Windparkverkabelung durchzuführen und zu protokollieren.

3.2 Elektrischer Anschlusspunkt

Der elektrische Anschlusspunkt ist der Übergabepunkt zwischen WEA und Windparknetz. Die Richtlinien und Normen für das MS-System der WEA unterscheiden sich inhaltlich von denen für das MS-Netz. Eine Definition des elektrischen Anschlusspunkts ist somit für eine richtlinien- und normenkonforme Ausführung der WEA zwingend erforderlich.

ENERCON definiert den elektrischen Anschlusspunkt folgendermaßen:

Der elektrische Anschlusspunkt der WEA befindet sich am netzseitigen Eingangsfeld der MS-Schaltanlage.

Norm für den elektrischen Anschlusspunkt

Die IEC 61400-1:2019 gibt im Abschnitt 3.75 „Anschlussklemmen der Windenergieanlage“ vor, wie ein Anschlusspunkt bestimmt wird. Der WEA-Hersteller legt fest, an welchen Anschlusspunkt/en die WEA mit dem Kraftwerksnetz gekoppelt werden darf. Auf dieser Grundlage definiert ENERCON den elektrischen Anschlusspunkt.

Norm für die MS-Ausrüstung

ENERCON erklärt in der EG/EU-Konformitätserklärung die Konformität der WEA u. a. nach den Bestimmungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. Im offiziellen Leitfaden für die Anwendung der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (Auflage 2.1 – Juli 2017), erstellt von der Europäischen Kommission, weist in §222 (Elektrizität) darauf hin, dass Anforderungen an die elektrische HS-Ausrüstung 1 von Maschinen aus der Norm
DIN EN IEC 60204-11*VDE 0113-11:2019 zu entnehmen sind. Daher ist sie die maßgebende Norm für die Gestaltung der MS-Ausrüstung der WEA.

Der untere Bereich der Hochspannung wird üblicherweise als „Mittelspannung“ bezeichnet. Die Mittelspannung ist somit Teil der Hochspannung.

4 Standardlieferumfang für elektrotechnische Komponenten

Der Inhalt dieses Kapitels definiert die Eigenschaften der MS-Komponenten, welche im Standardlieferumfang der WEA gemäß dieser Technischen Beschreibung enthalten sind.

4.1 MS-Transformator der WEA

Der Transformator wandelt die von der WEA generierte elektrische Spannung in die netzseitige Spannung um. Er ist gemäß IEC 60076-1 und IEC 60076-3 typ- und stückgeprüft.

Als Isolations- und Kühlmedium wird Esterflüssigkeit eingesetzt (Kühlmittelart K3 nach IEC 61099).

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2024-10-29 12:30

Der Transformator steht berührungssicher in einer Auffangwanne gemäß der deutschen AwSV, welche für sein komplettes Flüssigkeitsvolumen ausgelegt ist.

4.1.1 Technische Daten des MS-Transformators

Tab. 1: Technische Daten: Standardlieferumfang MS-Transformator

Nr.	Merkmal	Wert
1	Typ	Step-Up-Transformator für WEA
2	Betriebsart	Dauerbetrieb
3	Schallleistungspegel [dB]	≤ 78
4	Umgebungstemperatur [°C]	Normal climate -25 bis +50
5	Bemessungsleistung [kVA]	7100
6	Schaltgruppe	Dyn5
7	Anzapfung OS [%] (Stufenumsteller für spannungsfreie Betätigung)	+4 x 2,5
8	Frequenz [Hz]	50
9	Oberspannung [kV]	20
10	Isolationspegel HS [kV]	Um = 24 (LI/AC 125/50)
11	Niederspannung [V]	750
12	Einschaltstrom	Ipmax ≤ 6,5 × Ir × √2
13	Max. Aufstellhöhe über NHN [m]	1000
14	Kurzschlussimpedanz [%]	9,0 (Toleranz ± 10)
15	Kurzschlussverluste	Verordnung (EU) Nr. 2019/1783 ((Ecodesign Anforderungen für Leistungstransformatoren Tier 2) und DIN EN 50708
16	Leerlaufverluste	Verordnung (EU) Nr. 2019/1783 (Ecodesign Anforderungen für Leistungstransformatoren Tier 2) und DIN EN 50708
17	Gemäß Norm verbaut und geprüft	IEC

4.1.2 Transformatorschutz

Die von ENERCON installierten Transformatoren verfügen über ein umfassendes Schutzsystem:

- Überstrom- und Kurzschlussschutz auf der MS-Seite des Transformators
- Analoger Temperatursensor
- Öldruckwächter
- Ölniveauschalter
- Kurzschlussschutz auf der NS-Seite des Transformators
- MS-Überspannungsableiter

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30

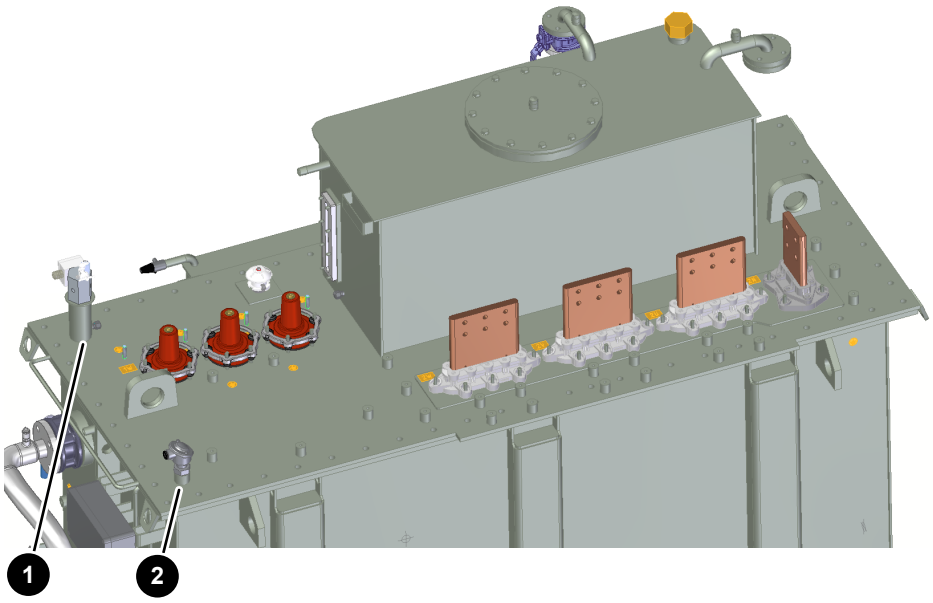


Abb. 2: Beispielhafte Ansicht der Transformatorschutzsensoren

1	Gasrelais als Öldruckwächter und Ölniveauschalter	2	Temperatursensor

Erläuterung der Schutzfunktionen:

- Der Überstrom- und Kurzschlussschutz auf der MS-Seite wirkt direkt auf den MS-Transformatorschalter.
- Der NS-Schutz 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 Abschaltschwelle wird die WEA abgeschaltet. So wird eine Transformatorüberlastung verhindert.
- Öldruckwächter und Ölniveauschalter wirken über die akkugepufferte Fernschalteinrichtung indirekt auf den MS-Transformatorschalter.
- Der MS-Überspannungsableiter schützt den Transformator gegen Überspannungen.

4.2 MS-Schaltanlage der WEA

Die MS-Schaltanlage ist notwendig, um den Stromfluss von der Anlage zum nachgelagerten internen Windparknetz sicher schalten und trennen zu können. Sie dient auch als unmittelbarer Anschlusspunkt des nachgelagerten internen Windparknetzes. Die Schalter der MS-Schaltanlage sind mit den Schutzfunktionen der WEA verbunden, können aber auch manuell vom Servicepersonal bedient werden.

Die MS-Schaltanlage ist gemäß IEC 62271-200 typ- und stückgeprüft.

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2024-10-29 12:30

4.2.1 Technische Daten der MS-Schaltanlage

Tab. 2: Technische Daten: Standardlieferumfang MS-Schaltanlage

Nr.	Merkmal	Wert
1	Gasisolierung	SF6/SF6-frei*
2	Trafofeld Typ (für Schutz und Abschaltung WEA)	Leistungsschalter mit Trenn- und Erdungsschalter
3	Trafofeld Anzahl	1
4	Kabelfeld Typ (für Anschluss Windparkverkabelung)	Kabelanschluss mit Erdungsschalter*
5	Kabelfeld Anzahl	1**
6	Bemessungsspannung gemäß IEC 62271-1 [kV] (maximal erreichbare Werte der Netzspannung U_r)	24
7	Bemessungskurzzeitstrom Ik [kA], 1 s	≥ 16
8	Bemessungsstrom der Sammelschiene [A]	630
9	Bemessungsfrequenz [Hz]	50
10	Trafofeld Schutztyp	I>, I>> UMZ (ANSI 50) Ie> UMZ (ANSI 50N) (mittels Schutzgerät)
11	Aufgebaut und geprüft gemäß Norm	IEC
12	MS-Durchführung Typ (für Stecker Windparkverkabelung)	Typ C gemäß DIN EN 50181
13	Maximale Betriebshöhe [m]	1000
14	Maximale Umgebungstemperatur im Betrieb [°C]	40
15	Minimale Umgebungstemperatur im Betrieb [°C]	-5
16	Automatic Reclosing System (ARS)	Nein
17	Vorbereitet für Smart Energise Option (Auswahl des Systems über Produktlinie; Voraussetzung: ARS)	Nein
18	Vorbereitet für Schlüsselverriegelung zwischen Schaltfeldern (exkl. Schließzylinder)	Nein
19	MS-Messung in der Schaltanlage (zusätzliche Strom- und Spannungswandler für Energiemessung)	Nein
20	Maximaler Kabelquerschnitt für Anschluss im Kabelfeld [mm²]	500 (MS-Kabelaußendurchmesser ≤ 52 mm)
21	Überspannungsableiter Anschlussmöglichkeit	Nein

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30

Nr.	Merkmal	Wert
22	Bereitstellung von Schaltkontakten zur Meldung vom Schaltstatus der jeweiligen Kabelfelder	Nein

** Gemäß* Verordnung 2024/573 *des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Februar 2024 über fluorierte Treibhausgase ist die Inbetriebnahme von* SF_6*-Schaltanlagen mit folgenden Bemessungsspannungen verboten:*
≤ 24kV: ab 01.01.2026
> 24 kV ≤ 52 kV: ab 01.01.2030

Bis zum Inkrafttreten des Verbots ist die Inbetriebnahme von SF_6*-Schaltanlagen noch gestattet und bleibt weiterhin als Standard definiert. Mit Inkrafttreten des Verbots wird die* SF_6*-freie Schaltanlage als Standard definiert.*

*** Abhängig von Lagerbestand wird evtl. ein Lasttrennschalter mit Erdungsschalter und/ oder mehrere Kabelfelder bereitgestellt.*

Bei zwingender Standardkonfiguration (siehe oben) ist der EWM *unmittelbar nach Vertragsschluss zu informieren*.

4.2.2 Bediensicherheit der MS-Schaltanlage

Um die Bedienersicherheit zu gewährleisten, ist in der WEA eine akkugepufferte Fernschalteinrichtung für den MS-Transformatorschalter installiert. Diese Fernschalteinrichtung ermöglicht das Ein- und Ausschalten des MS-Transformatorschalters von innerhalb der WEA aber außerhalb des Transformatorraums und darf nur durch schaltberechtigtes Personal erfolgen.

Bei Auslösen des Schutzsystems ist sowohl die manuelle als auch die automatische Wiedereinschaltung so lange blockiert, bis das Problem durch schaltberechtigtes Personal behoben wurde.

4.3 MS-Kabel zwischen MS-Schaltanlage und Transformator

Die vorgefertigten MS-Turmkabelsätze werden verwendet, um den MS-Transformator in der Gondel und die MS-Schaltanlage im Turmfuß der ENERCON WEA zu verbinden. Das MS-Turmkabelset ist eine komplette Baugruppe, die auf einer Trommel auf die Baustelle geliefert wird und dort in die Gondel hochgezogen wird.

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2024-10-29 12:30

4.3.1 Technische Daten der MS-Kabel

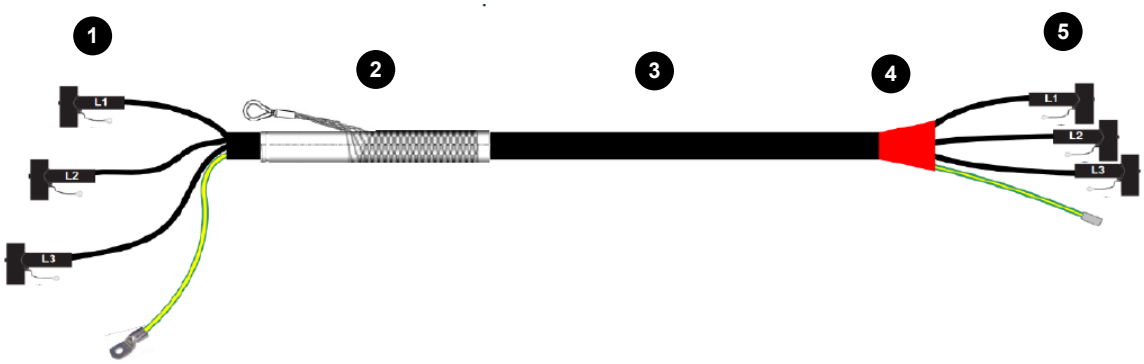


Abb. 3: Beispiel eines vorgefertigten Kabelsatzes

1	MS-Stecker	2	Ziehstrumpf
3	Kabel	4	Aufteilkappe
5	MS-Stecker		

Die Baugruppe besteht aus:

- Einem Satz von MS-Steckern (T-Verbinder) auf beiden Seiten (Transformator- und Schaltanlagenseite) (1 + 5)
- Einem beidseitigen Aufteil-Set, um das dreiadrige Kabel auf beiden Seiten in drei Einzelkabel aufzuteilen (4)
- Ziehstrumpf (2)
- Ein hochflexibles dreiadriges Kabel vom Typ (N)TSCGEHXOEU (3) gemäß DIN VDE 0250-813, IEC 60502-2 und IEC 60840

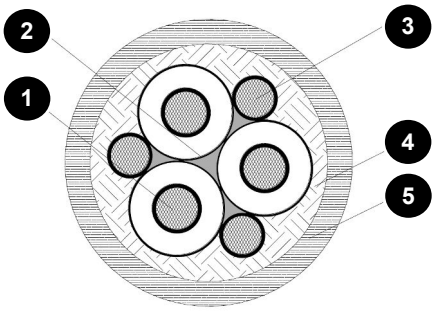


Abb. 4: Kabel Nexans Typ (N)TSCGEHXOEU

1	Hauptader	2	Kernelement
3	Schutzleiter	4	Innenmantel
5	Außenmantel		

4.4 Mitgelieferte Dokumentation

Im Standardlieferumfang wird lediglich folgende Dokumentation der MS-Komponenten bereitgestellt:

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30

- Stückprüfprotokoll des MS-Transformators gemäß IEC 60076-1 im vom Hersteller definiertem Format inklusive Zeichnung und Datenblatt
- Stückprüfprotokoll der MS-Schaltanlage gemäß IEC 62271-200 im vom Hersteller definiertem Format
- einpoliges Ersatzschaltbild der MS-Schaltanlage
- Datenblatt der MS-Schaltanlage
- Stückprüfprotokoll des MS-Kabels gemäß gemäß IEC 60502-2 Teil 16 und DIN VDE 0298 Teil 3 im vom Hersteller definierten Format

5 Optionale Konfiguration

ENERCON bietet neben der Standardausführung der MS-Komponenten verschiedene technische Optionen an, die projekt- und kundenspezifisch gewählt werden können.

Neben den Mehrpreisen für projektspezifische Optionen ist vor allem die Lieferzeit der MS-Komponente zu berücksichtigen. Mögliche länderspezifische Anforderungen sind im Standardlieferumfang nicht berücksichtigt. Änderungen zum Standardlieferumfang müssen 12 Monate vor Anlieferung der WEA auf der Baustelle schriftlich fixiert sein. Das betrifft auch vom Standard abweichende FATs, SATs, Kundenaudits sowie zusätzliche Dokumentation.

5.1 Optionen für den MS-Transformator der WEA

Tab. 3: Technische Daten: Optionaler Lieferumfang MS-Transformator

Nr.	Merkmal	Wert	Verfügbarkeit
1	Typ	Step-Up-Transformator für WEA	Standard
2	Betriebsart	Dauerbetrieb	Standard
3	Schallleistungspegel [dB]	≤ 78	Standard
4	Umgebungstemperatur [°C]	Normal climate -25 bis +50	Standard
4.1		Cold climate -40 bis +50	Option
5	Bemessungsleistung [kVA]	7100	Standard (FT/ FTS)
5.1		7100	Option (FTQ/ FTQS)
6	Schaltgruppe	Dyn5	Standard
6.1		Dyn11	Option
6.2		YNyn0	Option
6.3		YNyn0 mit Kompensation (d) Wicklung	Option
6.4		Variiert	Option
7	Anzapfung OS [%] (Stufenumsteller für spannungsfreie Betätigung)	+4 x 2,5	Standard
7.1		+/-2 x 2,5	Option
7.2		Variiert	Option

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2024-10-29 12:30

Nr.	Merkmal	Wert	Verfügbarkeit
8	Frequenz [Hz]	50	Standard
8.1		60	Option
9	Oberspannung [kV]	20	Standard
9.1		-	-
9.2		-	-
9.3		15 - 19,9 (Um = 24)	Option
9.4		20 - 22 (Um = 24)	Option
9.5		22,1 - 33 (Um = 36)	Option
9.6		33,1 - 36 (Um = 42)	Option
10	Isolationspegel HS [kV]	Um = 24 (LI/AC 125/50)	Standard
10.1		-	-
10.2		Um = 36 (LI/AC 170/70)	Option
10.3		Um = 42 (LI/AC 200/80)	Option
11	Niederspannung [V]	750	Standard
12	Einschaltstrom	Ipmax ≤ 6,5 × Ir × √2	Standard
12.1		Variiert	Option
13	Max. Aufstellhöhe über NHN [m]	1000	Standard
13.1		Variiert	Option
14	Kurzschlussimpedanz [%]	9,0 (Toleranz ± 10)	Standard
14.1		Variiert	Option
15	Kurzschlussverluste	Verordnung (EU) Nr. 2019/1783 ((Ecodesign Anforderungen für Leistungstransformatoren Tier 2) und DIN EN 50708	Standard
15.1		Variiert	Option
16	Leerlaufverluste	Verordnung (EU) Nr. 2019/1783 (Ecodesign Anforderungen für Leistungstransformatoren Tier 2) und DIN EN 50708	Standard
16.1		Variiert	Option
17	Gemäß Norm verbaut und geprüft	IEC	Standard
17.1		UL/CSA	Option

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30

5.2 Optionen für die MS-Schaltanlage

Tab. 4: Technische Daten: Optionaler Lieferumfang MS-Schaltanlage

Nr.	Merkmal	Wert	Verfügbarkeit
1	Gasisolierung	SF6/SF6-frei*	Standard
1.1		SF6-frei	Option
2	Trafofeld Typ (für Schutz und Abschaltung WEA)	Leistungsschalter mit Trenn- und Erdungsschalter	Standard
2.1		-	-
3	Trafofeld Anzahl	1	Standard
3.1		-	-
4	Kabelfeld Typ (für Anschluss Windparkverkabelung)	Kabelanschluss mit Erdungsschalter*	Standard
4.1		Lasttrennschalter mit Erdungsschalter	Option
5	Kabelfeld Anzahl	1**	Standard
5.1		2 (Machbarkeit prüfen)	Option
5.2		3 (Machbarkeit prüfen)	Option
6	Bemessungsspannung gemäß IEC 62271-1 [kV] (maximal erreichbare Werte der Netzspannung U_r)	24	Standard
6.1		36	Option
6.2		38	Option
6.3		40,5	Option
7	Bemessungskurzzeitstrom I_k" [kA], 1 s	≥ 16	Standard
7.1		20	Option
7.2		25	Option
8	Bemessungsstrom der Sammelschiene [A]	630	Standard
8.1		800 (Machbarkeit prüfen)	Option
9	Bemessungsfrequenz [Hz]	50	Standard
9.1		60	Option
10	Trafofeld Schutztyp	I>, I>> UMZ (ANSI 50) Ie> UMZ (ANSI 50N) (mittels Schutzgerät)	Standard
10.1		-	-
11	Aufgebaut und geprüft gemäß Norm	IEC	Standard
11.1		UL/CSA	Option
11.2		ENA	Option
12	MS-Durchführung Typ (für Stecker Windparkverkabelung)	Typ C gemäß DIN EN 50181	Standard
12.1		IEEE 386-2016 (Bild 15, Schnittstelle 13)	Option
13	Maximale Betriebshöhe [m]	1000	Standard
13.1		Mehr als 1000 (Machbarkeit prüfen)	Option

Technische Änderungen vorbehalten.
Freigabe: 2024-10-29 12:30

Nr.	Merkmal	Wert	Verfügbarkeit
14	Maximale Umgebungstemperatur im Betrieb [°C]	40	Standard
14.1		Mehr als 40 (Machbarkeit prüfen)	Option
15	Minimale Umgebungstemperatur im Betrieb [°C]	-5	Standard
15.1		-25	Option
15.2		Weniger als -25 (Machbarkeit prüfen)	Option
16	Automatic Reclosing System (ARS)	Nein	Standard
16.1		Ja	Option
17	Vorbereitet für Smart Energise Option (Auswahl des Systems über Produktlinie; Voraussetzung: ARS)	Nein	Standard
17.1		Ja	Option
18	Vorbereitet für Schlüsselverriegelung zwischen Schaltfelder (exkl. Schließzylinder)	Nein	Standard
18.1		i01: Vorbereitung zur Installation einer Schlüsselverriegelung im Lasttrennschalter und Erdungsschalter der Kabelfelder	Option
18.2		-	-
19	MS-Messung in den Schaltanlagen (zusätzliche Strom- und Spannungswandler für Energiemessung)	Nein	Standard
19.1		Ja (Machbarkeit prüfen)	Option
20	Maximaler Kabelquerschnitt für Anschluss im Kabelfeld [mm²]	500 (MS-Kabelaußendurchmesser ≤ 52 mm)	Standard
20.1		mehr als 500 (Machbarkeit prüfen)	Option
20.2		≤ 500 + ≤ 240 (Huckepack-Kabelfeldtiefe max. 300 mm)	Option
21	Überspannungsableiter Anschlussmöglichkeit	Nein	Standard
21.1		Ja (Huckepack, max. Kabelfeldtiefe 300 mm, Machbarkeit prüfen)	Option
22	Bereitstellung von Schaltkontakten zur Meldung vom Schaltstatus der jeweiligen Kabelfelder	Nein	Standard
22.1		Trafofeld	Option
22.2		Kabelfeld	Option

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30

Nr.	Merkmal	Wert	Verfügbarkeit
** Gemäß der* Verordnung 2024/573 *des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Februar 2024 über fluorierte Treibhausgase ist die Inbetriebnahme von* SF_6*-Schaltanlagen mit folgenden Bemessungsspannungen verboten:* *≤ 24kV: ab 01.01.2026* *> 24 kV ≤ 52 kV: ab 01.01.2030* *Bis zum Inkrafttreten des Verbots ist die Inbetriebnahme von* SF_6*-Schaltanlagen noch gestattet und bleibt weiterhin als Standard definiert. Mit Inkrafttreten des Verbots wird die* SF_6*-freie Schaltanlage als Standard definiert.* *** Abhängig von Lagerbestand wird evtl. ein Lasttrennschalter mit Erdungsschalter und/ oder mehrere Kabelfelder bereitgestellt.* *Bei zwingender Standardkonfiguration (siehe oben) ist der EWM unmittelbar nach Vertragsschluss zu informieren.*			

Technische Änderungen vorbehalten.

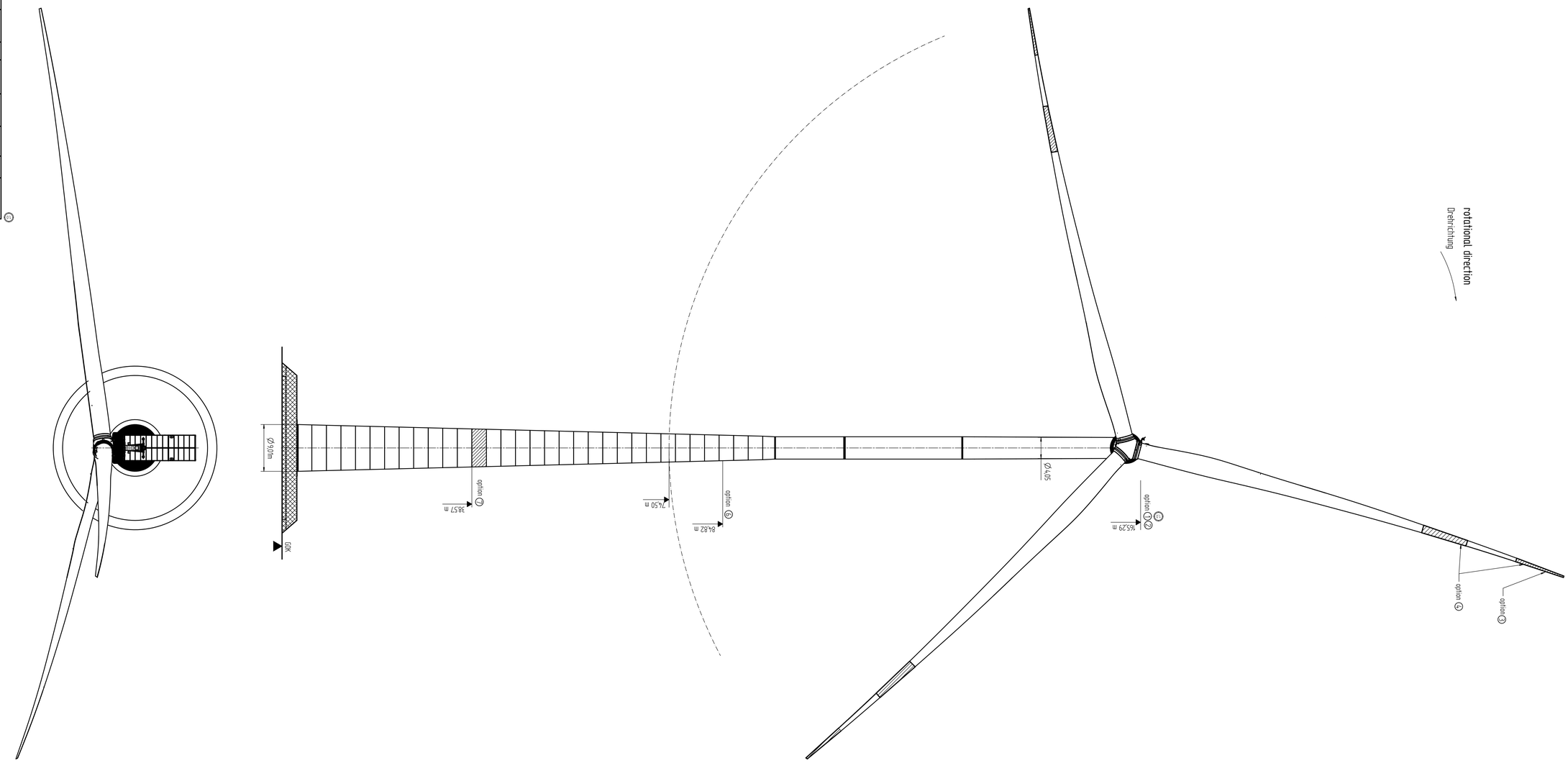
Freigabe: 2024-10-29 12:30

Fachwortverzeichnis

Automatic Reclosing System	Zeitlich gestaffelte, akkugepufferte automatische Wiedereinschaltung, über die der Mittelspannungstransformator der Windenergieanlage nach einem Spannungsausfall wieder zugeschaltet werden kann.
Smart Energise	Funktion, mit der der Einschaltstrom des Transformators reduziert werden kann, um Spannungseinbrüche am Netzanschlusspunkt zu verhindern. Vor der Zuschaltung wirkt kurzzeitig ein niedriger Gleichstrom auf den Transformator. Dieser Vorgang erzeugt den gewünschten Remanenzfluss.

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 2024-10-29 12:30



Subject to technical change without prior notice
Technische Änderungen vorbehalten

rev	Change	Date	Name
2			
1	Drawing updated	09.01.2023	HBUS

Fundament

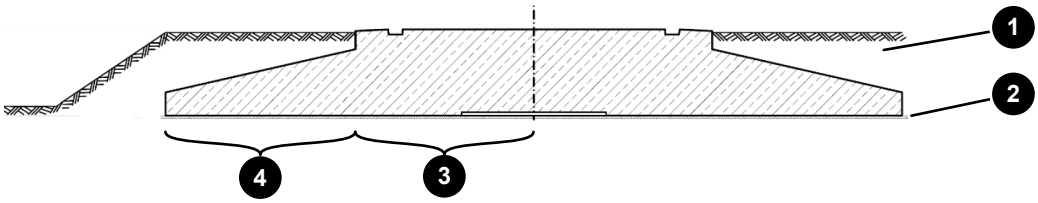


Abb. 1: Fundamentschnitt mit Aufschüttung

1	Bodenaufschüttung	2	Sauberkeitsschicht
3	Sockel	4	Sporn

Das Fundament besteht aus einem kreisringförmigen Sporn mit innenliegendem Sockel, der als Auflager für den Turm dient. Das Fundament wird aus Stahlbeton hergestellt. In der Sockelmitte befindet sich ein Bereich ohne statisch relevante Bewehrung, der als Leerrohrdurchführung dient.

Der Außendurchmesser des Sporns beträgt bei der Flachgründung 25,50 m und bei der Tiefgründung 24,00 m. Der Außendurchmesser des Sockels beträgt 11,88 m.

Für dieses Fundament ist ein Grundwasserstand bis zur Geländeoberkante zulässig.

Turm

Der Hybridturm (HT) besteht aus 33 Betonsegmenten und 3 Stahlsektionen. Die Betonsegmente werden mit Spannlitzen verbunden. Die Stahlsektionen sind Stahlrohre, die mit Einbauten vorausgerüstet geliefert und über Ringflansche verschraubt werden.

Die Gesamthöhe des Turms beträgt 157,97 m ab Fundamentoberkante. Der Durchmesser beträgt am Turmfuß 9,01 m und am Turmkopfflansch 4,04 m.

Der Aufstieg im Turm erfolgt über eine Sicherheitssteigleiter in Kombination mit einer Steigschutzeinrichtung gemäß DIN EN ISO 14122-4:2016. Zwischen der Eingangsebene und dem oberen Ende des Turms sind Podeste angeordnet. Diese Podeste dienen als feste Arbeitsbühne sowie als Ruhebühne beim Auf- und Abstieg. Zusätzlich wird eine leitergeführte Aufstiegshilfe (Nutzlast mindestens 240 kg) nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG eingebaut.

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. Die Turmeingangstür kann von innen jederzeit ohne Schlüssel und Werkzeug geöffnet werden. Der Zutritt von außen ist nur mit Schlüssel möglich.

Genauere Angaben zum Turm und zu den Fundamentvarianten sind in den jeweiligen Datenblättern und Zeichnungen enthalten.

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Freigabe: 2023-10-04 10:16

Tab. 1: Höhen, Bauart / Heights, type

Parameter	Wert / Value
Gesamthöhe ab Geländeoberkante / Total height above ground level	249,5 m
Nabenhöhe ab Geländeoberkante / Hub height above ground level	162,00 m
Nabenhöhe ab Fundamentoberkante / Hub height above foundation top edge	159,82 m
Turmhöhe ab Fundamentoberkante / Tower height above foundation top edge	157,97 m
Anzahl der Stahlsektionen / Number of steel sections	3
Anzahl der Betonsegmente / Number of concrete segments	33
Bauart / Type	Hybridturm / Hybrid tower

Tab. 2: Maße und Gewichte / Dimensions and weights

	Länge / Length in m	Durchmesser / Diameter in m		Gewicht / Weight in t
		Oben / Top	Unten / Bottom	
Stahlsektion / Steel section 1	29,96 m	4,03 m	4,30 m	65
Stahlsektion / Steel section 2	22,68 m	4,30 m	4,30 m	63
Stahlsektion / Steel section 3	13,44 m	4,30 m	4,30 m	55
Betonsegmente / Concrete segments	91,89 m	4,53 m	9,01 m	1421

© ENERCON GmbH. All rights reserved.

Released: 2023-10-12 12:25

Technische Spezifikation

Zuwegung und Baustellenflächen

ENERCON Windenergieanlage

E-175 EP5 162 m Hybridturm

Technische Änderungen vorbehalten.

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Herausgeber

ENERCON Global 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: Uwe Eberhardt, Ulrich Schulze Südhoff
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 202549
Ust.Id.-Nr.: DE285537483

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 Global GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON Global 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 Global 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 Global 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 Global 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.

Technische Änderungen vorbehalten.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D02776932/6.1-de
Vermerk	Originaldokument
Vertraulichkeit	NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2024-09-27	de	EC	ENERCON Global GmbH / Site Logistics & Processes

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
DIN 18134	Baugrund - Versuche und Versuchsgeräte - Plattendruckversuch
DIN 4017	Baugrund - Berechnung des Grundbruchwiderstands von Flachgründungen
DIN 4019:2015	Baugrund - Setzungsberechnungen

Zugehörige Dokumente

Dokument-ID	Dokument
D02108591	Baustellenordnung
D02768819	Anforderungen Zusatzbelastung Fundamentanschüttung und Fundamentauflast für Servicetätigkeiten

Technische Änderungen vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 7

2 Montage der WEA ... 8
2.1 Anlieferung des Turms und der Anlagenkomponenten ... 8
2.2 Montage des Turms ... 8
2.3 Montage der Gondel ... 8

3 Krantechnik ... 9
3.1 Eingesetzte Krantechnik ... 9
3.2 Aufbau des Krans mit Gittermast ... 9

4 Transport und Logistik ... 10
4.1 Generelles ... 10
4.2 Aufbau- und Logistikkonzept ... 10
4.3 Einsatz SPMT ... 10

5 Zuwegung ... 11
5.1 Trassierung ... 11
5.1.1 Kreuzungs- und Kurvenbereiche ... 13
5.1.2 Kuppen, Wannen und Steigungen ... 14
5.1.3 Lichtraumprofil ... 15
5.2 Aufbau der Zuwegung ... 16
5.2.1 Seitliches Gefälle: Scheitel und Überhöhung ... 17
5.2.2 Klassifizierung der Straßen ... 18
5.2.3 Anforderungen ... 19
5.2.4 Untergrund und Oberbau ... 19
5.2.4.1 Verdichtungs- und Tragfähigkeitsanforderungen ... 20
5.2.4.2 Untergrund und Erdreich ... 21
5.2.4.3 Tragschicht ... 21
5.2.4.4 Deckschicht ... 22

6 Baustellenflächen und Fundament ... 23
6.1 Arbeitsbereich am WEA-Standort ... 23
6.1.1 Generelles ... 23
6.1.2 Fundament ... 24
6.1.3 Baufläche ... 26
6.1.3.1 Material ... 27
6.1.3.2 Baugrund und Erdreich ... 27
6.1.3.3 Kranstellfläche ... 28
6.1.3.4 Montagefläche ... 29
6.1.3.5 Lagerfläche ... 30

Technische Änderungen vorbehalten.

6.1.3.6 Arbeitsebene (falls erforderlich) 31
6.1.4 Rodungs- und Sicherheitsbereich 32
6.2 Kranauslegermontagefläche 33
6.3 Alternative Baufläche 34

7 Zentrale Anlaufstelle 36

8 Zugang für Servicefahrzeuge nach Inbetriebnahme 37

Technische Änderungen vorbehalten.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen

CM	Construction Manager (Gesamtbauleiter)
GOK	Geländeoberkante
GPM	General Project Manager (Gesamtprojektleiter)
GST	Großraum- und Schwertransport
SPMT	Self-Propelled Modular Transporter (selbstangetriebene Transporter)
WEA	Windenergieanlage

Größen, Einheiten, Formeln

D_{Pr}	Verdichtungsgrad nach Proctorversuch
E_{V1}	Errechneter Verformungsmodul des ersten Belastungszyklus eines statischen Plattendruckversuchs
E_{V2}	Errechneter Verformungsmodul des zweiten Belastungszyklus eines statischen Plattendruckversuchs

Technische Änderungen vorbehalten.

1 Einleitung

Sorgfältige Planung und Ausführung der Baustelleninfrastruktur sind die Basis für die wirtschaftliche Abwicklung der Baustelle. Die Transportwege und Baustellenflächen im Windpark müssen einen sicheren und wirtschaftlichen Baustellenverkehr gewährleisten. Eine störungsfreie Funktionalität ist über den gesamten Nutzungszeitraum sicherzustellen.

Abweichungen aus dieser Spezifikation können sich auf das Aufbau- und Logistikkonzept auswirken. Dies führt zu Mehrkosten, längeren Bauzeiten und ggf. Verzögerungen im Projektverlauf. Sollte es zu Abweichungen von den hier beschriebenen Standards kommen, sind diese mit dem ENERCON GPM abzustimmen. Für Standards aus dieser Spezifikation, die aus topografischen Gründen ggf. nicht umsetzbar sind, kann eine Alternativlösung von ENERCON angeboten werden. Diese ist über den ENERCON GPM zu beauftragen. Die daraus entstehenden Mehrkosten gehen zu Lasten des Auftraggebers.

Diese Spezifikation gilt für den Transport sowie Aufbau mit einem Standard-Großkran einer WEA mit der Turmbezeichnung:

- E-175 EP5-HT-162-ES-C-01

Diese Spezifikation beschreibt die Anforderungen an Zuwegung und Baustellenflächen für die Windparkinfrastruktur. Neben diesen Informationen müssen auch die folgenden Dokumente in die Planung einbezogen werden.

- Fundamentdatenblatt der zutreffenden Gründungsvariante des Turmtyps
- Technische Beschreibung des Turmtyps
- Datenblätter zu Gewichten und Abmessungen des Turmtyps, der Gondel und der Rotorblätter
- D02108591 „Baustellenordnung“
- D02768819 „Anforderungen Zusatzbelastung Fundamentanschüttung und Fundamentauflast für Servicetätigkeiten“

Technische Änderungen vorbehalten.

2 Montage der WEA

Der Aufbau der WEA erfolgt in mehreren Abschnitten: Fundamentbau, ggf. Tiefgründung und Aufbau und Montage des Turms und der Gondel. Um wirtschaftlich zu handeln und die Fertigstellung der WEA in möglichst kurzer Zeit zu realisieren, werden je nach Windparkgröße projektbezogene Aufbaukonzepte entwickelt. Somit können die Arbeitsschritte, wie in den folgenden Unterkapiteln beschrieben, im Windpark parallel durchgeführt werden.

2.1 Anlieferung des Turms und der Anlagenkomponenten

Die Anlieferung erfolgt abhängig vom Aufbaukonzept auf die dafür vorgesehene Baustellenfläche. Der Turm und die Anlagenkomponenten werden vorab geliefert. Die Lagerung erfolgt nach einem festgelegten Stauplan. Die benötigten Flächen sind exakt nach dieser Spezifikation zu dimensionieren und zu errichten.

2.2 Montage des Turms

Abhängig von Turmtyp und Aufbaukonzept kann die Montage auf verschiedene Arten erfolgen. Je nach Turmtyp kann ggf. eine Vormontage nötig sein, die in einem separaten Gewerk direkt auf der vorgesehenen Stellfläche durchgeführt wird. Die vormontierten Sektionen werden auf der Baufläche zwischengelagert oder direkt nach der Vormontage montiert. Die Turmmontage erfolgt je nach Aufbaukonzept und Turm mit geeigneter Krantechnik.

2.3 Montage der Gondel

Die Gondelkomponenten werden direkt zu den vorgesehenen Stellflächen (z. B. Montagefläche) geliefert. Nach Abschluss der Vormontage wird die vormontierte Gondel mit der vorgesehenen Krantechnik eingehoben und auf dem Turm montiert.

Technische Änderungen vorbehalten.

3 Krantechnik

3.1 Eingesetzte Krantechnik

Die Auswahl der jeweiligen Krantypen erfolgt bei der Planung des Windparkkonzepts. Die max. zulässige Bodenpressung unterhalb der Kranketten bzw. Kranpratzen wird mit Lastverteilungsplatten begrenzt und ist durch geotechnische Berechnungen nachzuweisen. Beim Einsatz von Raupenkrantechnik ist es u. a. möglich, eingerüstet von Standort zu Standort zu fahren. Dazu müssen vorab auf der Krantrasse die Tragfähigkeit des Bodens und das Lichtraumprofil geprüft werden.

3.2 Aufbau des Krans mit Gittermast

Zur Anlagenerrichtung wird ein Kran mit Gittermast verwendet. Diese Krantechnik stellt besondere Anforderungen an die Kranstellfläche und benötigt ausreichend Platz zur Gittermastmontage. Das Grundgerät und die einzelnen Kranteile (z. B. Gittermaststücke, Ballast, Anbauteile) werden in der benötigten Anzahl von LKW-Transporten in den Windpark geliefert. Die Anzahl der LKW-Transporte ist abhängig von Krantyp und Mastlänge. Der Aufbau des Krans mit Gittermast erfolgt in folgenden Einzelschritten:

- Anlieferung des Grundgeräts inklusive Hilfskrane
- Ausrichtung des Grundgeräts auf der Kranstellfläche
- Positionierung Superlift-Ballast
- Gittermastmontage

Für die Gittermastmontage wird die vorhandene Zuwegung zur Kranstellfläche genutzt. Ist diese nicht nutzbar, ist eine temporäre Behelfsstraße erforderlich. Die technischen Rahmenbedingungen zur Kran- und Auslegermontage werden in diesem Dokument erläutert.

Technische Änderungen vorbehalten.

4 Transport und Logistik

4.1 Generelles

Für den Aufbau einer WEA wird eine große Anzahl an Schwertransporten benötigt. Diese Schwertransporte werden für die Anlieferung der Turm- und Anlagenkomponenten, der Krantechnik, für Baugrundverbesserungsmaßnahmen und für den Fundamentbau nötig. Diese zum Teil genehmigungspflichtigen Schwertransporte unterliegen länderspezifischen und behördlichen Regelungen. Die daraus resultierenden max. Transportgewichte und Achslasten sind zu berücksichtigen.

4.2 Aufbau- und Logistikkonzept

Für größere Windparks, aber auch für WEA an Standorten mit besonderen Anforderungen (z. B. Industriegelände, Deichstandorte, Bergstandorte), werden spezielle Aufbau- und Logistikkonzepte angewendet. Um eine optimale Projektabwicklung zu ermöglichen, sind die örtlichen Gegebenheiten direkt in das Konzept einzubinden. Je nach WEA-Typ, Aufbau- und Logistikkonzept werden zusätzliche Flächen benötigt z. B. eine Logistikfläche und/oder Rotorblattlagerfläche. Die logistischen Mehrkosten trägt der Auftraggeber. Vertraglich vereinbarte Termine müssen ggf. vom Auftragnehmer angepasst werden.

4.3 Einsatz SPMT

Kommt ein SPMT zum Einsatz, kann es je nach Komponente und Anlagenplattform in folgenden Bereichen zu Änderungen kommen:

- Fahrbahnbreite
- Lichtraumprofil
- Kurvenradien und Überschwenkbereiche
- Seitliches Gefälle auf Geraden und in Kurven

Diese Punkte müssen dann mit ENERCON und dem Transportdienstleister abgestimmt werden.

Technische Änderungen vorbehalten.

5 Zuwegung

Die Zuwegung innerhalb des Windparks ist ein integraler Bestandteil zur Versorgung der jeweiligen WEA-Standorte mit Material. Weiterhin gewährleistet die Zuwegung die Kranbewegungen im Windpark. Die Zuwegung dient über den gesamten Projektverlauf als Zufahrt für alle Transportarten. Daneben wird die Zuwegung auch für den Service und den Rückbau der WEA benötigt. Das Zuwegungs- und Baustellenflächenkonzept sowie die Bauausführung werden entsprechend dieser Spezifikation ausgelegt.

5.1 Trassierung

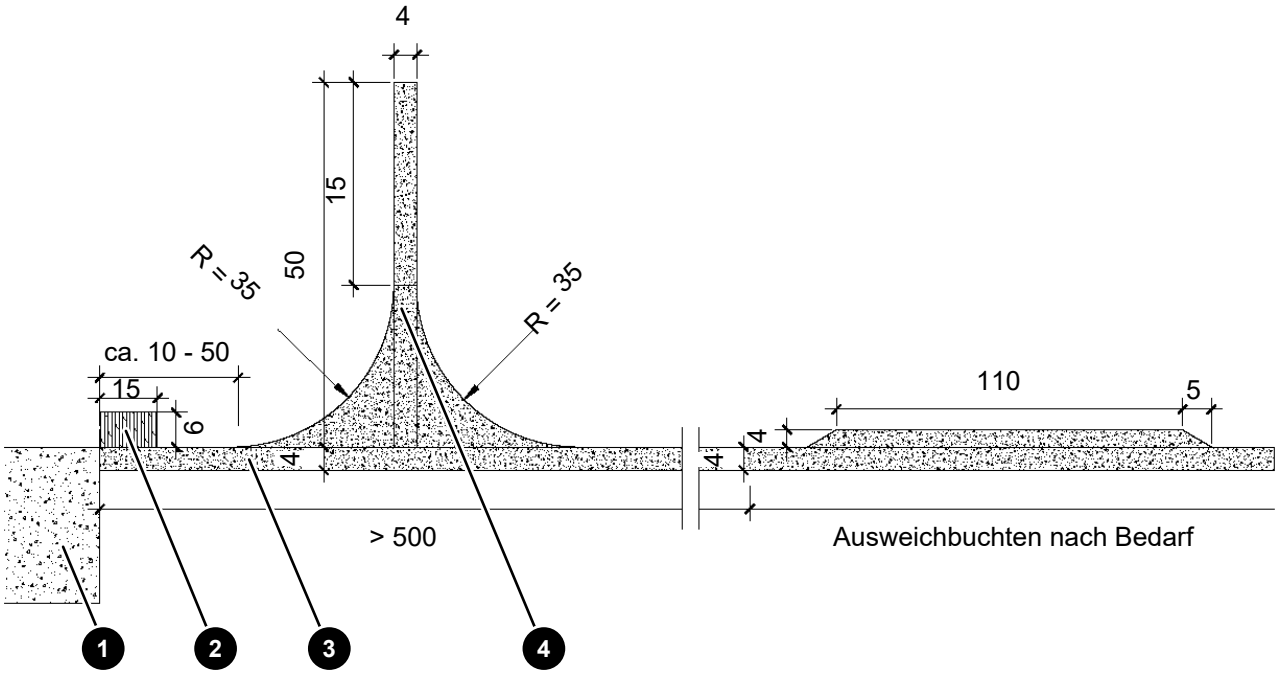


Abb. 1: Trassierungselemente (alle Maßangaben in Meter)

1	Kranstellfläche	2	Parkfläche
3	Zuwegung	4	Wendefläche

Der Einsatz von Groß- und Schwerlasttransporten stellt besondere Anforderungen an die interne Windparkzuwegung, an Kreuzungs- und Kurvenbereiche, die Windparkeinfahrten und die öffentlichen Straßen.

Trassierungselemente

Größtenteils werden zur Komponentenanlieferung Transportkombinationen mit Überbreite und hohem Gesamtgewicht eingesetzt. Aufgrund des enormen Transportaufwands und der Transportkosten wird die Trassierung der windparkinternen Zuwegungen kurz und geradlinig geplant. Die Streckenführung wird so gewählt, dass ein Rückwärtsfahren von Schwertransporten im beladenen Zustand vermieden wird. Befinden sich WEA-Standorte in einer Sackgassenlage, deren Zuwegung eine Länge von 500 m überschreitet, werden diese mit einer Wendefläche für Leertransporte versehen. Die Wendefläche hat eine Länge von min. 50 m. Je nach Örtlichkeit können Wendeflächen

Technische Änderungen vorbehalten.

auch in kürzeren Abständen (unter 500 m) nötig sein. Diese Notwendigkeit wird durch den ENERCON GPM festgelegt. Auf längeren Zuwegungen werden Ausweichmöglichkeiten bzw. Parkbuchten in ausreichender Anzahl und Länge in Absprache mit dem ENERCON GPM eingeplant, um fließenden Verkehr und freie Rettungswege zu gewährleisten.

Windparkeinfahrt

Bei Windparkeinfahrten von öffentlichen Straßen ist es empfehlenswert, die ersten 50 m der Einfahrt zu asphaltieren. Somit wird eine Reifenselbstreinigung des Baustellenverkehrs ermöglicht. Je nach Anzahl der Zufahrten zum Windpark und der Anzahl der in den Park einfahrenden LKW können auch andere Optionen, wie Radwaschanlagen, geprüft werden. Die Notwendigkeit ist abhängig von den örtlichen Gegebenheiten in Absprache mit dem ENERCON GPM zu prüfen. Behördliche Vorgaben müssen beachtet werden.

Parkplätze für Langtransporte

Im Windpark oder in unmittelbarer Nähe müssen eine oder mehrere Flächen ausgewiesen werden, auf denen min. 3 Langtransporte zwischengeparkt werden können. Damit wird gewährleistet, dass wartende Transportfahrzeuge den übrigen Baustellenverkehr nicht behindern. Zu den Langtransporten zählen Transporte von Rotorblättern oder Stahlsektionen von Türmen. Als Flächen eignen sich z. B. Ausweichbuchten.

Hindernisse im Trassenverlauf

Sind im Trassenverlauf besondere Hindernisse zu queren, werden diese für den überlaufenden Verkehr deutlich sichtbar gemacht. Bei Überquerungen von Leitungen (z. B. Pipelines, Gasleitungen) erfolgt vorab eine Untersuchung zur Überfahrbarkeit. Das Untersuchungsergebnis wird dem ENERCON GPM zur Einsicht vorgelegt. Ebenfalls wird eine Genehmigung vom Leitungsbetreiber für das Überfahren eingeholt. Leitungen sind durch spezielle Überbauten konstruktiv zu sichern. Um einen Kontakt mit dem Baustellenverkehr zu vermeiden, werden unterquerte Freileitungen deutlich mit Höhenbegrenzungsmarkierungen gekennzeichnet (z. B. durch Holzgestelle).

Technische Änderungen vorbehalten.

5.1.1 Kreuzungs- und Kurvenbereiche

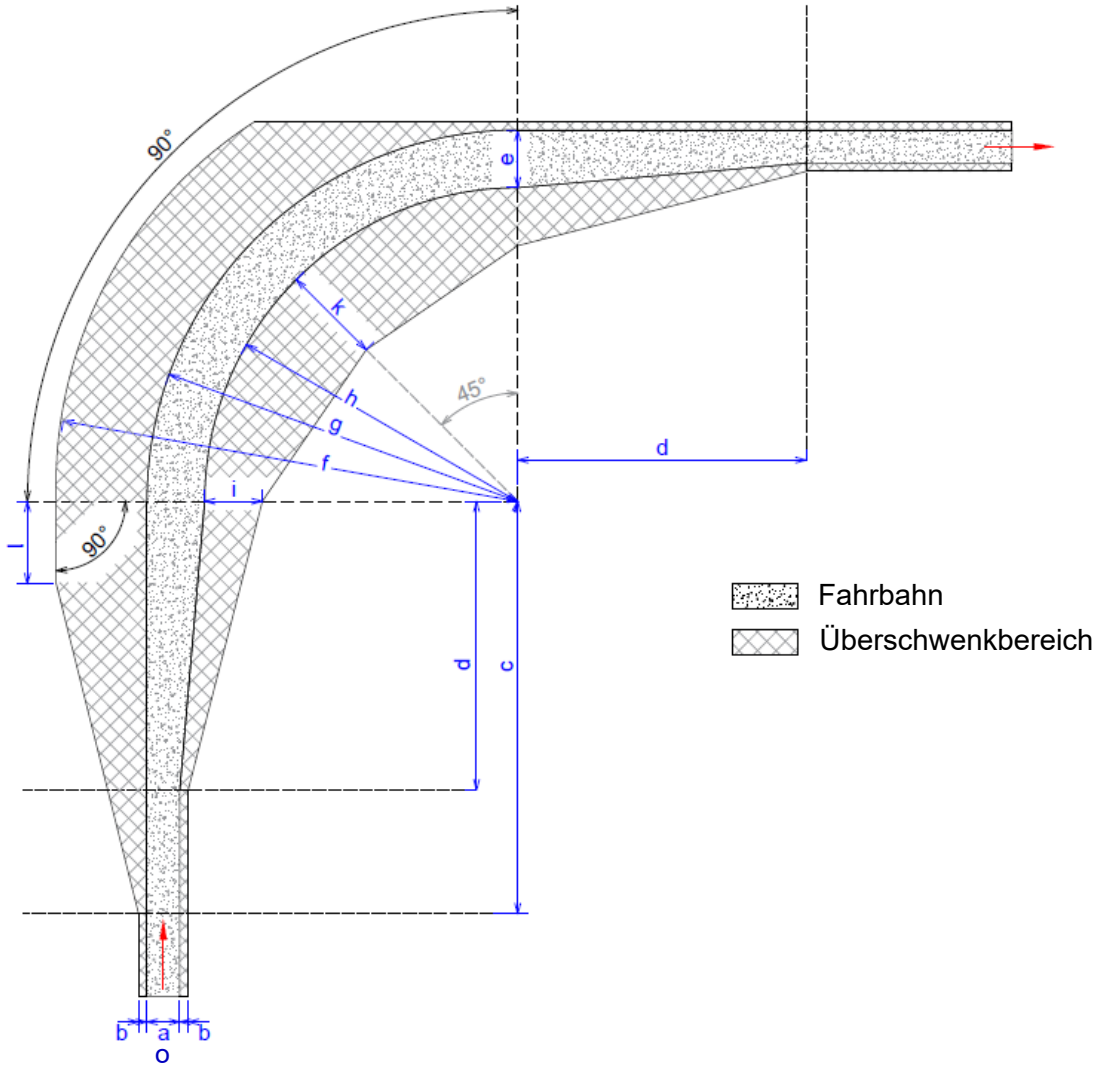


Abb. 2: 90-Grad-Kurve (Konstruktionsschema)

	90-Grad-Kurve	60-Grad-Kurve			90-Grad-Kurve	60-Grad-Kurve	
a	4 m		Befahrbare Breite der Fahrbahn auf Geraden	b	1,5 m		Seitlicher Überschwenkbereich inkl. Sicherheitsabstand
c	60 m		Start Kurveneinfahrt äußerer Überschwenkbereich	d	40 m		Start Kurveneinfahrt innerer Überschwenkbereich
e	7 m		Befahrbare Breite der Fahrbahn in Kurven	f	70 m	69 m	Außenradius äußerer Überschwenkbereich
g	60 m	60 m	Kurvenaußenradius	h	53 m	53 m	Kurveninnenradius
i	7 m	7 m	Maß 1 innerer Überschwenkbereich	k	13 m	12 m	Maß 2 innerer Überschwenkbereich
l	10 m	10 m	Maß 3 äußerer Überschwenkbereich	o	4,5 m		Befahrbare Breite der Fahrbahn auf Geraden bei Einsatz von SPMT

Technische Änderungen vorbehalten.

Maßgebend für die Dimensionierung der Kurven ist die längste Transportkombination. Die Kurven und Überschwenkbereiche werden gemäß den in der Zeichnung angegebenen Maßen konstruktiv realisiert. Wenn diese Vorgabe aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht eingehalten werden kann, muss zwingend mit dem ENERCON GPM Rücksprache über eine Alternativlösung gehalten werden.

Überschwenkbereiche

Transportkombinationen mit Tiefbett und/oder ausschwenkender Ladung müssen Kurven problemlos durchfahren können. Dazu müssen Hindernisse in den Überschwenkbereichen entfernt werden, wenn diese Hindernisse eine bestimmte Höhe überschreiten.

- Hindernisse im inneren Überschwenkbereich dürfen max. 0,15 m über das Niveau der Fahrbahn ragen.
- Hindernisse im äußeren Überschwenkbereich dürfen max. 1,25 m über das Niveau der Fahrbahn ragen.

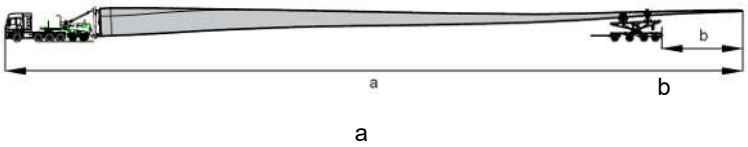


Abb. 3: Blatttransport Überhang

a	100 m	b	10 m

5.1.2 Kuppen, Wannen und Steigungen

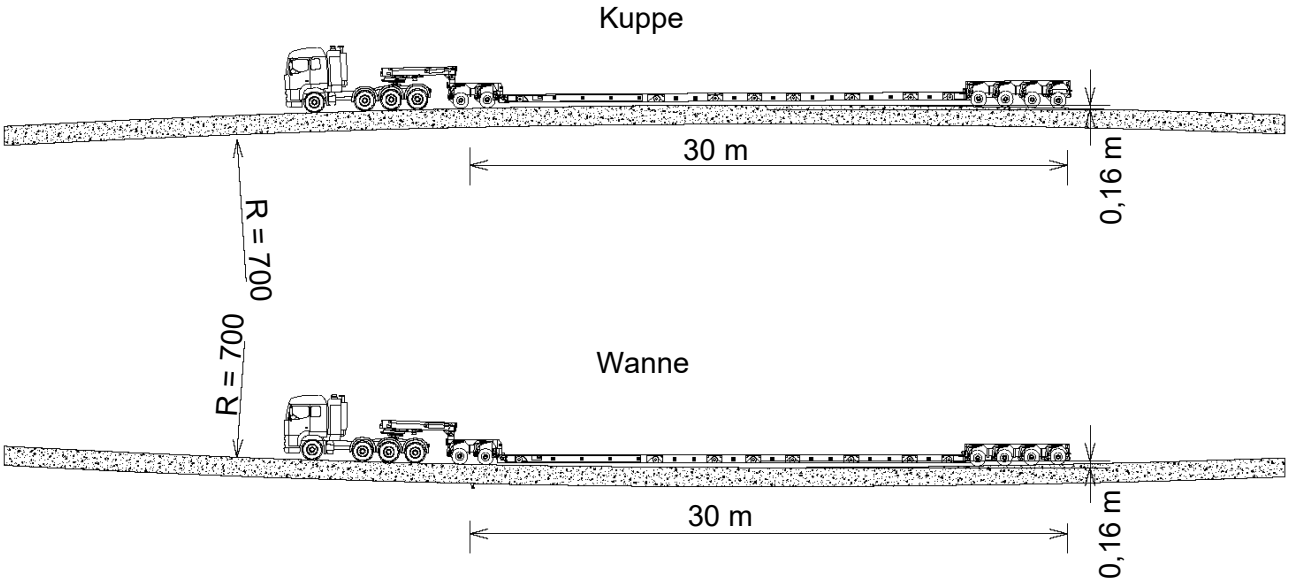


Abb. 4: Kuppe und Wanne, R = 700 m

Für die Komponentenanlieferung werden Fahrzeuge mit einer Gesamtlänge von bis zu 100 m eingesetzt. Für diese überlangen Transportkombinationen dürfen die Zuwegungen einen Kuppen- und Wannenhalbmesser von 700 m nicht unterschreiten. Somit wird ein Aufsetzen verhindert z. B. bei Tiefbett-Transportkombination.

Technische Änderungen vorbehalten.

In speziellen Fällen kann der Radius auf R = 400 m verkleinert werden. Dies erfordert jedoch den Einsatz spezieller Transportkombinationen, die das Tiefbett auf eine Höhe von min. 45 cm anheben können. Der R = 400 m entspricht einer Überhöhung (Kuppe) bzw. einer Absenkung (Wanne) von 0,26 m auf einer Länge von 30 m.

Steigungen bzw. Gefälle

Steigungen bzw. Gefälle auf der Zuwegung können nur bis zu einer max. Steigung von ≤ 12 % durch GST bewältigt werden. Ab einer Steigung von 7 % wird eine gebundene Deckschicht (z. B. Asphalt, Beton) verbaut. Dadurch wird eine kraftschlüssige Traktion der Transportfahrzeuge ermöglicht. Im Einzelfall können Zughilfen erforderlich sein (Standorte im Hügelland, Gebirge). Dies wird vorab im Detail mit dem ENERCON GPM geklärt. Der ENERCON GPM muss die wirtschaftlichen und terminlichen Auswirkungen bewerten, die vom Auftraggeber zu tragen sind.

In Kurven mit Steigungen > 7 % muss die Fahrbahnbreite an die Gegebenheiten vor Ort angepasst werden. Dies ist bei der Planung zu berücksichtigen und muss durch ENERCON geprüft und freigegeben werden.

Bei der Planung der Zuwegung im Bereich Kurven und Kreuzungen mit Steigungen und Gefälle ist darauf zu achten, dass die Torsion zwischen Zugfahrzeug und Auflieger bzw. Nachläufer ≤ 5 % liegt.

Tab. 1: Anforderungen an das Längsprofil der Zuwegung

Parameter	Anforderung
Steigungen/Gefälle bei ungebundener Deckschicht	≤ 7 %
Steigungen/Gefälle bei gebundener Deckschicht	≤ 12 %
Bodenfreiheit der Transportfahrzeuge	0,10 m
Radius Bergkuppe/Talsohle	700 m

5.1.3 Lichtraumprofil

Für die GST muss ein bestimmtes Lichtraumprofil oberhalb der Zuwegung vorhanden sein. Mit der Einhaltung dieses Lichtraumprofils wird die ungehinderte Durchfahrt aller Transporte auf der Zuwegung sichergestellt. Dieser Bereich muss während der Baumaßnahmen frei von Hindernissen aller Art gehalten werden (z. B. von Bauwerken, Versorgungsleitungen, Masten, Bäumen und Ästen).

Das Lichtraumprofil kann je nach Land, Fahrzeugtechnik oder Anlieferungskonzept variieren. Sollte das vorgegebene Lichtraumprofil nicht umsetzbar sein, ist Rücksprache mit dem ENERCON GPM über eine Alternativlösung zu halten.

Technische Änderungen vorbehalten.

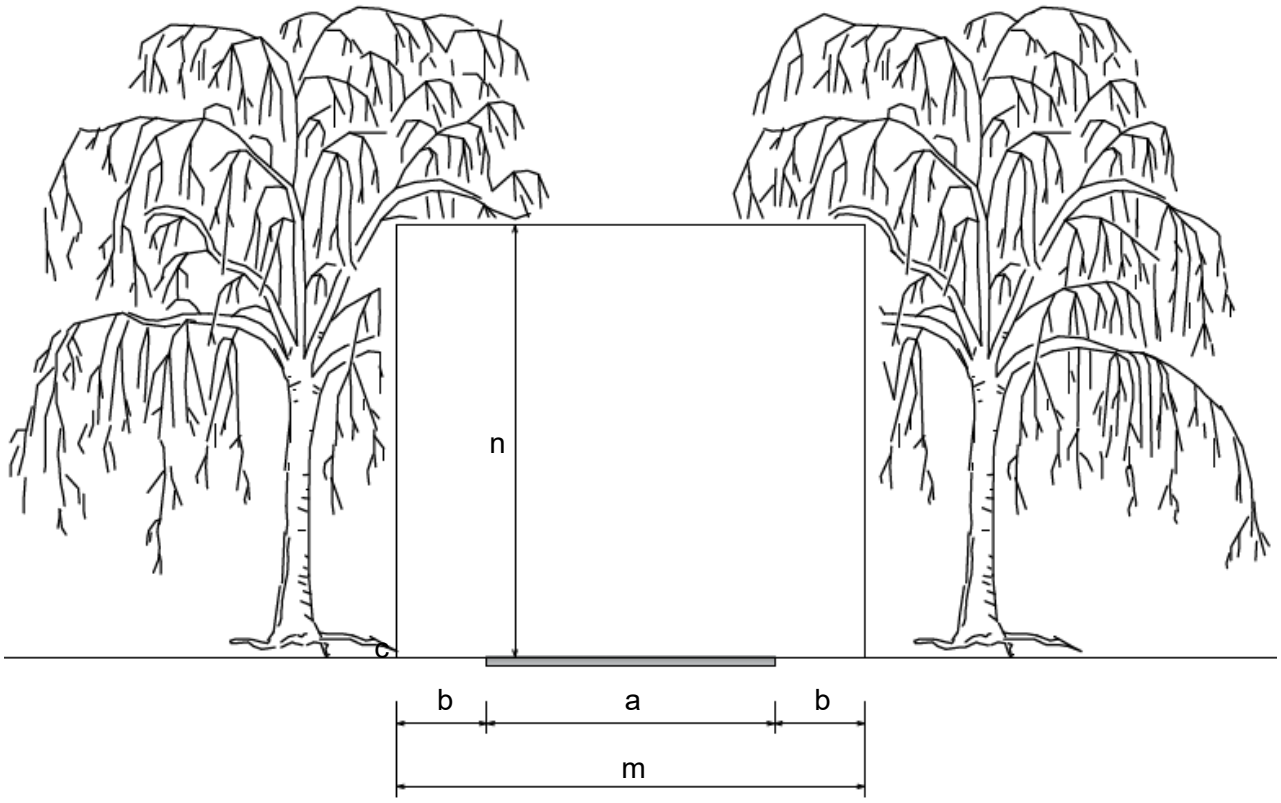


Abb. 5: Lichtraumprofil

a	4 m	Befahrbare Breite der Fahrbahn auf Geraden	b	1,5 m	Seitlicher Überschwenkbereich inkl. Sicherheitsabstand
m	7 m	Lichte Durchfahrtsbreite	n	4,8 - 6 m	Lichte Durchfahrtshöhe

5.2 Aufbau der Zuwegung

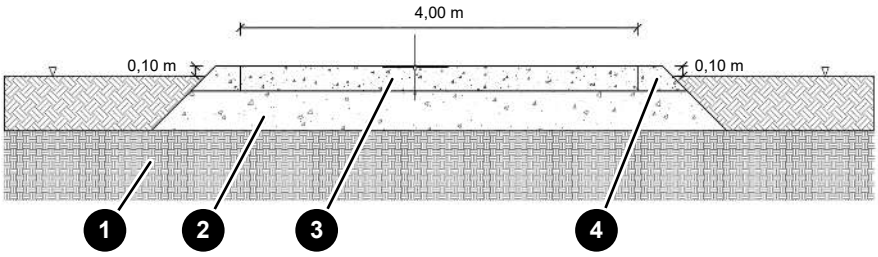


Abb. 6: Schematischer Aufbau der Zuwegung

1	Tragfähiger Untergrund	2	Tragschicht
3	Deckschicht	4	Seitenbereich (Bankett)

Die Deckschicht wird mit einer Querneigung oder einem Dachprofil profiliert. Somit ist eine Entwässerung zur Seite sichergestellt. Eine befahrbare Breite von 4 m ist sicherzustellen. Der Seitenbereich (Bankett) ist abhängig vom Baugrund und Lastabtragungswinkel der Tragschicht zu konstruieren.

Technische Änderungen vorbehalten.

Der tatsächliche konstruktive Aufbau wird anhand der vorherrschenden Bodenverhältnisse vom Straßenplaner bemessen und festgelegt und vor der Ausführung mit dem ENERCON GPM abgestimmt. Dabei ist eine befahrbare Breite der Zuwegung von 4 m sicherzustellen. Um den Lastabtrag zu gewährleisten, kann es zu einem verbreiterten Ausbau kommen.

5.2.1 Seitliches Gefälle: Scheitel und Überhöhung

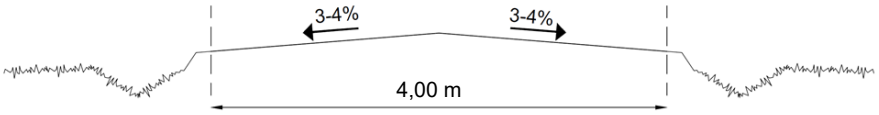


Abb. 7: Dachprofil

Die Zuwegung muss generell mit einer Überhöhung (Dachprofil) und einer Neigung von 3 bis 4 % gestaltet werden. Diese Querneigung der Straße sorgt dafür, dass Regenwasser von der Straßenoberfläche abfließt und verhindert so Erosion, Schlaglochbildung und Spurrillen. Ist die Oberfläche der Straße gepflastert (Beton oder Asphalt), ist ein Quergefälle von 2 % ausreichend, um eine Entwässerung zu gewährleisten.

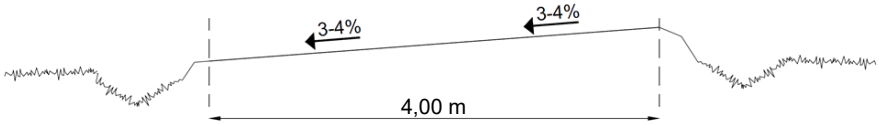


Abb. 8: Seitliches Gefälle

Sollte ein Dachprofil aus topographischen Gründen nicht umsetzbar sein, kann das seitliche Gefälle über die gesamte Breite mit max. 3 bis 4 % gebaut werden. In diesem Fall den Abschnitt zu Übergängen bei seitlichem Gefälle beachten.

Technische Änderungen vorbehalten.

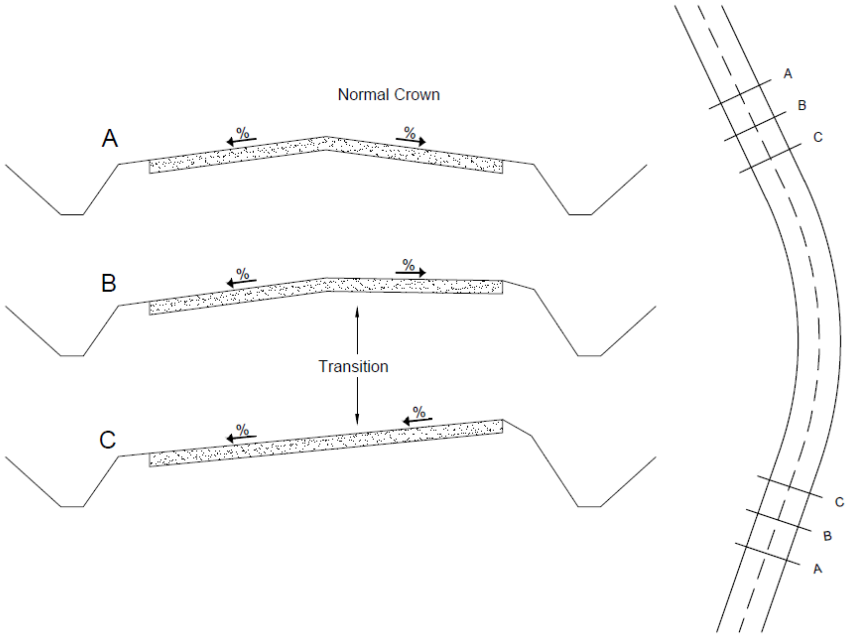


Abb. 9: Übergang seitliches Gefälle

Beim Übergang von einem Dachprofil zu einem seitlichen Gefälle muss der normale Scheitelquerschnitt herausgenommen werden und in einen überhöhten Querschnitt übergehen. Dadurch kann die Oberfläche von der Überhöhung (höchster Punkt des Querschnitts an der Außenseite der Kurve) zur Kuppe (höchster Punkt des Querschnitts auf der Straßenachse) übergehen. Bei Doppelkurven darf das seitliche Gefälle max. 2,5 % betragen. Die Torsion zwischen Zugfahrzeug und Auflieger bzw. Nachläufer darf 5 % nicht überschreiten. Sollte dies nicht umsetzbar sein, muss min. eine Fahrzeuglänge des längsten Fahrzeugs zwischen den Kurven geplant werden.

Technische Änderungen vorbehalten.

5.2.2 Klassifizierung der Straßen

Innerhalb des Windparks werden 3 Straßentypen nach dem Ausgangszustand der Straße und den für den Bau erforderlichen Arbeiten unterschieden. Alle 3 Straßentypen müssen die Anforderungen an Form, Festigkeit und Tragfähigkeit aus diesem Dokument erfüllen.

Bestehende Straßen in gutem Zustand

Bereits gebaute Straßen innerhalb des Windparks mit guten Oberflächen- und Querschnittbedingungen (ausreichende Tragfähigkeit, Seitenneigung und Rauheit) und einer befahrbaren Breite von min. 4 m. Bei Erfüllung dieser Parameter sind für diese Straßen keine zusätzlichen Arbeiten erforderlich. Die gängigen Erhaltungsarbeiten für das Straßennetz nach Beginn der Installationsphase sind obligatorisch.

Bestehende auszubauende Straßen

Bereits gebaute Straßen innerhalb des Windparks, die die Anforderungen an die Oberfläche, den Querschnitt oder die befahrbare Breite nicht erfüllen. Für diese Straßen sind zusätzliche Arbeiten zur Verbesserung der Straßenbedingungen erforderlich. Durch die Nutzung der vorhandenen Straßenplattform wird der Umfang der auszuführenden Arbeiten deutlich reduziert.

Neue Straßen

Neu zu bauende Straßen auf natürlichem Grund. Bei diesen Straßen müssen sämtliche Bauarbeiten durchgeführt werden:

- Rodung
- Planierung
- Abtragen des Mutterbodens
- Erdarbeiten
- Angleichung der Schichten
- usw.

5.2.3 Anforderungen

Baugrunduntersuchung

Die bauliche Gestaltung der Zufahrtsstraße hängt von der Beschaffenheit des Untergrunds und der zu erwartenden Verkehrsbelastung ab. Der Baugrund muss durch Baugrundaufschlussbohrungen und Sondierungen ausreichend untersucht werden. Die Anzahl und die Tiefe der Sondierungen müssen vom geotechnischen Sachverständigen in Abhängigkeit von der Untergrundstruktur festgelegt werden. Der zu erwartende Schwerlastverkehr muss für jeden relevanten Straßenabschnitt abgeschätzt werden. Bei dieser Schätzung sind die Schwerverkehrsbelastungen pro WEA zu berücksichtigen, die durch den Bau der Straße und der befestigten Flächen, die Anlieferung der WEA-Komponenten und die Montage der WEA entstehen. Zudem muss auch die Anzahl der auf dem jeweiligen Straßenabschnitt betriebenen WEA berücksichtigt werden. Auf der Grundlage der Baugrunduntersuchungsergebnisse und der Verkehrsprognose wird die bauliche Gestaltung der Zufahrtsstraße festgelegt.

Gebrauchstauglichkeit

Die Zufahrtswege werden unter Berücksichtigung der zu erwartenden Verkehrsbelastungen mit ausreichender Tragfähigkeit angelegt, sodass sie während der gesamten Nutzungsdauer einsetzbar bleiben. Auch bei starken Regenfällen müssen die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit gewährleistet sein. Es ist darauf zu achten, dass die Deckschicht dauerhaft frei von Schlaglöchern bleibt. Die max. Spurrillentiefe ist auf 7,5 cm begrenzt. Die Gestaltung der Baustellenbereiche muss auch eine Entwässerung der Zufahrtswege vorsehen. Bei Schneefall und Vereisung muss der Betreiber/Auftraggeber durch den Einsatz von Streu- und Schneeräumdiensten für sichere Arbeits- und Fahrbedingungen sorgen. Die Ausführungsplanung sowie alle Vorgaben zur Prüfung, zu Untersuchungen, Auswertungen und Nachweisen sind dem ENERCON GPM unaufgefordert zur Prüfung vorzulegen.

5.2.4 Untergrund und Oberbau

Um einen sicheren, funktionalen und kostengünstigen Verkehr während der Bauphase zu gewährleisten, müssen die folgenden geometrischen Anforderungen an den Straßenbau erfüllt werden.

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 2: Mindestanforderungen an die Zuwegung

Parameter	Anforderung
Befahrbare Breite der Zuwegung	4 m
Max. zulässige Spurrillentiefe	7,5 cm
Max. Seitenneigung der Zuwegung auf geraden Strecken und in Kurven	3 – 4 %
Höhe der Straßenoberfläche über dem natürlichen Boden	10 cm

5.2.4.1 Verdichtungs- und Tragfähigkeitsanforderungen

Um einen sicheren, funktionsfähigen und kostengünstigen Transport während der Bauphase zu gewährleisten, müssen folgende Anforderungen an die Tragfähigkeit der Straße erfüllt werden.

Tab. 3: Mindestanforderungen an die Zuwegung

Parameter	Anforderung
Max. Achslast	12 t
Max. Gesamtgewicht der Transportkombination	210 t
Deckschicht Verformungsmodul	$E_{V2} \geq 100$ MN/m^2
Deckschicht Proctordichte	$D_{Pr} \geq 100$ %
Tragschicht Verformungsmodul (falls erforderlich)	$E_{V2} \geq 80$ MN/m^2
Tragschicht Proctordichte	$D_{Pr} \geq 100$ %
Verhältnis E_{V2}/E_{V1}	≤ 2,3

Die Baufirma muss die vorgegebenen Verformungsmodule für jede eingebaute Schicht prüfen und dokumentieren. Werden die vorgegebenen Werte nicht erreicht, sind Verbesserungsmaßnahmen zu ergreifen. Ein statischer Plattendruckversuch an jeder eingebauten Schicht wird generell empfohlen.

Die geforderten Werte des zweiten Verformungsmoduls (E_{V2}) und des Verhältnisses E_{V2}/E_{V1} entsprechen den nach der deutschen Norm DIN 18134 durchgeführten Plattendruckversuchen. In diesem Dokument sind verschiedene Aspekte der zu erfüllenden Prüfung zusammengefasst, wie z. B. Plattendurchmesser, max. Druck, Belastungsstufen, E_V-Berechnungsformel usw. Plattenbelastungsprüfungen, die nach verschiedenen Normen durchgeführt wurden, sind nicht direkt vergleichbar.

Je nach geotechnischem Gutachten muss auf der Zufahrtsstraße alle 200 bis 500 m ein statischer Plattendruckversuch durchgeführt werden. Statische Plattendruckversuche müssen auch an Übergängen von bestehenden Straßen zu Baustraßen, an Kreuzungen und Einmündungen durchgeführt werden.

Technische Änderungen vorbehalten.

Für bestehende Straßen in gutem Zustand wird empfohlen, die Tragfähigkeit der Straße durch Plattendruckversuche zu prüfen, wobei dieselben Anforderungen wie für die anderen Straßentypen gelten.

Folgende Punkte sind zu prüfen und die Ergebnisse zu protokollieren:

- Aufbau der Zuwegung (Material und Einbaustärke)
- Ausreichende Verdichtung des Baumaterials
- Tragfähigkeit der Zuwegung
- Tragfähigkeit von Brücken
- Tragfähigkeit von Durchlässen und Verrohrungen
- Abstände zu Gräben, Vertiefungen und Gewässern
- Abstände zu Kabeltrassen und Freileitungen
- Überfahrbarkeit von verlegten Leitungen (z. B. Pipelines)

Es kann sinnvoll sein (z. B. bei langen Verkehrswegen oder schlechtem Baugrund), die Zuwegung nicht auf Grundlage der vorgebenden Verformungsmodule, sondern aufgrund der Verkehrsbelastung unter Berücksichtigung der Achsübergänge zu bemessen.

Eine befahrbare Breite der Zuwegung von 4 m ist sicherzustellen. Je nach Lastabtrag und Baugrund kann ein verbreiterter Ausbau nötig sein.

5.2.4.2 Untergrund und Erdreich

Der tragfähige Baugrund ist die Grundlage für die Aufnahme der hohen Flächenpressungen, die durch außergewöhnliche Belastungen und die eingesetzten Kräne entstehen. Deshalb müssen der Oberboden und eventuelle Weichschichten bis zum Erreichen der ersten tragfähigen Schicht des natürlichen Bodens ausgehoben werden. Sind bindige und organische Böden nicht tragfähig, werden diese ausgetauscht oder durch Schichten aus geeignetem, verdichtetem Füllmaterial (z. B. Sand) ersetzt. Alternativ können auch andere technische Verfahren eingesetzt werden (z. B. Verpressen, Geogitter).

Die Tragfähigkeit des Untergrunds muss nachgewiesen werden. Der benötigte Lastausbreitungswinkel der geplanten Zuwegung wird beim Auskoffern der Straßenbreite mit einbezogen.

5.2.4.3 Tragschicht

Die Tragschicht der Zufahrtswege innerhalb des Windparks besteht aus losem Material wie Sand, Kies, Moräne, Schotter oder einer Mischung der genannten Materialien.

Der Anteil der feinen Gesteinskörnung darf 6 % der Gesamtmenge nicht überschreiten.

Das Schottermaterial für die Tragschicht enthält im Allgemeinen größere Steine und einen viel geringeren Anteil an Ton oder Feinmaterial als das Schottermaterial für die Deckschicht. Dies ist notwendig, um die für Tragschichten erforderliche Festigkeit und gute Entwässerungseigenschaften zu erreichen. In gleicher Weise benötigt Tragschichtmaterial niedrige Werte des Plastizitätsindexes.

Die Verkehrslasten werden über diese Tragschicht auf den Untergrund übertragen. Die Tragschicht muss den klimatischen und mechanischen Belastungen standhalten. Das verwendete Material muss

Technische Änderungen vorbehalten.

für den Straßenbau zugelassen sein. Die Sieblinie des verwendeten Materials muss den jeweils gültigen nationalen Vorschriften entsprechen. Die Eignung des Materials muss vor dem Einbau durch Vorlage von gültigen Prüfzeugnissen nachgewiesen werden. Die erforderliche Tragfähigkeit wird durch eine abgestufte Korngrößenverteilung gewährleistet und ist mit dem geotechnischen Sachverständigen abzustimmen.

Ziegelbruch wird als Schüttgut für die Tragschicht nicht genutzt. Das Material wird durch Feuchtigkeit zerrieben und verliert seine Festigkeit.

Die fachgerechte Verdichtung der Tragschicht ist lagenweise sicherzustellen.

5.2.4.4 Deckschicht

Material

Der Anteil der feinen Gesteinskörnung darf 10 % der Gesamtmenge nicht überschreiten. Das Schottermaterial für die Deckschicht enthält im Allgemeinen eine feinere Gesteinskörnung, als der Schotter für die Tragschicht. Eine zu grobe Gesteinskörnung erschwert die Instandhaltung und führt zu einer rauen Fahrbahnoberfläche. Ein höherer Feinkornanteil und ein höherer Plastizitätsindex sind ebenfalls erforderlich, um der Deckschicht eine bindende Eigenschaft und eine glatte Fahrbahn zu verschaffen. Um den Beanspruchungen durch hohe Verkehrslasten gerecht zu werden, muss die Deckschicht schichtweise richtig verdichtet werden.

Die Sieblinie der eingebauten Materialien muss den jeweils gültigen länderspezifischen Vorschriften entsprechen. Die Eignung der Materialien muss vor dem Einbau durch aktuelle Prüfzeugnisse nachgewiesen werden. Die Deckschicht wird möglichst gleichmäßig mit einer Mindestüberhöhung von 10 cm gegenüber dem angrenzenden Gelände eingebaut. Die Mindestschichtdicke beträgt 25 cm.

Deckschicht

Weist die Zuwegung eine Steigung von 7 % bis max. 12 % auf, wird die Deckschicht hydraulisch oder bituminös gebunden. Die Deckschicht ermöglicht einen kraftschlüssigen Verbund zum überfahrenden GST und verhindert das Durchdrehen der Räder.

Technische Änderungen vorbehalten.

6 Baustellenflächen und Fundament

6.1 Arbeitsbereich am WEA-Standort

6.1.1 Generelles

Auf der Baufläche am Standort der zu errichtenden WEA werden unterschiedliche Tätigkeiten durchgeführt. Diese reichen von Fundamentbau, Lagerung von Komponenten, Vor- und Anlagenmontage bis hin zur Netzanbindung und Inbetriebnahme. Die Baufläche ist in verschiedene Bereiche unterteilt, die zur Montage und Lagerung der WEA-Komponenten dienen. Für diese Bereiche gelten unterschiedliche Anforderungen. Ausreichend groß dimensionierte und tragfähige Baustellenflächen sind daher für einen sicheren und wirtschaftlichen Projektablauf zwingend notwendig.

Höhenunterschiede

Um einen sicheren und reibungslosen Bauablauf zu gewährleisten, sind die folgenden Höhenunterschiede einzuhalten:

- Zwischen Baustellenflächen und umliegendem Gelände: Sofern Baustellenflächen mit einem Höhenunterschied > 0,30 m zum umliegenden Gelände angelegt werden, werden die Seitenbereiche mit 45° abgeböscht. Abhängig von der Höhe der Böschung ergibt sich ein umlaufender Streifen, der nicht belastet werden darf. Ggf. ist die Fläche zu vergrößern, um die erforderliche Nutzfläche herzustellen.
- Zwischen Zuwegung, Kranstell-, Lager- und Montagefläche: Ein Höhenunterschied oder Versatz ist nicht zulässig.
- Zwischen Kranstellfläche und Fundamentoberkante: Der zulässige Höhenunterschied ist dem Fundamentdatenblatt zu entnehmen.

Sind Höhenunterschiede aufgrund der topografischen Gegebenheiten erforderlich, muss der Punkt „Böschungen“ berücksichtigt und mit dem ENERCON GPM abgesprochen werden.

- Wird die Baufläche in eine Anhöhung oder einen Berg gebaut, ist ein Randstreifen von 4 m einzuplanen, wodurch sich die Grundfläche um diesen Randstreifen vergrößert. Für diesen Fall muss eine ausreichende Entwässerung gewährleistet sein. Diese Regelung gilt für den Randbereich sowie für Anhöhungen innerhalb der Baufläche.

Böschungen

Bei einer Böschung muss der Sicherheitsbereich, der nicht belastet werden darf, berücksichtigt werden. Die Grundfläche vergrößert sich damit um den Sicherheitsbereich. Diese Regelung gilt für den Randbereich sowie für Böschungen innerhalb der Baufläche. Der Sicherheitsbereich muss vom Bodengutachter bestimmt werden.

Lagerung von Bodenaushub

Bodenaushub, der während der Bauphase angefallen ist und nicht weiter verwendet wird, wird ausschließlich außerhalb des Arbeitsbereichs in Mieten gelagert. Beim Anlegen der Erdmieten ist die geplante Kabeltrasse und Kabeleinführung von und zur WEA zu berücksich-

Technische Änderungen vorbehalten.

tigen. Der Mindestabstand der Erdmieten zum Arbeitsbereich beträgt 4 m. Um die Anlieferung der Turm- und WEA-Komponenten nicht zu behindern, darf kein Bodenaushub im Überschwenkbereich der Transportfahrzeuge gelagert werden. Dasselbe gilt entlang der Kranauslegermontagefläche. Bei Nichtverwendung wird überschüssiger Bodenaushub vom Auftraggeber vollständig entfernt. Zur Orientierung die Abb. 13, S. 32 beachten.

Standorte für Winden

Um die WEA-Komponenten während des Hubvorgangs zu führen, werden sie mit Seilen und Winden in Position gehalten. Die Position der Winden ist unter anderem abhängig von der zu hebenden Komponente und der Windsituation und wird kurzfristig mit dem ENERCON CM oder dem Aufbauteam abgestimmt. Die Winden werden mit einem Mindestabstand von 1 Nabenhöhe in Metern zum Turmfuß positioniert.

Der Windenstandort muss mit einem Teleskoplader erreichbar sein. Die Eigentümer der betroffenen Flurstücke sind über die Tätigkeiten zu informieren, ggf. ist eine Erlaubnis einzuholen. Durch das Befahren mit einem Teleskoplader kann es zu Flurschäden kommen. Diese sind in einem vertretbaren Maß vom Kunden zu tragen.

Abhängig von der lokalen Beforstungsdichte können zusätzliche Rodungsschneisen nötig sein. Bei Waldstandorten muss der Windenstandort frühzeitig mit ENERCON abgestimmt werden.

6.1.2 Fundament

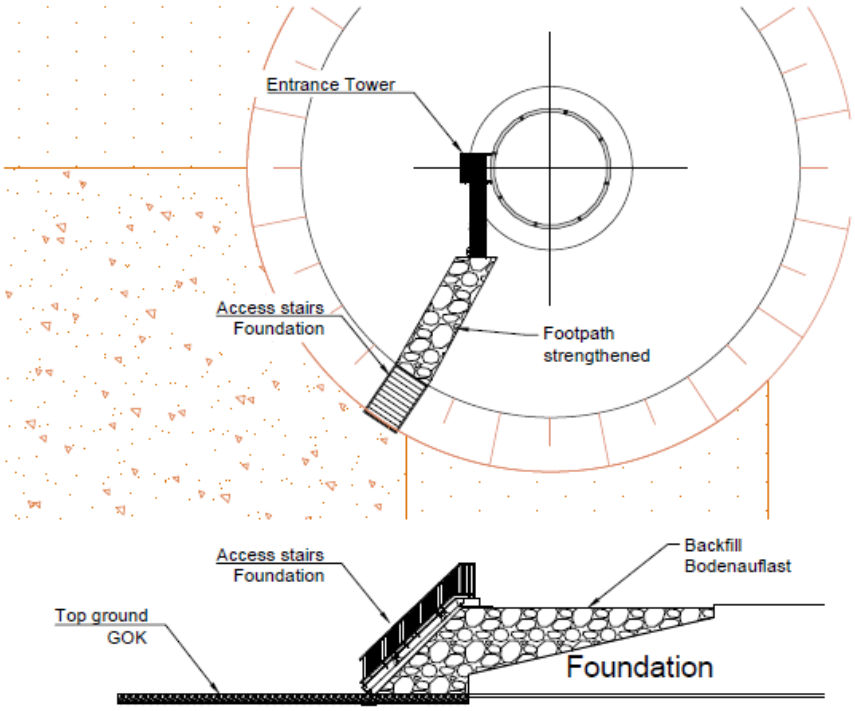


Abb. 10: Fundament auf GOK mit Erdauflast

Das Fundament benötigt für den Betrieb der WEA eine Bodenaufschüttung, die vor Baustart der WEA aufgebracht werden muss. Dabei darf der Außendurchmesser Böschung nicht größer als Fundamentaußenkante +< 3 m sein.

Technische Änderungen vorbehalten.

Kommt es zu Abweichungen des vorgegebenen Höhenniveaus und der Abstand zwischen Fundamentoberkante und GOK ist größer bzw. kleiner als der vorgegebene Standard, muss dies mit ENERCON abgestimmt werden. Der entsprechende Platzbedarf der Aufschüttung und eine angepasste Zugangstreppe müssen in der Planung berücksichtigt werden.

Nach Fertigstellung der Anschüttung muss ein Zugang in Form einer Treppe gewährleistet sein. Diese Treppe ist im Lieferumfang der WEA enthalten und wird vom Aufbauteam installiert. Sollte der Kunde eine eigene Treppe verwenden, ist dies im Vorfeld mit ENERCON abzuklären. Höhenunterschiede abweichend des Schalplans Fundament müssen berücksichtigt werden. Anpassungen der Standardtreppe werden erst ab Höhenunterschieden > 0,4 m vorgenommen. Zu kurze Treppen werden am unteren Ende mit Schotter ausgeglichen. Zu lange Treppen werden am unteren Ende eingegraben oder oberhalb der Anschüttung unterfüttert.

Bei HST muss um die Anschüttung herum ein 3 m breiter und temporär befahrbarer Streifen eingeplant werden. Dieser wird bei der Vormontage der Fundamentsektion mit einer Teleskoparbeitsbühne befahren und kann z. B. mittels Stahlplatten errichtet werden.

Neben der Bodenaufschüttung sind zusätzliche Belastungen auf Fundamenten im Rahmen der Typenprüfung nicht abgedeckt. Zusätzliche Belastungen bedürfen einer Freigabe durch ENERCON.

- Nicht erlaubte zusätzliche Belastungen während der Aufbauphase:
  - das Abstellen und Befahren mit jeglicher Art von Fahrzeugen oder Kranen
  - vom Schalplan abweichende Bodenwichten für das Material und Gegebenheiten der Bodenaufschüttung
  - das Abladen und Lagern von Krankomponenten und Gewichten
  - das Abladen und Lagern von Mauerwerk, Naturstein oder Betonaufkantung
  - das Aufstellen von Trafohäuschen usw.
- Erlaubte zusätzliche Belastungen während der Aufbauphase:
  - das Ablegen von Kabeln und Kleinwerkzeugen für die Montage
  - der Aufenthalt von Montage- und Servicepersonal

Bauablauf

1. Herstellung des gesamten Unterbaus von Kranstellfläche und Montagefläche. Die Deckschicht wird bis auf einen Abstand von Fundamentaußenkante +3 m aufgetragen.
2. Herstellung des Fundaments.
3. Aufbringung und Abböschung der Fundamentauflast nach Vorgaben, wobei der Außendurchmesser der Böschung nicht größer als die Fundamentaußenkante +3 m sein darf.
4. Installation einer Treppe mit Handlauf an der Böschung in Richtung Kranstellfläche. Dabei sind die für die Region geltenden aktuellen Sicherheits- und Bauvorschriften zu beachten.

Technische Änderungen vorbehalten.

5. Befestigung mit Schotter auf dem Fundament von der Zugangstreppe Kranstellfläche bis zum Zugang Turmaußentreppe, um einen gefahrlosen und sauberen Zugang zu gewährleisten.
6. Überarbeitung und Profilierung der gesamten Baufläche gemäß Mindestanforderungen.

6.1.3 Baufläche

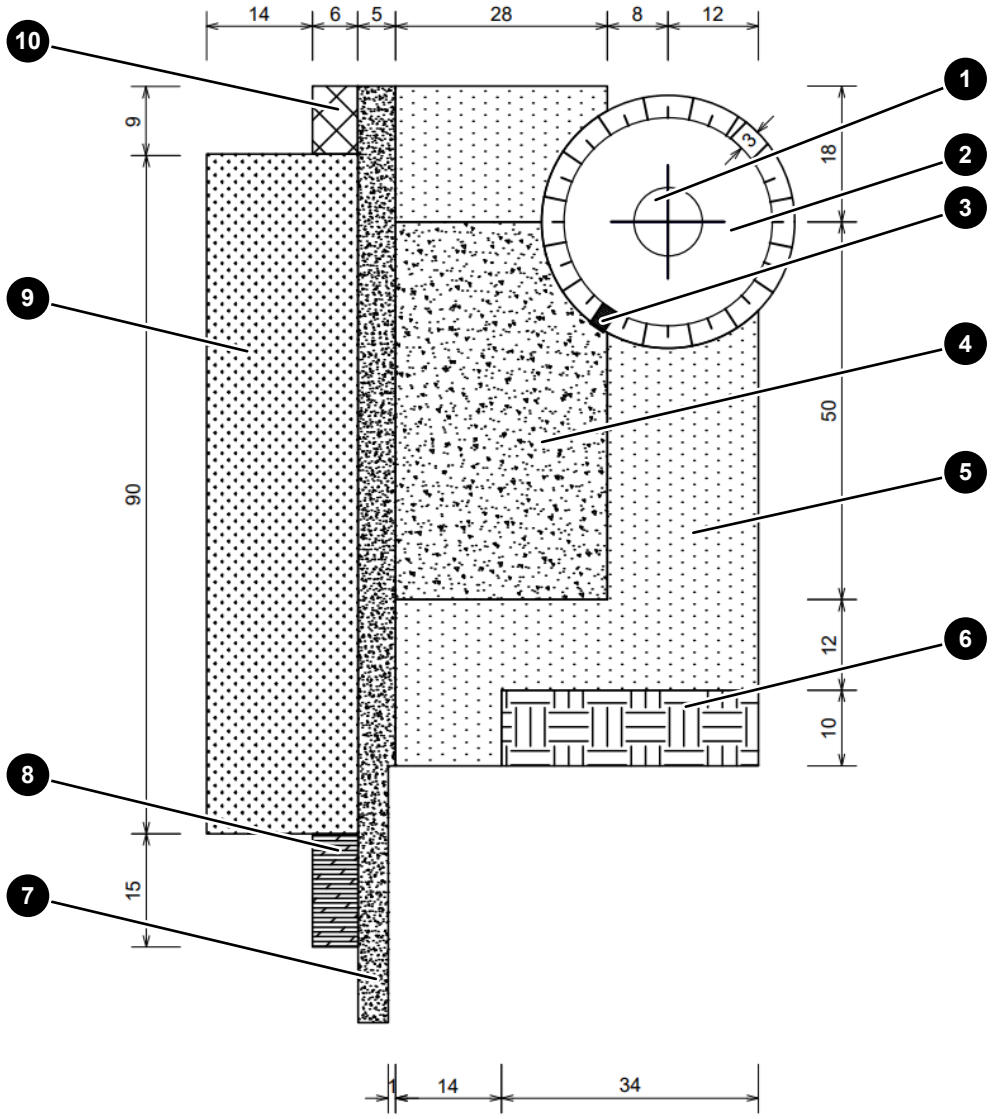


Abb. 11: Arbeitsbereich am WEA-Standort, Baumaß (alle Maßangaben in Meter)

1	Turm	2	Fundament
3	Treppe	4	Kranstellfläche
5	Montagefläche	6	Containerfläche
7	Zuwegung	8	Parkfläche
9	Lagerfläche	10	Müllsammelplatz

Technische Änderungen vorbehalten.

Baugrunduntersuchung

Der konstruktive Aufbau der Kranstellfläche und der Montagefläche kann sich abhängig von der Beschaffenheit des Baugrunds unterscheiden. Der Baugrund ist durch Baugrundaufschlussbohrungen und -sondierungen ausreichend zu untersuchen. Alle setzungs- und grundbruchrelevanten Bodenschichten sind dabei zu erfassen. Anzahl und Tiefe der Untersuchungen sind vom Baugrundgutachter abhängig vom Untergrundaufbau festzulegen. Auf Grundlage der Baugrunduntersuchungsergebnisse wird der konstruktive Aufbau der Kranstellfläche und der Montagefläche festgelegt.

Gebrauchstauglichkeit

Die Baustellenflächen werden unter Berücksichtigung der zu erwartenden Belastungen mit ausreichender Tragfähigkeit angelegt, sodass sie während der gesamten Nutzungsdauer einsetzbar bleiben. Auch bei starken Regenfällen müssen die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit gewährleistet sein. Die max. Spurrillentiefe ist auf 7,5 cm begrenzt. Die Gestaltung der Flächen muss auch eine Entwässerungsmöglichkeit vorsehen. Bei Schneefall und Vereisung muss der Betreiber/Auftraggeber durch den Einsatz von Streu- und Schneeräumdiensten für sichere Arbeits- und Fahrbedingungen sorgen. Die Ausführungsplanung sowie alle Vorgaben zur Prüfung, zu Untersuchungen, Auswertungen und Nachweisen sind dem ENERCON GPM unaufgefordert zur Prüfung vorzulegen.

6.1.3.1 Material

Als Material für die Deckschicht werden zertifizierte gebrochene Schüttgüter wie Kies, Schotter oder ähnliches Material verwendet, die die Anforderungen erfüllen. Die Mindestschichtdicke beträgt 25 cm. Die folgenden Überlegungen gelten für Materialien, die sowohl auf der Kranstellfläche als auch im Montagebereich verwendet werden.

6.1.3.2 Baugrund und Erdreich

Der tragfähige Baugrund ist die Grundlage für die Aufnahme der hohen Flächenpressungen, die durch außergewöhnliche Belastungen und die eingesetzten Kräne entstehen. Deshalb müssen der Oberboden und mögliche Weichschichten bis zur ersten tragfähigen Schicht des natürlichen Bodens ausgehoben werden. Sind bindige und organische Böden nicht tragfähig, werden diese ausgetauscht oder durch Schichten aus verdichtetem und geeignetem Füllmaterial (z. B. Sand) ersetzt. Alternativ können auch andere technische Verfahren eingesetzt werden (z. B. Verpressen, Geogitter).

Tragschicht

Die Tragschicht von Kranstellflächen und Aufstellflächen kann aus losem Material wie Sand, Kies, Moräne, Schotter oder einer Mischung der genannten Materialien bestehen. Der Anteil der feinen Gesteinskörnung darf 6 % der Gesamtmenge nicht überschreiten. Das Schottermaterial für die Tragschicht hat im Allgemeinen größere Steine und einen sehr geringen Anteil an Ton oder Feinmaterial, als das Schottermaterial für die Deckschicht. Dies ist notwendig, um die für Tragschichten erforderliche Festigkeit und gute Entwässerungseigenschaften zu erreichen. Ebenso benötigt das Tragschichtmaterial niedrige Werte für den Plastizitätsindex.

Technische Änderungen vorbehalten.

Die Verkehrslasten werden über diese Tragschicht auf den Untergrund übertragen. Die Tragschicht muss den klimatischen und mechanischen Belastungen standhalten. Das verwendete Material muss für den Straßen- und Hochbau zugelassen sein. Die Sieblinie des verwendeten Materials muss den jeweils gültigen nationalen Vorschriften entsprechen. Die Eignung des Materials muss vor dem Einbau durch Vorlage von gültigen Prüfzeugnissen nachgewiesen werden. Die erforderliche Tragfähigkeit wird durch eine abgestufte Korngrößenverteilung sichergestellt und ist mit dem geotechnischen Sachverständigen abzustimmen.

Ziegelbruchstücke werden nicht als Schüttgut für die Tragschicht verwendet. Das Material wird durch Feuchtigkeit pulverisiert und verliert seine Festigkeit. Es ist auf eine ordnungsgemäße Verdichtung zu achten.

Deckschicht

Als Material für die Deckschicht wird zertifiziertes, gebrochenes Schüttgut, z. B. Schotter oder Splitt, verwendet. Es wird eine Gesteinskörnung von 0/32-0/45 mm verwendet. Der Anteil der feinen Gesteinskörnung darf 10 % der Gesamtmenge nicht überschreiten. Das Schottermaterial für die Deckschicht enthält im Allgemeinen eine feinere Gesteinskörnung, als der Schotter für die Tragschicht. Eine zu grobe Gesteinskörnung erschwert die Instandhaltung und führt zu einer rauen Fahrbahnoberfläche. Ein höherer Feinkornanteil und ein höherer Plastizitätsindex sind ebenfalls erforderlich, um der Deckschicht eine bindende Eigenschaft und eine glatte Fahrfläche zu verschaffen. Die Sieblinie der eingebauten Materialien muss den jeweils gültigen länderspezifischen Vorschriften entsprechen. Die Eignung der Materialien muss vor dem Einbau durch aktuelle Prüfzeugnisse nachgewiesen werden. Die Mindestschichtdicke beträgt 25 cm. Um den Beanspruchungen durch hohe Verkehrslasten gerecht zu werden, muss die Deckschicht schichtweise gut verdichtet werden.

Technische Änderungen vorbehalten.

6.1.3.3 Kranstellfläche

Der Kran wird auf der Kranstellfläche aufgestellt. Hier werden die Hauptarbeiten ausgeführt. Auf diesen Bereich wirken die höchsten Beanspruchungen durch Verkehrslasten und verteilte Lasten ein. Eine unzureichend konzipierte oder dimensionierte Kranplattform kann zu unvorhergesehenen Bewegungen oder zum Umkippen des Krans führen.

Tab. 4: Mindestanforderungen an die Kranstellfläche

Parameter	Anforderung
Oberflächenebenheit	≤ 0,25 %
Mindestbelastbarkeit	350 kN/m²
Deckschicht Verformungsmodul	E_{V2} ≥ 120 MN/m²
Deckschicht Proctordichte	D_{Pr} ≥ 103 %
Tragschicht Verformungsmodul (falls erforderlich)	E_{V2} ≥ 100 MN/m²
Tragschicht Proctordichte	D_{Pr} ≥ 100 %

Parameter	Anforderung
Verhältnis E_{V2}/E_{V1}	≤ 2,3

Die Tragfähigkeit der Kranstellfläche ist durch Grundbruchberechnungen bzw. bei Hanglagen durch Böschungsbruchberechnungen nach DIN 4017 nachzuweisen. Setzungsberechnungen sind erforderlich, um zu verhindern, dass die max. zulässige Neigung des Krans nach DIN 4019:2015 überschritten wird. Die Kranlasten werden durch Lastverteilungsplatten unterhalb der Ketten bzw. Pratzen auf den angegebenen zulässigen Bodendruck reduziert.

Die geforderten geotechnischen Nachweise der Lastverteilung sind jeweils für eine Fläche mit den folgenden Abmessungen zu erbringen:

- 2 m x 10 m
- 5 m x 10 m

Die Baufirma muss die vorgegebenen Verformungsmodule für jede eingebaute Schicht überprüfen und dokumentieren. Werden die vorgegebenen Werte nicht erreicht, sind Verbesserungsmaßnahmen zu ergreifen. Ein statischer Plattendruckversuch an jeder eingebauten Schicht wird generell empfohlen. Die geforderten Werte des zweiten Verformungsmoduls (E_{V2}) und des Verhältnisses E_{V2}/E_{V1} entsprechen den Plattenbelastungsprüfungen gemäß der deutschen Norm DIN 18134. In diesem Dokument sind verschiedene Aspekte der zu erfüllenden Prüfung zusammengefasst, wie z. B. Plattendurchmesser, max. Druck, Belastungsstufen, E_V-Berechnungsformel usw. Plattenbelastungsprüfungen, die nach verschiedenen Normen durchgeführt wurden, sind nicht direkt vergleichbar.

Folgende Punkte sind zu prüfen und die Ergebnisse zu protokollieren:

- Aufbau der Baustellenfläche (Material und Einbaustärke)
- Ausreichende Verdichtung des Baumaterials
- Abstände zu Gräben, Vertiefungen und Gewässern
- Abstände zu Kabeltrassen und Freileitungen

Für die Verdichtungskontrolle der Kranstellfläche sollten min. 3 Plattendruckversuche durchgeführt werden, die ein repräsentatives Ergebnis vom Zustand der Fläche liefern. Plattendruckversuche im Randbereich der Fläche sind zu vermeiden. Ergeben sich Zweifel an der Gebrauchstauglichkeit der Kranplatte, sind ggf. weitere Prüfungen durchzuführen.

6.1.3.4 Montagefläche

Die Montagefläche dient als Arbeitsbereich für Vormontage- und Montagezwecke und zur Lagerung der Anlagen- und Turmkomponenten. Diese Fläche wird während der Baumaßnahmen benötigt und kann nach Abschluss der Arbeiten im Windpark zurückgebaut werden. Im Fall eines Komponententauschs oder Rückbaus muss ein Teil dieser Fläche wiederhergestellt werden. Größe und Lage sind dann mit dem ENERCON GPM abzustimmen.

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 5: Mindestanforderungen an die Montagefläche

Parameter	Anforderung
Oberflächenebenheit	≤ 1 %
Mindestbelastbarkeit	135 kN/m²
Deckschicht Verformungsmodul	E_{V2} ≥ 120 MN/m²
Deckschicht Proctordichte	D_{Pr} ≥ 103 %
Tragschicht Verformungsmodul (falls erforderlich)	E_{V2} ≥ 80 MN/m²
Tragschicht Proctordichte	D_{Pr} ≥ 100 %
Verhältnis E_{V2}/E_{V1}	≤ 2,3

Die Tragfähigkeit der Montagefläche ist durch Grundbruchberechnungen bzw. bei Hanglagen durch Böschungsbruchberechnungen nach DIN 4017 nachzuweisen. Setzungsberechnungen sind erforderlich, um zu verhindern, dass die max. zulässige Neigung des Krans nach DIN 4019:2015 überschritten wird. Die Kranlasten werden durch Lastverteilungsplatten unterhalb der Ketten bzw. Pratzen auf den angegebenen zulässigen Bodendruck reduziert.

Die geforderten geotechnischen Nachweise der Lastverteilung sind jeweils für eine Fläche mit den folgenden Abmessungen zu erbringen:

- 1,5 m x 5 m
- 3 m x 5 m

Die Baufirma muss die vorgegebenen Verformungsmodule für jede eingebaute Schicht überprüfen und dokumentieren. Werden die vorgegebenen Werte nicht erreicht, sind Verbesserungsmaßnahmen zu ergreifen. Ein statischer Plattendruckversuch an jeder eingebauten Schicht wird generell empfohlen. Die geforderten Werte des zweiten Verformungsmoduls (E_{V2}) und des Verhältnisses E_{V2}/E_{V1} entsprechen den Plattenbelastungsprüfungen gemäß der deutschen Norm DIN 18134. In diesem Dokument sind verschiedene Aspekte der zu erfüllenden Prüfung zusammengefasst, wie z. B. Plattendurchmesser, max. Druck, Belastungsstufen, E_V-Berechnungsformel usw. Plattenbelastungsprüfungen, die nach verschiedenen Normen durchgeführt wurden, sind nicht direkt vergleichbar.

Folgende Punkte sind zu prüfen und die Ergebnisse zu protokollieren:

- Aufbau der Baustellenfläche (Material und Einbaustärke)
- Ausreichende Verdichtung des Baumaterials
- Abstände zu Gräben, Vertiefungen und Gewässern
- Abstände zu Kabeltrassen und Freileitungen

Für die Verdichtungskontrolle der Montageflächen sollte min. 1 Plattendruckversuch pro Montagefläche durchgeführt werden.

6.1.3.5 Lagerfläche

Die Lagerfläche dient unter anderem zur Lagerung von Montagematerial, Containern, Flat Rack und Rotorblättern. Die Fläche muss nicht befestigt werden, jedoch in ihrer Beschaffenheit eben, glattgezogen

Technische Änderungen vorbehalten.

und frei von Wurzeln und Gehölz sein. Maßnahmen für eine Entwässerung müssen getroffen werden. Die Befahrbarkeit mit einem Teleskoplader muss gewährleistet sein.

Für die korrekte Lagerung der Rotorblätter müssen 2 Auflageflächen für die Rotorblattgestelle eingerichtet werden. Die Auflageflächen für die Rotorblattgestelle müssen eben sein (x- und y-Achse = 0°) und sich auf dem gleichen Höhenniveau befinden. Sollten die Flächen nicht tragfähig sein, müssen diese nach Absprache mit ENERCON GPM ertüchtigt werden. Diese Änderungen können sich auf die Größe der Flächen auswirken.

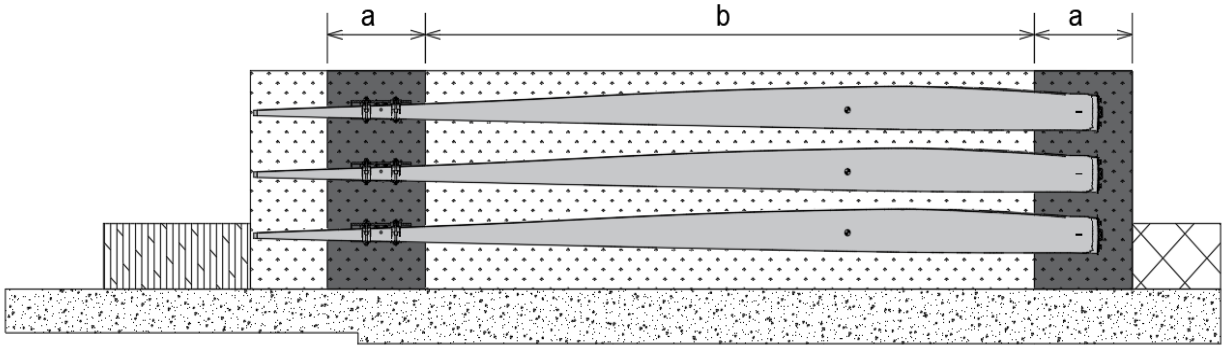


Abb. 12: Rotorblattlagerfläche (Konstruktionsschema)

a	10 m	Breite Auflagefläche Rotorblattgestelle	b	62 m	Abstand Auflagefläche Rotorblattgestelle

6.1.3.6 Arbeitsebene (falls erforderlich)

Auf der Arbeitsebene steht das Trägergerät zur Erstellung von Pfahlgründungen oder Baugrundverbesserungsmaßnahmen durch Rüttelstopfverdichtung oder Rütteldruckverdichtung.

Tab. 6: Mindestanforderungen an die Arbeitsebene

Parameter	Anforderung
Form: Kreis	Absprache mit dem ENERCON GPM
Oberflächenebenheit	≤ 1 %
Mindestbelastbarkeit	Absprache mit dem ENERCON GPM
Tragschicht Verformungsmodul (falls erforderlich)	$E_{V2} \geq 80$ MN/m²
Tragschicht Proctordichte	$D_{Pr} \geq 100$ %
Verhältnis E_{V2}/E_{V1}	≤ 2,3

Folgende Prüfungen sind durchzuführen und zu protokollieren:

- Verdichtung (statische Lastplattendruckversuche, Rammsondierung)
- Abstände zu Gräben, Vertiefungen und Gewässern
- Abstände zu Kabeltrassen und Freileitungen

Technische Änderungen vorbehalten.

- Gefälle der Oberflächen zur Entwässerung

6.1.4 Rodungs- und Sicherheitsbereich

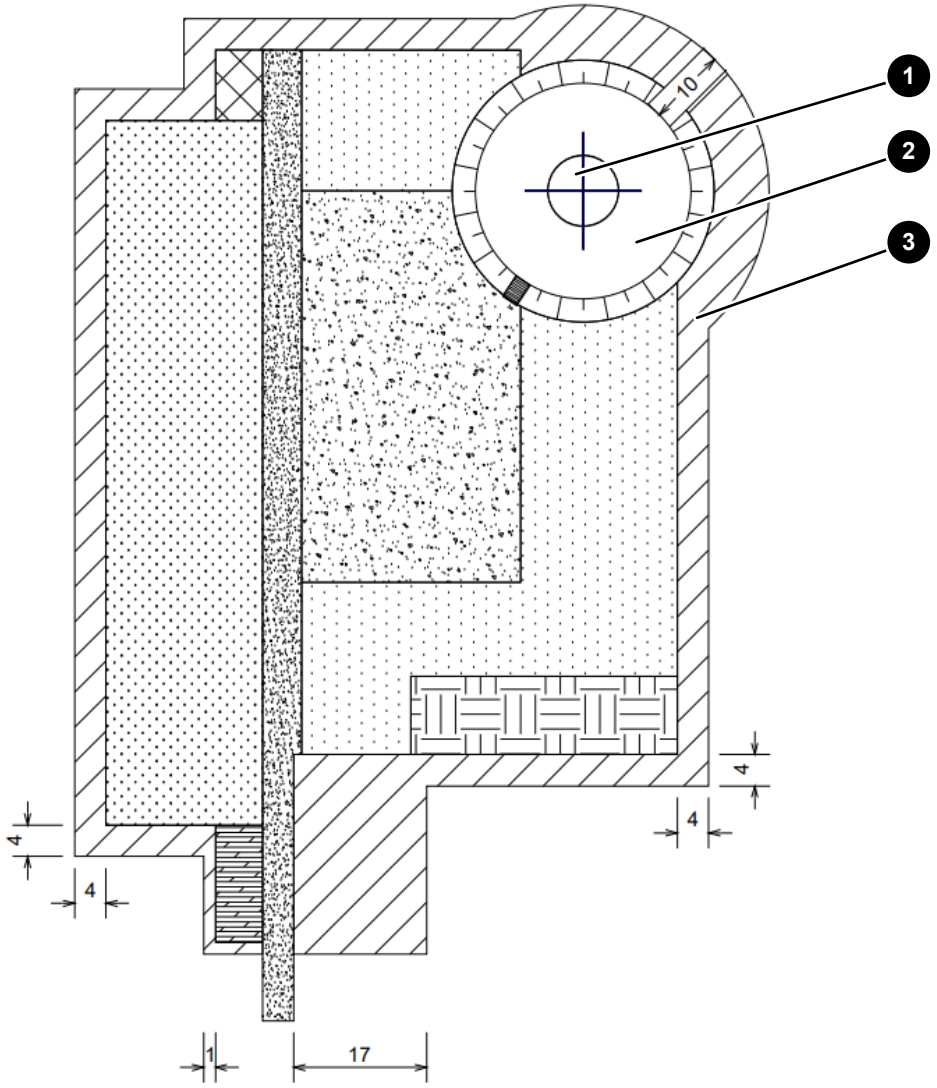


Abb. 13: Rodungs- und Sicherheitsbereich, Baumaß (alle Maßangaben in Meter)

1	Turm	2	Fundament
3	Rodungs- und Sicherheitsbereich		

Bei der Errichtung der WEA muss rings um das Fundament und die Baufläche ein Sicherheitsbereich freigehalten bzw. der Bereich gerodet werden. Während der Bauarbeiten darf kein Bodenaushub im Rodungs- und Sicherheitsbereich gelagert werden. Der Rodungs- und Sicherheitsbereich kann zum Teil nach der Errichtung der WEA wieder aufgeforstet werden. Im Fall eines Komponententauschs oder Rückbaus muss ein Teil dieser Fläche wieder freigehalten bzw. gerodet werden. Größe und Abmessungen sind dann mit dem ENERCON GPM abzustimmen.

Technische Änderungen vorbehalten.

6.2 Kranauslegermontagefläche

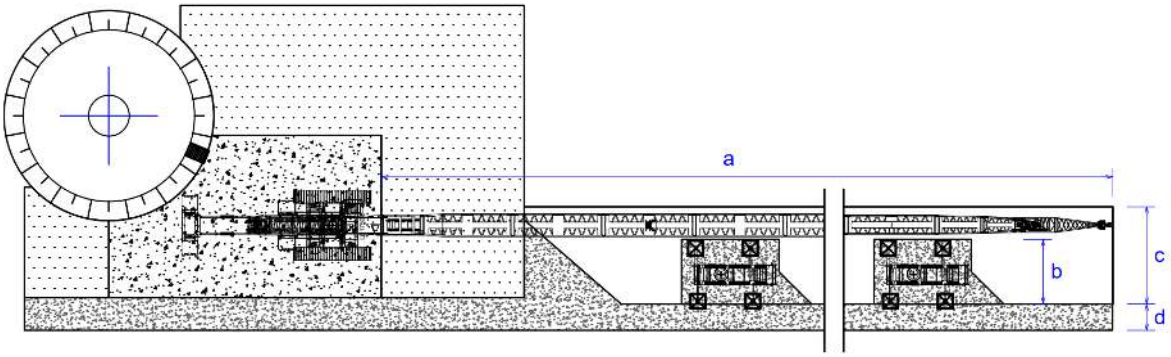


Abb. 14: Kranauslegermontagefläche

a	185 m	Länge Kranauslegermontagefläche ab Kranstellfläche	b	10 m	Breite Hilfskranstellfläche
c	17 m	Gesamtbreite Kranauslegermontagefläche	d	4 m	Befahrbare Breite der Fahrbahn

Der Gittermastausleger des Hauptkrans wird aus Einzelkomponenten zusammengebaut. Auch während der Aufbauarbeiten muss gewährleistet sein, dass bei steigenden Windgeschwindigkeiten der Gittermast des Großkrans abgelegt werden kann. Dies setzt eine lichte Schneise in Länge des Gittermastauslegers voraus, die sich im Standard auf gleichem Höhenniveau zur Kranstellfläche befindet. Gittermastausleger können nur bis zu einer bestimmten Steigung bzw. einem bestimmten Gefälle montiert werden. Bei Höhenunterschieden auf der Kranauslegermontagefläche wird Rücksprache mit dem ENERCON GPM gehalten. Dies gilt insbesondere bei Gefälle vom Grundgerät zur Gittermastspitze.

Hilfskranstellflächen

Der Gittermastausleger des Großkrans wird mit Unterstützung eines Hilfskrans montiert und aufgerichtet. Der Hilfskran wird seitlich des Gittermastauslegers positioniert. Um die Einzelteile des Auslegers nacheinander montieren zu können, ist für den Hilfskran eine befestigte Straße erforderlich. Ist die Zuwegung zur Kranstellfläche gradlinig, lang genug und die örtlichen Gegebenheiten machen die Gittermastmontage möglich, wird sie dafür genutzt. Trifft dies nicht zu, wird eine provisorische Behelfsstraße errichtet. Der Bau einer temporären und provisorischen Behelfsstraße zur Gittermastmontage kann eine behördliche Genehmigung voraussetzen. Dies muss vom Auftraggeber vorab geprüft werden. Zur Abstützung und Lastverteilung des Hilfskrans werden in bestimmten Abständen ca. 10 m breit Hilfskranstellflächen unmittelbar neben die Zuwegung bzw. die Behelfsstraße gebaut. Anzahl und Lage der Hilfskranstellflächen werden mit dem ENERCON GPM und dem Krandienstleister abgestimmt. Sollte ein Raupenkran als Hilfskran eingesetzt werden, muss die Zuwegung dem Kran entsprechend verbreitert werden. Dies kann je nach Bodenverhältnissen geschottert oder mit Platten realisiert werden.

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 7: Anforderungen an die Kranauslegermontagefläche

Parameter	Anforderung
Tragfähigkeit der Zuwegung bzw. Behelfs-straße	12 t Achslast
Flächenpressung der Hilfskranstellflächen	min. 135 kN/m²

6.3 Alternative Baufläche

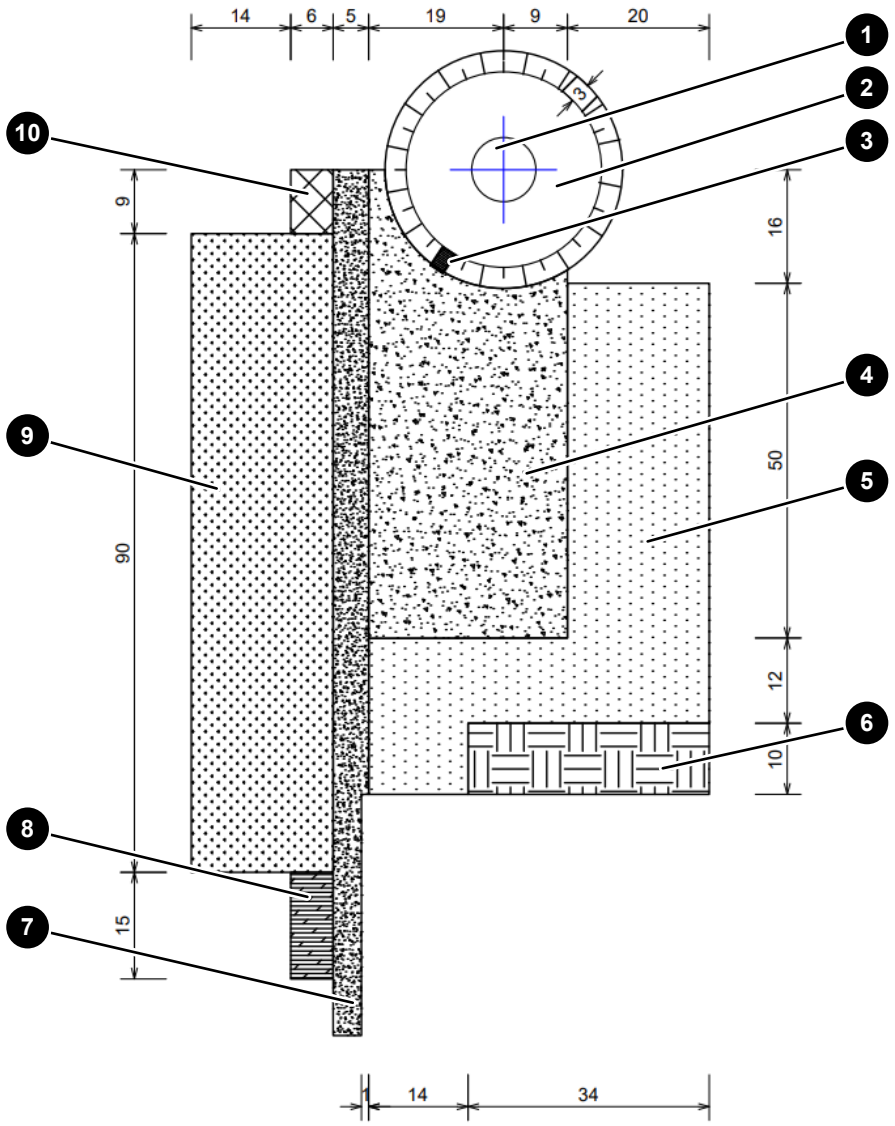


Abb. 15: Alternativer Arbeitsbereich am WEA-Standort, Baumaß (alle maßangaben in Meter)

1	Turm	2	Fundament
3	Treppe	4	Kranstellfläche
5	Montagefläche	6	Containerfläche
7	Zuwegung	8	Parkfläche
9	Lagerfläche	10	Müllsammelplatz

Technische Änderungen vorbehalten.

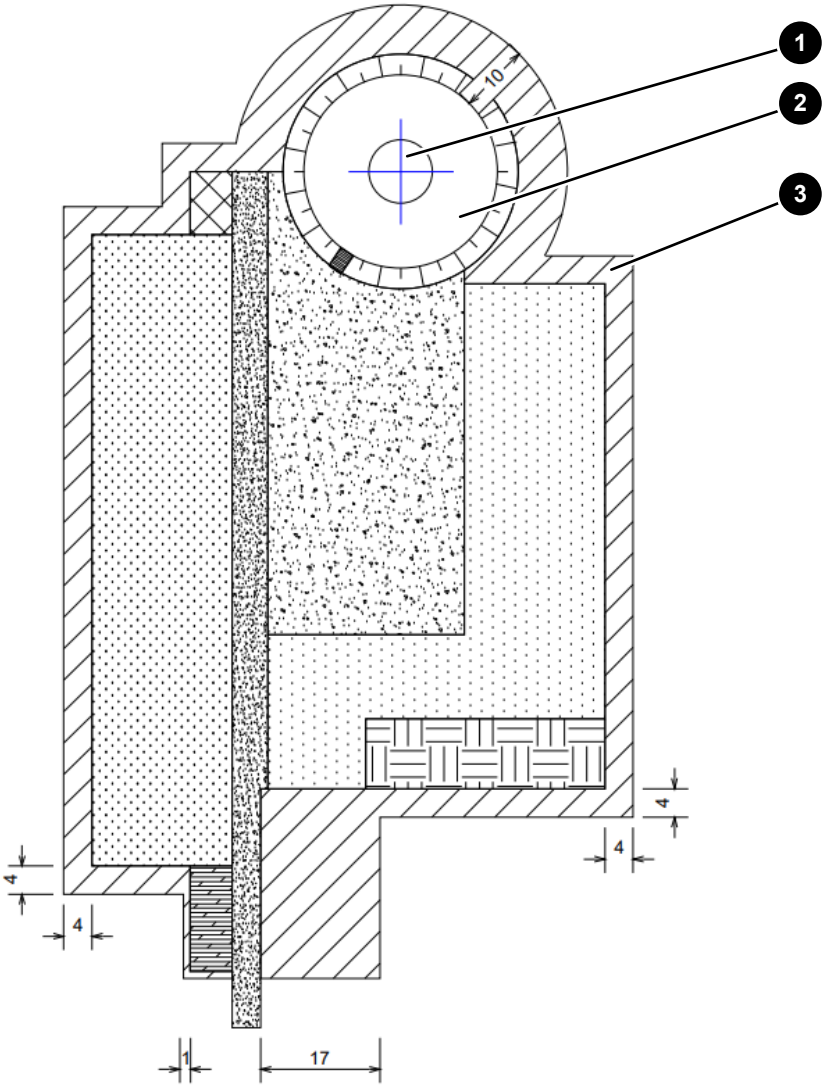


Abb. 16: Alternativer Rodungs- und Sicherheitsbereich, Baumaß (alle Maßangaben in Meter)

1	Turm	2	Fundament
3	Rodungs- und Sicherheitsbereich		

Die hier dargestellten alternativen Bauflächen erfüllen bei der Anlieferung und Montage die gleichen Anforderungen wie der gezeigte Standard (Abb. 11, S. 26 und Abb. 13, S. 32). Einschränkungen gibt es in der Montagerichtung des Kranauslegers, welcher hier nur in entgegengesetzter Richtung vom Turm montiert werden kann. Wenn die alternativen Bauflächen angewendet werden sollen, ist dies mit ENERCON abzustimmen.

Technische Änderungen vorbehalten.

7 Zentrale Anlaufstelle

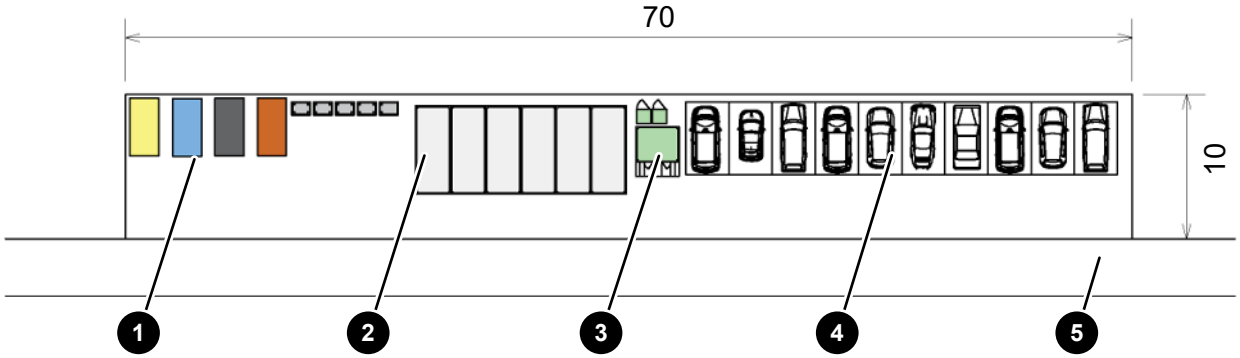


Abb. 17: Zentrale Anlaufstelle (alle Maßangaben in Meter)

1	Müllsammelbehälter	2	Baustellencontainer
3	Sanitäreinrichtungen	4	PKW-Parkplätze
5	Zuwegung		

In jedem Windpark wird zentrale Infrastruktur benötigt. Zur zentralen Infrastruktur zählen unter anderem das Containerbüro des ENERCON CM, PKW-Parkplätze, Müllsammelbehälter und Sanitäreinrichtungen. Dafür kann eine eigene Fläche als zentrale Anlaufstelle geschaffen werden. Es können auch bestehende Flächen genutzt werden, die ggf. angepasst werden müssen. Die Containerbüros und die Müllsammelbehälter müssen nicht auf derselben Fläche stehen. Die Müllsammelbehälter müssen zum Be- und Entladen von LKW erreichbar sein.

Die Fläche der zentralen Anlaufstelle ist geschottert oder mit Stahl- oder Verbundplatten ausgelegt. Die Tragfähigkeit der Fläche wird für Fahrzeuge mit einer Achslast von 12 t dimensioniert.

Die Baustellenausstattung, die Lage im Windpark sowie Abmessungen und Abstände auf der Fläche werden projektspezifisch mit dem ENERCON GPM abgestimmt. Lokale Gegebenheiten und länderspezifische Vorschriften sind zu berücksichtigen.

Technische Änderungen vorbehalten.

8 Zugang für Servicefahrzeuge nach Inbetriebnahme

Nach Inbetriebnahme der WEA benötigt der Service einen Zugang (Rampe) für Servicefahrzeuge, um schwere Komponenten, wie z. B. Azimutgetriebe, an die Anlage zu bringen. Diese Rampe kann im Zuge des Rückbaus der temporären Montageflächen errichtet werden. Hierzu ist die Technische Spezifikation D02768819 „Anforderungen Zusatzbelastung Fundamentanschüttung und Fundamentauflast für Servicetätigkeiten“ zu beachten, die nur für den Service nach Inbetriebnahme der WEA gilt.

Eine Rampe in der Montagephase ist nicht zulässig!

Technische Änderungen vorbehalten.

Windenergieanlagen werden außen anlagenspezifisch mit dem Grauton EC-F2, der RAL 7038 entspricht, oder mit dem Grauton EC-F3, der RAL 7035 entspricht, beschichtet. Für bestimmte Windenergieanlagentypen ist zudem der Farbton EC-F4, der RAL 9016 entspricht, auf Anfrage verfügbar.

Tab. 1: Windenergieanlagentypen und Farbgebung

Windenergieanlagen-typ	EC-F2 (RAL 7038) Grundfarbe	EC-F3 (RAL 7035) Grundfarbe	EC-F4 (RAL 9016) Sonderfarbe
E-82 EP2 E2	x		
E-82 EP2 E4	x		
E-115 EP3 E3		x	auf Anfrage
E-115 EP3 E4		x	auf Anfrage
E-138 EP3 E2		x	auf Anfrage
E-138 EP3 E3		x	auf Anfrage
E-138 EP3 E4		x	auf Anfrage
E-160 EP5 E3 R1		x	auf Anfrage
E-175 EP5 E1		x	auf Anfrage
E-175 EP5 E2		x	auf Anfrage

Glanzgrad

Der Glanzgrad der verwendeten Farbtöne in den Bereichen Rotorblatt, Gondel und Turm beträgt max. 30 ±10 Glanzeinheiten. Der Glanzgrad vermindert sich im Lauf der Zeit durch Witterungseinflüsse.

Gondelverkleidung

Je nach Baureihe kommen unterschiedliche Materialien und Ausführungen der Gondelverkleidung zum Einsatz. Bei der Ausführung mit glasfaserverstärktem Kunststoff wird die äußere Schicht der Gondelverkleidung in dem entsprechenden Farbton durchgefärbt gefertigt.

Bei Baureihen mit Aluminiumverkleidung können verschiedene Ausführungen zum Einsatz kommen. Entweder wird die Gondelverkleidung nicht beschichtet, sondern mit einem speziellen und umweltfreundlichen Verfahren behandelt. Der so entstehende Farbton unterscheidet sich kaum vom Grauton der anderen Komponenten. Oder die Aluminiumteile werden in dem entsprechenden Farbton außen beschichtet.

Wenn die Gondelverkleidung eine farbliche Kennzeichnung zur Flugsicherung erhalten soll, wird sie jedoch mindestens partiell mit dem geforderten Farbton beschichtet.

Bei den Windenergieanlagentypen E-115 EP3 E4, E-138 EP3 E3, E-138 EP3 E4, E-160 EP5 E3 R1, E-175 EP5 E1 und E-175 EP5 E2 wird die Unterseite der Gondel in feuerverzinktem Stahl gemäß DIN EN ISO 1461 ausgeführt. Die Seitenteile und das Dach werden in Stahl ausgeführt. Die Beschichtung von Seitenteilen und Dach erfüllt außen die Korrosivitätskategorie C5 und innen C3.

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Freigabe: 2024-07-03 11:25

Korrosionsschutz

Bei der Außenbeschichtung am Stahlrohrturm, modularen Stahlturm, Hybrid-Stahlturm und der Stahlsektion am Hybridturm wird standortspezifisch die Korrosivitätskategorie C4 oder C5 erfüllt. Die Innenbeschichtung erfüllt mindestens die Anforderungen der Korrosivitätskategorie C3.

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Freigabe: 2024-07-03 11:25

Technische Beschreibung

Self Supply Mode

ENERCON Windenergieanlagen

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Freigabe: 2024-10-01 12:59

Herausgeber

ENERCON Global 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: Uwe Eberhardt, Ulrich Schulze Südhoff
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 202549
Ust.Id.-Nr.: DE285537483

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 Global GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON Global 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 Global 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 Global 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 Global 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	D0211757/6.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2024-09-16	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Documentation Department

Freigabe: 2024-10-01 12:59

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 4

2 Voraussetzungen 5

2.1 Voraussetzungen für die Aktivierung des Self Supply Mode 5

2.2 Voraussetzungen für den Startprozess der Windenergieanlage 5

3 Funktionsbeschreibung 6

4 Startprozess der Windenergieanlage 7

4.1 Startprozess ohne Netz 7

4.2 Startprozess mit Netz 7

Freigabe: 2024-10-01 12:59

1 Allgemeines

Der Self Supply Mode ist eine Option in der Anlagensteuerung der ENERCON Windenergieanlage.

Es kommt gelegentlich vor, dass einzelne Windenergieanlagen oder ganze Windparks vorübergehend nicht mit dem Netz verbunden werden können oder bis auf weiteres nicht ins Netz einspeisen dürfen.

In diesen Fällen wird bei den Windenergieanlagen der Self Supply Mode in der Steuerung aktiviert, um die elektrischen Komponenten vor Schäden durch Feuchtigkeit oder Kälte zu schützen.

Bei aktiviertem Self Supply Mode produziert die Windenergieanlage Leistung für den Eigenbedarf. Diese Leistung ist dabei auf die benötigte Leistung zur Versorgung der Anlagensteuerung und zur Erwärmung der Komponenten begrenzt. Die Windnachführung und Rotorblattverstellung können betrieben werden, während größere Verbraucher, wie die Rotorblattheizung, deaktiviert bleiben.

Dieses Dokument ist gültig für ENERCON Windenergieanlagen mit folgenden Steuerungstypen:

- CS48, CS82, CS101, CS126, EP3-CS-02, EP4-CS-01, PI-CS[1]

[1] Der Self Supply Mode ist für ENERCON Windenergieanlagen mit dem Steuerungstyp PI-CS nur teilweise verfügbar und ist separat erhältlich.

Freigabe: 2024-10-01 12:59

2 Voraussetzungen

2.1 Voraussetzungen für die Aktivierung des Self Supply Mode

Der Einsatz des Self Supply Mode setzt folgende Eigenschaften der Windenergieanlage voraus:

Allgemein

- ENERCON USV

Anlagensteuerung CS48, CS82, CS101, CS126, EP4-CS-01

- FACTS-1.0-Steuerung oder höher

Hinweis Anlagensteuerung CS101

Bei Windenergieanlagen mit Steuerungstyp CS101 und 2 Turmkabelsystemen sind Änderungen in der Verkabelung notwendig.

Anlagensteuerung EP3-CS-02, PI-CS

- FACTS-2.0-Steuerung

2.2 Voraussetzungen für den Startprozess der Windenergieanlage

Um den Startprozess der Windenergieanlage einzuleiten, müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:

Allgemein

- Self Supply Mode in Anlagensteuerung aktiviert
- FACTS-Betrieb aktiviert (bei Anlagensteuerung PI-CS immer aktiviert)
- STATCOM-Betrieb deaktiviert

Ohne Netz (Anlagensteuerung CS48, CS82, CS101, CS126, EP4-CS-01)

- Sicherungstrenner der Niederspannungsverteilung bzw. alle Leistungsschutzschalter in den Niederspannungsverteilungen ausgeschaltet
- Notstromaggregat vorhanden und angeschlossen
- Leistung der Windenergieanlage auf ca. 50 kW begrenzt

Ohne Netz (Anlagensteuerung EP3-CS-02)

- Sicherungstrenner der Niederspannungsverteilung bzw. alle Leistungsschutzschalter in den Niederspannungsverteilungen ausgeschaltet
- Notstromaggregat und Self Supply Box vorhanden und angeschlossen
- Leistung der Windenergieanlage auf ca. 25 kW begrenzt

Ohne Netz (Anlagensteuerung PI-CS) - optional

- Sicherungstrenner der Niederspannungsverteilung bzw. alle Leistungsschutzschalter in den Niederspannungsverteilungen ausgeschaltet
- Notstromaggregat und Self Supply Box vorhanden und angeschlossen
- Leistung der Windenergieanlage auf ca. 25 kW begrenzt

Freigabe: 2024-10-01 12:59

3 Funktionsbeschreibung

Durch den Self Supply Mode ist sichergestellt, dass die gesamte Anlagensteuerung mit Spannung versorgt wird, ohne dass ein Leistungsaustausch mit dem Netz stattfindet. Die Anlagensteuerung ist in der Lage, Maßnahmen zum Schutz der Windenergieanlage zu ergreifen. Ein Vorteil des Self Supply Mode ist, dass Wartezeiten bis zur Verfügbarkeit des Netzes für Wartungszwecke oder Funktionstests genutzt werden können. Im Folgenden werden einige Maßnahmen und Vorteile, die der Self Supply Mode ermöglicht, beschrieben.

Vermeidung von Wassereintritt im Gondelbereich

Die Gewährleistung der Windnachführung der Gondel ist eine Grundvoraussetzung für die Vermeidung von Wassereintritt im Gondelbereich. Im Normalbetrieb ist die Gondel in den Wind gerichtet. Die Außenverkleidung und die Dichtungssysteme sind so ausgelegt, dass in diesem Fall ein Wassereintritt verhindert wird. Bei einer Fehlausrichtung der Gondel strömen Wind und Regen in einem anderen Winkel auf die Gondel. In diesem Fall kann ein Wassereintritt nicht optimal verhindert werden. Schädigungen im Bereich der elektrotechnischen und elektromechanischen Komponenten könnten die Folge sein. Im Self Supply Mode wird die korrekte Ausrichtung der Gondel sichergestellt.

Überprüfung aller Anlagenkomponenten

Der Self Supply Mode bietet die Möglichkeit, auch bei Nichtverfügbarkeit des Netzanschlusses die Funktion der Windenergieanlage zu testen. Der Self Supply Mode versetzt die Windenergieanlage in einen betriebsbereiten Zustand, wodurch die gesamte Funktion der Windenergieanlage bis auf die Leistungsabgabe getestet und im Fehlerfall repariert werden kann. Das Erkennen und Beheben von eventuellen Fehlern, in der Zeit bis zum Netzanschluss, ergibt somit zeitliche Vorteile bei der weiteren Inbetriebnahme der Windenergieanlage.

Durch den Einsatz des Self Supply Mode können vorgesehene Wartungen auch ohne Netzanschluss durchgeführt werden. Dies führt zu einer Optimierung der Wartungseinsätze, eventuelle Ertragseinbußen können reduziert oder verhindert werden.

Vermeidung von zu hoher Luftfeuchtigkeit und Betauung

Im Self Supply Mode werden die Systeme der Windenergieanlage erwärmt. Diese Eigenerwärmung verhindert Schäden an der Windenergieanlage, die durch Betauung und zu hohe Feuchtigkeit beim Überbrücken längerer Wartezeiten entstehen können.

In der Windenergieanlage befinden sich mehrere Leistungsschränke, die jeweils mit einem Chopperwiderstand ausgestattet sind. Im Normalbetrieb hat dieser Widerstand die Aufgabe, im Falle eines netzseitigen Fehlers die elektrische Energie, die vom Generator kontinuierlich bereitgestellt wird und nicht ins Netz eingespeist werden kann, in Wärme umzuwandeln. Diese Funktionalität wird vom Self Supply Mode ausgenutzt, indem die vom Generator erzeugte Energie, die den Eigenbedarf der Anlagensteuerung überschreitet, mit den Chopperwiderständen schnell in Wärme umgewandelt wird. Da die Wärmekapazität der Chopperwiderstände begrenzt ist, werden diese im Self Supply Mode sequentiell in Gruppen aktiviert bzw. deaktiviert.

Im Betrieb entsteht durch den Generator und die Azimut- und Blattverstellmotoren Wärme, die die Temperatur in der Gondel erhöht. Bei sehr niedrigen Temperaturen werden zusätzlich installierte Heizungen genutzt.

Freigabe: 2024-10-01 12:59

4 Startprozess der Windenergieanlage

4.1 Startprozess ohne Netz

Das Notstromaggregat bzw. die Self Supply Box und die Windenergieanlage müssen manuell gestartet werden. Danach stellt die Anlagensteuerung die Betriebsbereitschaft her und ermittelt die Windverhältnisse.

Sind die Windverhältnisse nicht ausreichend für einen Betrieb der Windenergieanlage oder es liegt eine Störung vor, wird das Notstromaggregat wieder angehalten bzw. die Self Supply Box getrennt und der Startprozess abgebrochen.

Sind die Windverhältnisse ausreichend für einen Betrieb der Windenergieanlage und es liegt keine Störung vor, wird die Windenergieanlage gestartet.

Sobald genügend Energie für den Eigenbedarf bereitsteht, wird das Notstromaggregat angehalten bzw. die Self Supply Box getrennt.

4.2 Startprozess mit Netz

Ist die Windenergieanlage ans Netz angeschlossen, muss die Windenergieanlage manuell gestartet werden. Danach stellt die Anlagensteuerung die Betriebsbereitschaft her und ermittelt die Windverhältnisse.

Sind die Windverhältnisse nicht ausreichend für einen Betrieb der Windenergieanlage oder es liegt eine Störung vor, wird der Startprozess abgebrochen.

Sind die Windverhältnisse ausreichend für einen Betrieb der Windenergieanlage und es liegt keine Störung vor, wird die Windenergieanlage gestartet.

Freigabe: 2024-10-01 12:59

Technische Beschreibung

Aufstiegshilfe

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

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, Jost Backhaus, Momme Janssen, 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

Dokument-ID	D0917105-1
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2020-11-12	de	DB	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

Allgemeine Informationen

Die Aufstiegshilfe ist ein geschlossenes System zur Personen- und Materialbeförderung mit einer Nutzlast von mindestens 240 kg. Sie bewegt sich mit Hilfe eines eingebauten Treibscheibenhubwerks an einem gespannten Tragseil auf- und abwärts. Das Tragseil ist oben an einer Traverse befestigt und unten durch Gewichte gespannt.

Die Aufstiegshilfe wird an einem Sicherheitsseil durch eine Fangvorrichtung gesichert. Die Fangvorrichtung löst bei zu hoher Absenkgeschwindigkeit aus und stoppt den Fahrkorb.

Das Treibscheibenhubwerk ist zum Schutz vor Überlastung mit einem Hubkraftbegrenzer ausgestattet. Weitere Sicherheitseinrichtungen verhindern die Fahrt der Aufstiegshilfe u. a. bei geöffneter Tür und beim Erreichen von Endpunkten des Fahrwegs. Bei Stromausfall ermöglicht ein Handrad die manuelle Bedienung des Treibscheibenhubwerks. Im Fahrkorb befindet sich eine Notbeleuchtung.

Die Aufstiegshilfe wird im Fahrkorb bedient. Im Notfall darf sie an der Not-Bedienstelle in der Nähe des Startpunkts bedient werden.

Die Aufstiegshilfe wird, abhängig von der Turmkonstruktion, als seilgeführte und als leitergeführte Variante eingebaut. Dies ist in der technischen Beschreibung jedes Turms festgelegt.

Alle Varianten der Aufstiegshilfe sind baumustergeprüft. Sie erfüllen der Anforderungen der Maschinenrichtlinie (RL 2006/42/EG).

Zur Inbetriebnahme wird ein Dokumentensatz zur Verfügung gestellt, der u. a. Betriebsanleitung, Baumusterprüfbescheinigung und EG-Konformitätserklärung enthält.

Seilgeführte Aufstiegshilfe

Die Aufstiegshilfe wird mit Rollen an gespannten Führungsseilen geführt.

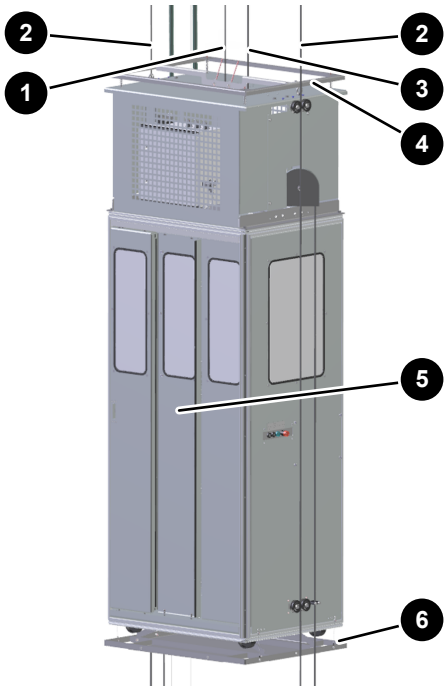


Abb. 1: Fahrkorb seilgeführte Aufstiegshilfe

1	Tragseil	2	Führungsseil
3	Sicherheitsseil	4	Dachtaster
5	Fahrkorbtür	6	Bodentaster

Leitergeführte Aufstiegshilfe

Die Aufstiegshilfe wird mit Rollen an den Holmen der Sicherheitssteigleiter geführt.

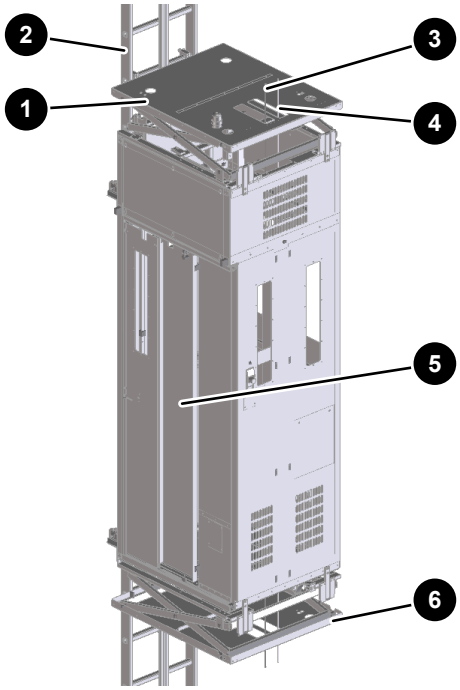


Abb. 2: Fahrkorb leitergeführte Aufstiegshilfe

1	Dachtaster	2	Sicherheitssteigleiter
3	Sicherheitsseil	4	Tragseil
5	Fahrkorbtür	6	Bodentaster

Technische Beschreibung

Aerodynamische Anbauteile am ENERCON Rotorblatt

E70-4, E82-2, E-82 EP2-RB-05, E92-1, E-115 EP3-RB-03, E-138 EP3-RB-02 und E-175 EP5-RB-01

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Herausgeber

ENERCON Global 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: Uwe Eberhardt, Ulrich Schulze Südhoff
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 202549
Ust.Id.-Nr.: DE285537483

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 Global GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON Global 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 Global 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 Global 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 Global 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	D02434406/1.1-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2024-06-20	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Documentation Department

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

2 Hinterkantenkamm (TES) 5

3 Vortexgeneratoren 8

4 Gurney Flaps 11

1 Einleitung

Durch strömungsbeeinflussende Maßnahmen an Rotorblättern können an gezielten Stellen des Rotorblatts aerodynamische und akustische Optimierungen erreicht werden.

Dieses Dokument gilt für eigenentwickelte Rotorblätter der Firma ENERCON. Es beschreibt die mögliche Ausstattung der Rotorblätter mit aerodynamischen Anbauteilen.

2 Hinterkantenkamm (TES)

Allgemeines

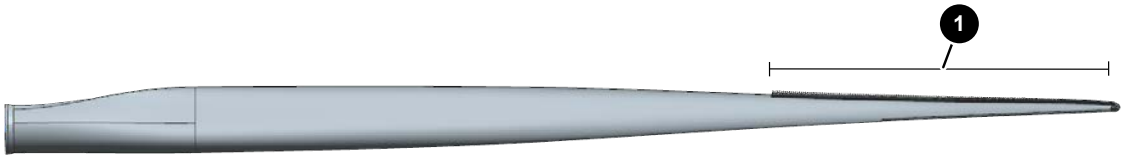


Abb. 1: Position der Hinterkantenkammsegmente am Rotorblatt

1	Hinterkantenkammsegmente

Abb. 2: Hinterkantenkammsegment

Auf der Saug- und Druckseite des Rotorblatts herrschen unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten. Dadurch kommt es an der Hinterkante zu Turbulenzen und der Geräuschpegel im Betrieb der ENERCON Windenergieanlage steigt an.

Um diesen Geräuschpegel zu senken, wird ein Zackenprofil an der Hinterkante montiert. Dieses Profil wird als Hinterkantenkamm (engl. Trailing Edge Serration, kurz TES) bezeichnet.

Der Hinterkantenkamm (TES) ist serienmäßig auf der Hinterkante der Rotorblätter installiert.

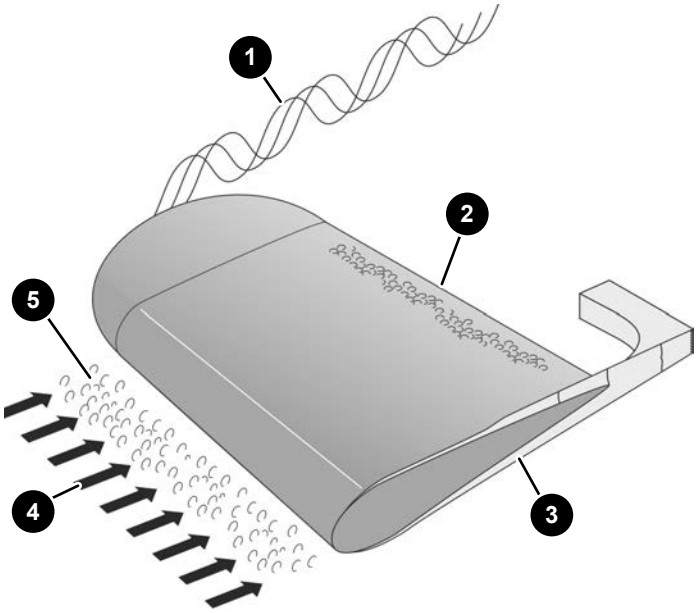


Abb. 3: Strömung am Rotorblatt

1	Blattspitzenverwirbelung	2	Turbulenzballen an der Hinterkante
3	Grenzschicht	4	Anströmung
5	Turbulenzballen in der Anströmung		

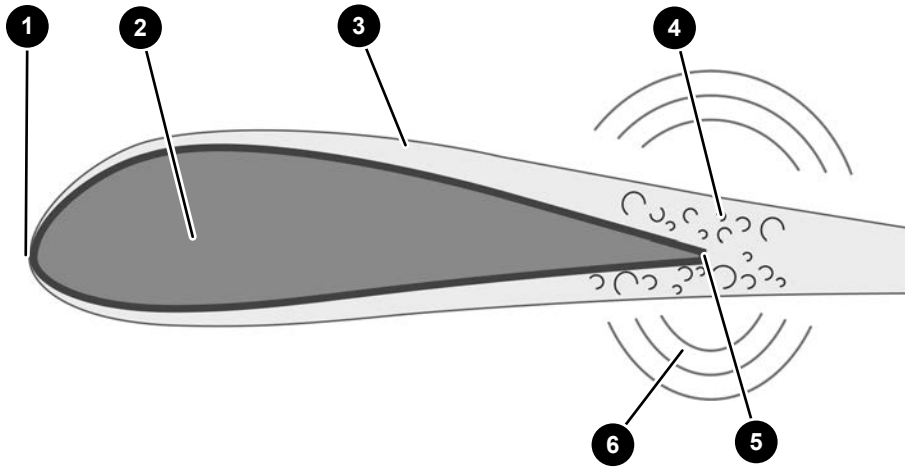


Abb. 4: Entstehung des Hinterkantengeräuschs

1	Vorderkante	2	Querschnitt des Rotorblatts
3	Grenzschicht	4	Turbulenzballen
5	Hinterkante	6	Emission der Hinterkante

Entstehung von Strömungslärm

Die wichtigste Ursache für den Strömungslärm ist die sich an der Oberfläche der Rotorblätter ausbildende turbulente Grenzschicht, in der sich Turbulenzballen bilden. Treffen die Turbulenzballen auf die Hinterkante, produzieren sie entsprechend ihrer Größe Druckschwankungen, die als breitbandige aerodynamische Geräusche abstrahlen.

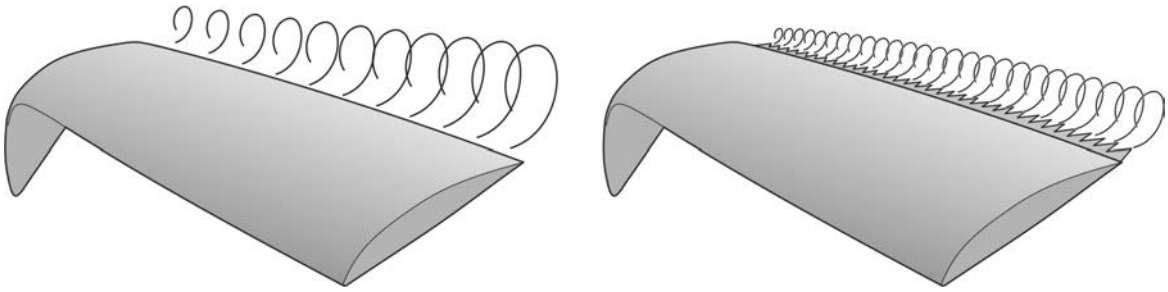


Abb. 5: Turbulenzen ohne Hinterkantenkamm (links) und mit Hinterkantenkamm (rechts)

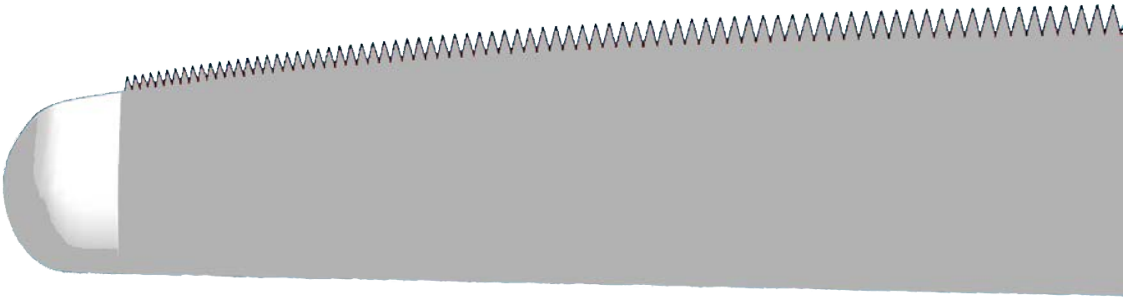


Abb. 6: Hinterkantenkamm TES

Funktion

Eine gezackte Verlängerung der Hinterkante reduziert die akustische Emission, indem die Turbulenzballen an den Flanken der Zacken in kleinere Turbulenzballen aufgebrochen werden. Die Stärke der Druckschwankungen wird reduziert, was zu einer verminderten akustischen Abstrahlung führt. Da die Intensität der Schallabstrahlung erheblich von der lokalen Strömungsgeschwindigkeit abhängig ist, werden Hinterkantenkämme nur im äußeren Rotorblattbereich angebracht, wo die Rotationsgeschwindigkeit am größten ist.

Da sich die Strömungsbedingungen entlang des Rotorblatts verändern, muss auch die Zackengröße in Abstand und Länge funktional an die lokalen Strömungsbedingungen angepasst werden. Die Verteilung der Zackengröße entlang der Rotorblätter führt zu einer optimalen Schallreduktion.

Der Hinterkantenkamm hat keinen Einfluss auf die Leistungskennlinie oder auf die c_t- und c_p-Kennlinien. Der Hinterkantenkamm dient ausschließlich der Schallreduktion.

3 Vortexgeneratoren

Allgemeines

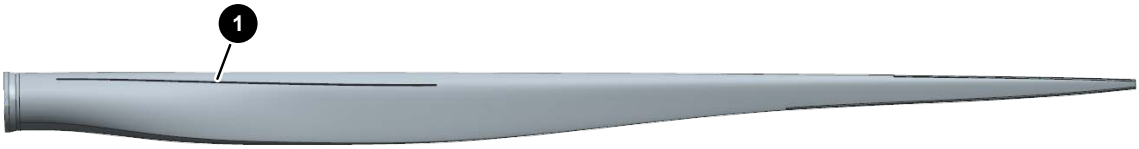


Abb. 7: Position der Vortexgeneratoren an der Saugseite

Abb. 8: Vortexgenerator auf Grundplatte

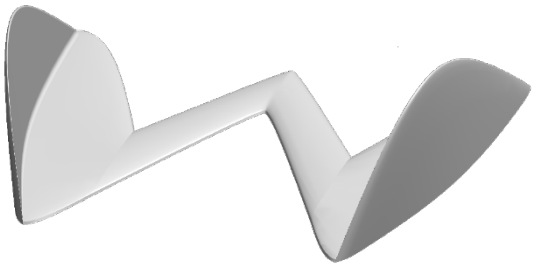


Abb. 9: Vortexgenerator 3.0 (ab E-175 EP5-RB-01)

Die Vortexgeneratoren sind auf der saugseitigen Oberfläche des Rotorblatts in einem fest definierten Winkel zur Anströmrichtung montiert. Vortexgeneratoren gibt es in verschiedenen Ausführungen, siehe Abb. 8, S. 8 und Abb. 9, S. 8.

Vortexgeneratoren sind serienmäßig auf dem Rotorblatt installiert.

Funktion

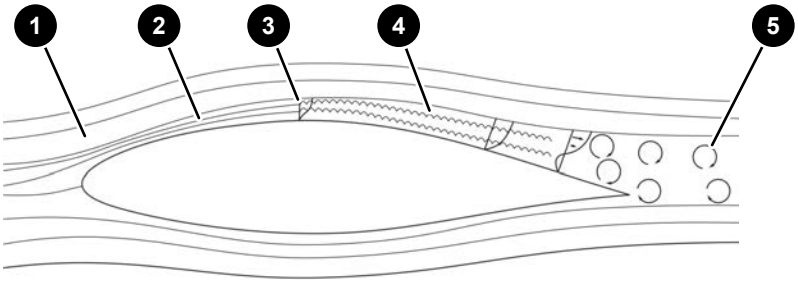


Abb. 10: Grenzschichtströmung um ein aerodynamisches Profil

1	Außenströmung v_∞	2	Grenzschichtströmung
3	Umschlagpunkt	4	turbulente Strömung
5	Strömungsablösung		

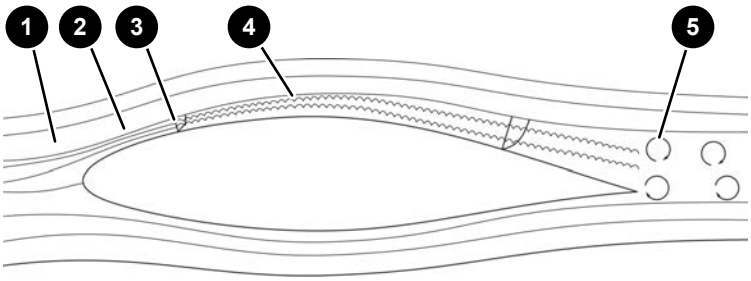


Abb. 11: Grenzschichtströmung um ein aerodynamisches Profil mit Vortexgenerator

1	Außenströmung v_∞	2	Grenzschichtströmung
3	Umschlagpunkt, Position des Vortexgenerators	4	turbulente Strömung
5	Strömungsablösung		

Vortexgeneratoren werden an den Querschnittsbereichen des Rotorblatts angewendet, bei denen sich das Profil ablöst oder zur Ablösung neigt. Die Wirkung eines Vortexgenerators besteht darin, dass der durch Reibung abgebremsten, energiearmen oberflächennahen Strömung (auch Grenzschicht genannt) durch die erzeugten Wirbel energiereiche Strömung von außerhalb der Grenzschicht zugeführt wird. Die oberflächennahe Strömung wird mit „frischer“, schnellerer Strömung durchmischt und so künstlich beschleunigt. Dadurch ist die Strömung in der Lage, einen größeren Druckanstieg zu überwinden und kann die Profilkontur auch in den Fällen umströmen, in denen sich die Strömung am Profil ohne Vortexgeneratoren ablösen würde, siehe in Abb. 10, S. 8 und Abb. 11, S. 9.

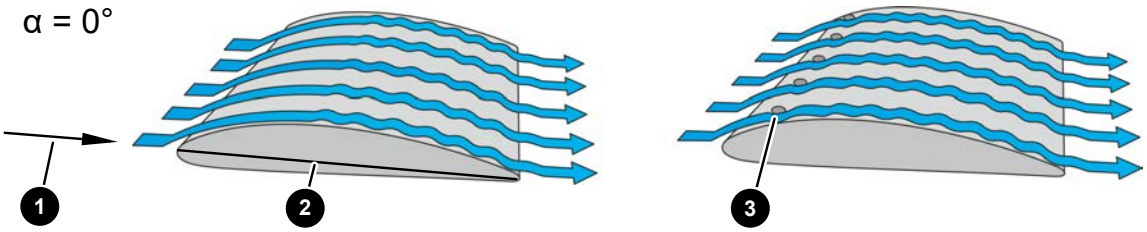


Abb. 12: Anströmung bei einem Profilanstellwinkel α von 0° ohne und mit Vortexgeneratoren

1	Anströmrichtung	2	Profilsehne
3	Vortexgenerator		

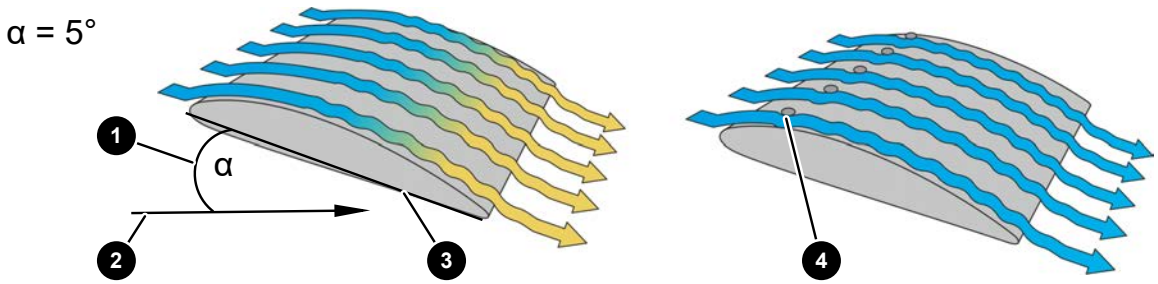


Abb. 13: Anströmung bei einem Profilanstellwinkel α von 5° ohne und mit Vortexgeneratoren

1	Profilanstellwinkel	2	Anströmung
3	Profilsehne	4	Vortexgenerator

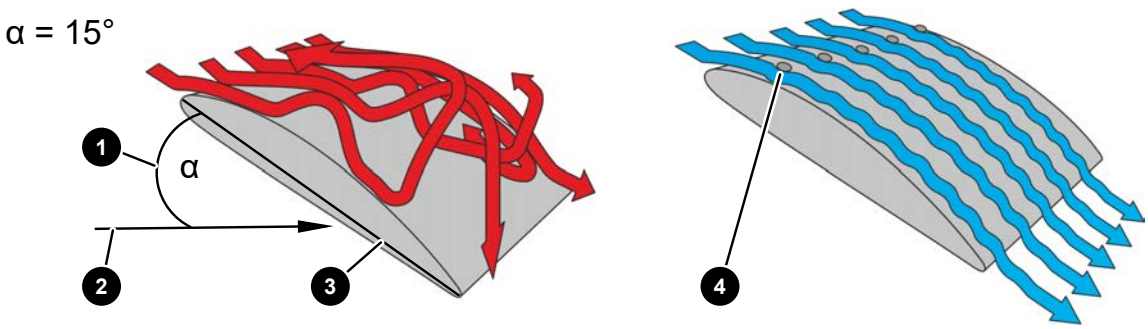


Abb. 14: Anströmung bei einem Profilanstellwinkel α von 15° ohne und mit Vortexgeneratoren

1	Profilanstellwinkel	2	Anströmrichtung
3	Profilsehne	4	Vortexgenerator

Vortexgeneratoren werden eingesetzt, um die Strömung im Bereich der Hinterkante länger festzuhalten.

Mit Vortexgeneratoren lässt sich, insbesondere bei dicken Profilen, die im Blattinnenbereich zu finden sind, der Strömungsabriss zu höheren Profilanstellwinkeln verschieben. Durch die hieraus resultierende Auftriebserhöhung wird eine Leistungssteigerung erreicht.

4 Gurney Flaps

Die Anwendung der Gurney Flaps erfolgt lediglich am Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 der Windenergieanlage E-138 EP3 E3.

Allgemeines

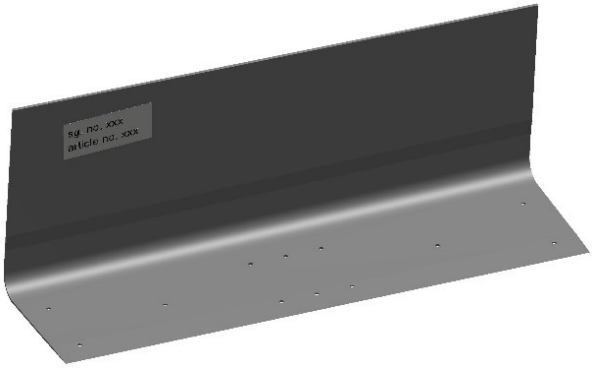


Abb. 15: Gurney Flap-Segment

Funktion

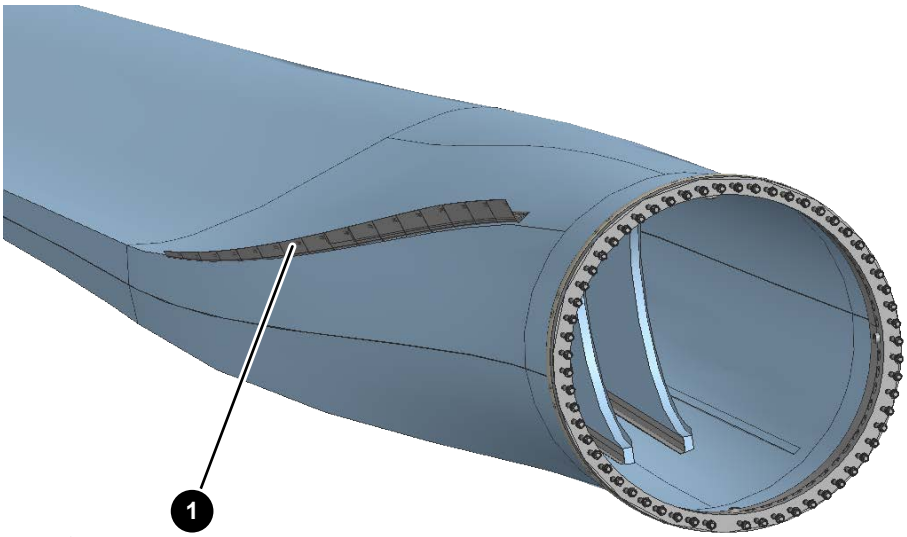


Abb. 16: Position der Gurney Flap-Segmente auf der Druckseite des Rotorblatts

1	Gurney Flap-Segment

Gurney Flaps sind aerodynamische Anbauteile, die den Auftrieb eines aerodynamischen Profils vergrößern.

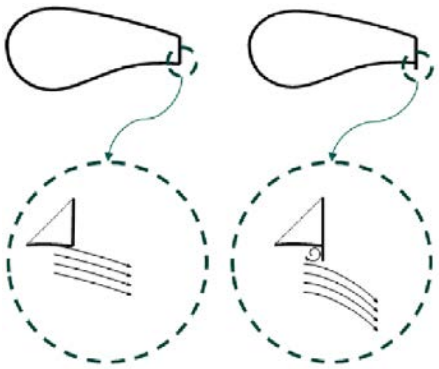


Abb. 17: Strömungsverlauf ohne Gurney Flaps (links) und mit Gurney Flaps (rechts) an der Endkante

Gurney Flaps, die auf der Druckseite in der Nähe der Hinterkante eines Rotorblatts installiert sind, verändern die lokale Luftströmung so, dass die Stromlinien an der Hinterkante stärker abgelenkt werden, was zu einer Erhöhung des Auftriebs führt. Insbesondere der Einsatz von Gurney Flaps im nabennahen Bereich eines Rotorblatts kann zu einer erheblichen Verbesserung der Energieausbeute der ENERCON Windenergieanlage führen.

Technisches Datenblatt

Leistungsverhalten bei aktivierter sektorieller Abregelung

ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 E1 / 6000 kW

Betriebsmodus OM-0-0

Technische Änderungen vorbehalten.

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Herausgeber

ENERCON Global 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: Uwe Eberhardt, Ulrich Schulze Südhoff
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 202549
Ust.Id.-Nr.: DE285537483

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 Global GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON Global 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 Global 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 Global 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 Global 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.

Technische Änderungen vorbehalten.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D02786071/2.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2024-10-07	de	DA	WRD Wobben Research and Development GmbH / Documentation Department

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 61400-12-1:2017	Wind energy generation systems – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines

Zugehörige Dokumente

Dokument-ID	Dokument
D02551657	Technische Beschreibung Sektormanagement (PI-CS)
diverse	Garantie des Leistungsverhaltens für ENERCON Windenergieanlagen

Technische Änderungen vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

1 Leistungsverhalten 5
- **1.1 Standort 5**
- **1.2 Betriebsparameter 5**
- **1.3 Betriebsmodi Lasten 5**
- **1.4 Parametrierung der Sektoren 5**
- **1.5 Turbulenzintensität 6**

2 Leistungs- und Schubbeiwerte bei sektorieller Abregelung Betriebsmodus OM-0-0 8

Technische Änderungen vorbehalten.

1 Leistungsverhalten

Die in diesem Dokument angegebenen Leistungswerte, Leistungsbeiwerte (c_p-Werte) und Schubbeiwerte (c_t-Werte) sind prognostizierte Werte, deren Erreichen ENERCON nach dem aktuellen Entwicklungsstand dieses Windenergieanlagentyps für hinreichend wahrscheinlich hält. Das Leistungsverhalten der Windenergieanlage wird ausschließlich unter den im Dokument „Garantie des Leistungsverhaltens für ENERCON Windenergieanlagen“ beschriebenen Bedingungen gewährleistet.

1.1 Standort

Die Leistungs-, c_p- und c_t-Kennlinien sind für die in Tab. 1, S. 5 angegebenen Bedingungen bei unbeschädigten Blattvorderkanten und sauberen Rotorblättern berechnet. Die Berechnungen beruhen auf der Erfahrung mit Windenergieanlagen an den unterschiedlichsten Standorten.

Tab. 1: Standortbedingungen

Parameter	Wert (10-Minuten-Mittel)
Standardluftdichte	1,225 kg/m^3
Turbulenzintensität	gemäß Kap. 1.5, S. 6
Höhenexponent	0,0 bis 0,3
maximale Windrichtungsdifferenz zwischen unterem und oberem Tip	10°
maximale Schräganströmung	±2°
Terrain	gemäß IEC 61400-12-1:2017
Schnee/Eis	nein
Regen	nein

Im Übrigen gelten die Rahmenbedingungen gemäß IEC 61400-12-1:2017.

1.2 Betriebsparameter

Einstellungen der Blindleistungserzeugung der Windenergieanlage sowie Steuerungen und Regelungen von Windparks haben einen Einfluss auf das Leistungsverhalten. Die in diesem Dokument angegebenen berechneten Leistungs-, c_p- und c_t-Kennlinien gelten unter der Voraussetzung eines uneingeschränkten Betriebs.

1.3 Betriebsmodi Lasten

Bei den Betriebsmodi Lasten (BML) wird der minimale Blattverstellwinkel ausgehend von Betriebsmodus OM-0 um jeweils einen halben Grad vergrößert. Die fortlaufende Zahl in der Bezeichnung der Modi gibt an, um wieviel Grad der minimale Blattverstellwinkel von Betriebsmodus OM-0 angehoben wurde.

1.4 Parametrierung der Sektoren

Informationen zur Parametrierung der Sektoren sind dem ENERCON Dokument D02551657 „Technische Beschreibung Sektormanagement (PI-CS)“ zu entnehmen.

Technische Änderungen vorbehalten.

1.5 Turbulenzintensität

Die nachfolgende Tabelle definiert den Gültigkeitsbereich der Leistungs-, c_p- und c_t-Kennlinien hinsichtlich möglicher am Standort vorherrschender Turbulenzintensitäten. Weitere Einschränkungen sind Tab. 1, S. 5 zu entnehmen.

Tab. 2: Turbulenzintensität

Windgeschwindigkeit in m/s	Untere Grenze Turbulenzintensität in %	Obere Grenze Turbulenzintensität in %
0,00	20,00	40,00
0,50	20,00	40,00
1,00	20,00	40,00
1,50	20,00	40,00
2,00	20,00	40,00
2,50	20,00	40,00
3,00	18,32	34,02
3,50	16,45	30,55
4,00	15,05	27,95
4,50	13,96	25,93
5,00	13,09	24,31
5,50	12,38	22,99
6,00	11,78	21,88
6,50	11,28	20,95
7,00	10,85	20,15
7,50	10,48	19,46
8,00	10,15	18,85
8,50	9,86	18,31
9,00	9,61	17,84
9,50	9,38	17,41
10,00	9,17	17,03
10,50	8,98	16,68
11,00	8,81	16,37
11,50	8,66	16,08
12,00	8,52	15,82
12,50	8,39	15,57
13,00	8,27	15,35
13,50	8,15	15,14
14,00	8,05	14,95
14,50	7,95	14,77
15,00	7,86	14,60

Technische Änderungen vorbehalten.

Windgeschwindigkeit in m/s	Untere Grenze Turbulenz-intensität in %	Obere Grenze Turbulenzin-tensität in %
15,50	7,78	14,45
16,00	7,70	14,30
16,50	7,63	14,16
17,00	7,56	14,03
17,50	7,49	13,91
18,00	7,43	13,79
18,50	7,37	13,69
19,00	7,31	13,58
19,50	7,26	13,48
20,00	7,21	13,39
20,50	7,16	13,30
21,00	7,12	13,22
21,50	7,07	13,14
22,00	7,03	13,06
22,50	6,99	12,99
23,00	6,95	12,92
23,50	6,92	12,85
24,00	6,88	12,78
24,50	6,85	12,72
25,00	6,82	12,66

Technische Änderungen vorbehalten.

2 Leistungs- und Schubbeiwerte bei sektorieller Abregelung Betriebsmodus OM-0-0

Tab. 3: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die Betriebsmodi Lasten (BML) 1 s bis 3 s

BML	1 s			2 s			3 s		
α_{min} in °	-1,0			-0,5			0,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	58	0,25	0,67	58	0,25	0,65	58	0,25	0,63
3,00	147	0,37	0,81	146	0,37	0,78	145	0,37	0,76
3,50	271	0,43	0,82	270	0,43	0,80	267	0,42	0,77
4,00	437	0,46	0,82	433	0,46	0,80	429	0,46	0,77
4,50	646	0,48	0,81	641	0,48	0,79	634	0,47	0,76
5,00	896	0,49	0,81	889	0,48	0,78	878	0,48	0,75
5,50	1197	0,49	0,80	1186	0,48	0,77	1172	0,48	0,75
6,00	1553	0,49	0,79	1539	0,48	0,76	1520	0,48	0,74
6,50	1968	0,49	0,78	1949	0,48	0,76	1923	0,48	0,73
7,00	2439	0,48	0,77	2414	0,48	0,75	2382	0,47	0,72
7,50	2959	0,48	0,76	2929	0,47	0,73	2889	0,47	0,71
8,00	3508	0,47	0,73	3473	0,46	0,71	3427	0,45	0,69
8,50	4055	0,45	0,70	4018	0,44	0,68	3968	0,44	0,66
9,00	4564	0,43	0,66	4530	0,42	0,64	4479	0,42	0,62
9,50	5004	0,40	0,60	4974	0,39	0,59	4928	0,39	0,58
10,00	5353	0,36	0,55	5331	0,36	0,54	5292	0,36	0,53
10,50	5610	0,33	0,49	5594	0,33	0,48	5565	0,33	0,48
11,00	5785	0,30	0,43	5774	0,29	0,43	5754	0,29	0,42
11,50	5895	0,26	0,38	5889	0,26	0,37	5876	0,26	0,37
12,00	5961	0,23	0,33	5957	0,23	0,33	5949	0,23	0,33
12,50	5997	0,21	0,29	5996	0,21	0,29	5991	0,21	0,29
13,00	6000	0,19	0,25	6000	0,19	0,25	6000	0,19	0,25
13,50	6000	0,17	0,23	6000	0,17	0,23	6000	0,17	0,23
14,00	6000	0,15	0,20	6000	0,15	0,20	6000	0,15	0,20

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	1 s			2 s			3 s		
α_{min} in °	-1,0			-0,5			0,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
14,50	6000	0,13	0,18	6000	0,13	0,18	6000	0,13	0,18
15,00	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16
15,50	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15
16,00	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13
16,50	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12
17,00	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11
17,50	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10
18,00	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09
18,50	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09
19,00	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08
19,50	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07
20,00	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07
20,50	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 4: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 4 s bis 6 s

BML	4 s			5 s			6 s		
α_{min} in °	0,5			1,0			1,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	57	0,25	0,61	57	0,25	0,58	56	0,24	0,56
3,00	144	0,36	0,73	142	0,36	0,71	139	0,35	0,68
3,50	264	0,42	0,75	259	0,41	0,72	253	0,40	0,69
4,00	423	0,45	0,74	415	0,44	0,72	405	0,43	0,69
4,50	625	0,47	0,74	613	0,46	0,71	599	0,45	0,68
5,00	865	0,47	0,73	848	0,46	0,70	828	0,45	0,67
5,50	1154	0,47	0,72	1131	0,46	0,69	1105	0,45	0,66
6,00	1495	0,47	0,71	1465	0,46	0,68	1430	0,45	0,65
6,50	1892	0,47	0,70	1853	0,46	0,68	1809	0,45	0,65
7,00	2342	0,46	0,69	2294	0,45	0,67	2239	0,44	0,64
7,50	2841	0,46	0,68	2783	0,45	0,66	2718	0,44	0,63
8,00	3371	0,45	0,66	3306	0,44	0,64	3232	0,43	0,61
8,50	3908	0,43	0,64	3839	0,42	0,62	3760	0,42	0,60
9,00	4420	0,41	0,61	4351	0,41	0,59	4274	0,40	0,57
9,50	4873	0,39	0,57	4811	0,38	0,55	4742	0,38	0,54
10,00	5246	0,36	0,52	5195	0,35	0,51	5137	0,35	0,50
10,50	5530	0,32	0,47	5491	0,32	0,46	5448	0,32	0,45
11,00	5729	0,29	0,42	5702	0,29	0,41	5671	0,29	0,41
11,50	5860	0,26	0,37	5842	0,26	0,37	5822	0,26	0,36
12,00	5939	0,23	0,33	5929	0,23	0,32	5917	0,23	0,32
12,50	5985	0,21	0,29	5979	0,21	0,29	5972	0,21	0,29
13,00	6000	0,19	0,25	6000	0,19	0,25	6000	0,19	0,25
13,50	6000	0,17	0,23	6000	0,17	0,23	6000	0,17	0,23
14,00	6000	0,15	0,20	6000	0,15	0,20	6000	0,15	0,20
14,50	6000	0,13	0,18	6000	0,13	0,18	6000	0,13	0,18
15,00	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	4 s			5 s			6 s		
α_{min} in °	0,5			1,0			1,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15
16,00	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13
16,50	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12
17,00	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11
17,50	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10
18,00	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09
18,50	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09
19,00	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08
19,50	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07
20,00	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07
20,50	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 5: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 7 s bis 9 s

BML	7 s			8 s			9 s		
α_{min} in °	2,0			2,5			3,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	55	0,24	0,54	52	0,23	0,52	50	0,22	0,49
3,00	135	0,34	0,65	130	0,33	0,63	125	0,31	0,60
3,50	246	0,39	0,66	238	0,38	0,64	229	0,36	0,61
4,00	394	0,42	0,66	382	0,41	0,63	368	0,39	0,60
4,50	582	0,43	0,65	564	0,42	0,62	544	0,41	0,59
5,00	806	0,44	0,64	780	0,42	0,61	753	0,41	0,58
5,50	1074	0,44	0,63	1040	0,42	0,60	1004	0,41	0,58
6,00	1391	0,44	0,63	1347	0,42	0,60	1300	0,41	0,57
6,50	1758	0,44	0,62	1703	0,42	0,59	1643	0,41	0,56
7,00	2177	0,43	0,61	2109	0,42	0,58	2034	0,40	0,55
7,50	2644	0,43	0,60	2562	0,41	0,57	2473	0,40	0,55
8,00	3148	0,42	0,59	3054	0,41	0,56	2953	0,39	0,54
8,50	3670	0,41	0,57	3569	0,39	0,55	3458	0,38	0,52
9,00	4184	0,39	0,55	4080	0,38	0,53	3966	0,37	0,51
9,50	4658	0,37	0,52	4559	0,36	0,50	4450	0,35	0,48
10,00	5066	0,34	0,48	4977	0,34	0,47	4881	0,33	0,46
10,50	5391	0,32	0,44	5318	0,31	0,43	5240	0,31	0,42
11,00	5629	0,29	0,40	5575	0,28	0,40	5516	0,28	0,39
11,50	5794	0,26	0,36	5755	0,26	0,36	5714	0,26	0,35
12,00	5899	0,23	0,32	5873	0,23	0,32	5846	0,23	0,32
12,50	5961	0,21	0,28	5946	0,21	0,28	5929	0,21	0,28
13,00	5997	0,19	0,25	5988	0,19	0,25	5978	0,19	0,25
13,50	6000	0,17	0,22	6000	0,17	0,22	6000	0,17	0,22
14,00	6000	0,15	0,20	6000	0,15	0,20	6000	0,15	0,20
14,50	6000	0,13	0,18	6000	0,13	0,18	6000	0,13	0,18
15,00	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	7 s			8 s			9 s		
α_{min} in °	2,0			2,5			3,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15
16,00	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13
16,50	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12
17,00	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11
17,50	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10
18,00	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09
18,50	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09
19,00	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08
19,50	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07
20,00	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07
20,50	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 6: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 10 s bis 12 s

BML	10 s			11 s			12 s		
α_{min} in °	3,5			4,0			4,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	47	0,20	0,47	44	0,19	0,45	40	0,17	0,42
3,00	119	0,30	0,57	113	0,28	0,54	106	0,27	0,51
3,50	219	0,35	0,58	209	0,33	0,55	199	0,32	0,52
4,00	353	0,37	0,57	338	0,36	0,54	322	0,34	0,52
4,50	523	0,39	0,56	501	0,37	0,53	478	0,36	0,51
5,00	724	0,39	0,55	694	0,38	0,53	662	0,36	0,50
5,50	965	0,39	0,55	925	0,38	0,52	883	0,36	0,49
6,00	1249	0,39	0,54	1197	0,38	0,51	1142	0,36	0,48
6,50	1579	0,39	0,53	1512	0,37	0,50	1443	0,36	0,48
7,00	1956	0,39	0,53	1873	0,37	0,50	1788	0,35	0,47
7,50	2379	0,38	0,52	2280	0,37	0,49	2178	0,35	0,46
8,00	2844	0,38	0,51	2730	0,36	0,48	2611	0,35	0,46
8,50	3339	0,37	0,50	3214	0,36	0,47	3081	0,34	0,45
9,00	3845	0,36	0,49	3714	0,35	0,46	3573	0,33	0,44
9,50	4334	0,34	0,47	4206	0,33	0,45	4064	0,32	0,43
10,00	4780	0,32	0,44	4662	0,32	0,43	4528	0,31	0,41
10,50	5156	0,30	0,41	5056	0,30	0,40	4939	0,29	0,39
11,00	5453	0,28	0,38	5374	0,27	0,37	5278	0,27	0,36
11,50	5670	0,25	0,35	5611	0,25	0,34	5539	0,25	0,33
12,00	5817	0,23	0,31	5777	0,23	0,31	5726	0,23	0,30
12,50	5912	0,21	0,28	5886	0,21	0,28	5852	0,20	0,27
13,00	5968	0,18	0,25	5952	0,18	0,25	5931	0,18	0,25
13,50	6000	0,17	0,22	5991	0,17	0,22	5979	0,17	0,22
14,00	6000	0,15	0,20	6000	0,15	0,20	6000	0,15	0,20
14,50	6000	0,13	0,18	6000	0,13	0,18	6000	0,13	0,18
15,00	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	10 s			11 s			12 s		
α_{min} in °	3,5			4,0			4,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15
16,00	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13
16,50	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12
17,00	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11
17,50	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10
18,00	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09
18,50	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09
19,00	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08
19,50	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07
20,00	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07
20,50	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 7: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 13 s bis 15 s

BML	13 s			14 s			15 s		
α_{min} in °	5,0			5,5			6,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	37	0,16	0,40	33	0,14	0,37	26	0,11	0,36
3,00	99	0,25	0,48	92	0,23	0,46	83	0,21	0,43
3,50	188	0,30	0,49	177	0,28	0,46	165	0,26	0,44
4,00	305	0,32	0,49	289	0,31	0,46	271	0,29	0,43
4,50	454	0,34	0,48	430	0,32	0,45	208	0,30	0,42
5,00	630	0,34	0,47	597	0,32	0,44	238	0,34	0,42
5,50	840	0,34	0,46	796	0,33	0,43	267	0,38	0,41
6,00	1087	0,34	0,45	1031	0,32	0,43	297	0,43	0,40
6,50	1373	0,34	0,45	1303	0,32	0,42	326	0,47	0,40
7,00	1702	0,34	0,44	1615	0,32	0,42	356	0,51	0,39
7,50	2074	0,33	0,44	1970	0,32	0,41	385	0,55	0,39
8,00	2490	0,33	0,43	2366	0,31	0,41	415	0,59	0,38
8,50	2944	0,33	0,42	2805	0,31	0,40	444	0,63	0,38
9,00	3426	0,32	0,42	3275	0,31	0,39	474	0,67	0,37
9,50	3916	0,31	0,41	3760	0,30	0,39	503	0,71	0,37
10,00	4388	0,30	0,39	4237	0,29	0,38	533	0,76	0,36
10,50	4815	0,28	0,38	4680	0,27	0,36	562	0,80	0,35
11,00	5177	0,26	0,35	5064	0,26	0,34	592	0,84	0,33
11,50	5462	0,24	0,33	5374	0,24	0,32	621	0,88	0,31
12,00	5672	0,22	0,30	5607	0,22	0,29	651	0,92	0,29
12,50	5816	0,20	0,27	5771	0,20	0,27	680	0,96	0,26
13,00	5909	0,18	0,25	5880	0,18	0,24	710	1,00	0,24
13,50	5966	0,17	0,22	5948	0,16	0,22	739	1,04	0,22
14,00	5998	0,15	0,20	5988	0,15	0,20	769	1,08	0,20
14,50	6000	0,13	0,18	6000	0,13	0,18	6000	0,13	0,18
15,00	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	13 s			14 s			15 s		
α_{min} in °	5,0			5,5			6,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15
16,00	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13
16,50	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12
17,00	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11
17,50	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10
18,00	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09
18,50	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09
19,00	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08
19,50	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07
20,00	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07
20,50	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 8: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 16 s bis 18 s

BML	16 s			17 s			18 s		
α_{min} in °	6,5			7,0			7,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	23	0,10	0,21	21	0,09	0,29	18	0,08	0,18
3,00	76	0,19	0,35	69	0,17	0,37	62	0,16	0,30
3,50	153	0,24	0,40	142	0,23	0,38	130	0,21	0,35
4,00	254	0,27	0,40	237	0,25	0,38	220	0,23	0,35
4,50	381	0,28	0,40	358	0,27	0,37	334	0,25	0,35
5,00	531	0,29	0,39	499	0,27	0,37	468	0,25	0,34
5,50	710	0,29	0,38	668	0,27	0,36	627	0,26	0,34
6,00	920	0,29	0,38	867	0,27	0,35	814	0,26	0,33
6,50	1164	0,29	0,37	1097	0,27	0,35	1031	0,26	0,33
7,00	1444	0,29	0,37	1361	0,27	0,34	1280	0,25	0,32
7,50	1762	0,28	0,36	1661	0,27	0,34	1563	0,25	0,32
8,00	2121	0,28	0,36	2001	0,27	0,34	1884	0,25	0,31
8,50	2521	0,28	0,35	2381	0,26	0,33	2244	0,25	0,31
9,00	2960	0,28	0,35	2801	0,26	0,33	2644	0,25	0,31
9,50	3426	0,27	0,35	3254	0,26	0,33	3080	0,24	0,31
10,00	3902	0,27	0,34	3724	0,25	0,32	3540	0,24	0,30
10,50	4364	0,26	0,33	4191	0,25	0,31	4006	0,24	0,30
11,00	4786	0,24	0,32	4627	0,24	0,30	4453	0,23	0,29
11,50	5146	0,23	0,30	5010	0,22	0,29	4857	0,22	0,28
12,00	5433	0,21	0,28	5325	0,21	0,27	5198	0,20	0,27
12,50	5647	0,20	0,26	5566	0,19	0,25	5468	0,19	0,25
13,00	5796	0,18	0,24	5739	0,18	0,23	5669	0,18	0,23
13,50	5895	0,16	0,22	5857	0,16	0,21	5809	0,16	0,21
14,00	5956	0,15	0,20	5932	0,15	0,20	5901	0,15	0,19
14,50	5992	0,13	0,18	5978	0,13	0,18	5959	0,13	0,18
15,00	6000	0,12	0,16	6000	0,12	0,16	5993	0,12	0,16

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	16 s			17 s			18 s		
α_{min} in °	6,5			7,0			7,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15	6000	0,11	0,15
16,00	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13
16,50	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12
17,00	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11
17,50	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10
18,00	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09
18,50	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09
19,00	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08
19,50	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07
20,00	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07
20,50	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 9: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 19 s bis 21 s

BML	19 s			20 s			21 s		
α_{min} in °	8,0			8,5			9,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	15	0,07	0,17	6	0,03	0,08	5	0,02	0,09
3,00	55	0,14	0,28	39	0,10	0,21	34	0,09	0,18
3,50	118	0,19	0,32	101	0,16	0,27	91	0,14	0,24
4,00	204	0,22	0,33	184	0,20	0,29	169	0,18	0,27
4,50	311	0,23	0,33	287	0,21	0,30	266	0,20	0,28
5,00	437	0,24	0,32	407	0,22	0,30	379	0,21	0,28
5,50	587	0,24	0,32	549	0,22	0,30	512	0,21	0,28
6,00	764	0,24	0,31	715	0,23	0,29	668	0,21	0,27
6,50	968	0,24	0,31	906	0,22	0,29	848	0,21	0,27
7,00	1202	0,24	0,30	1126	0,22	0,28	1054	0,21	0,26
7,50	1468	0,24	0,30	1377	0,22	0,28	1290	0,21	0,26
8,00	1770	0,24	0,29	1661	0,22	0,28	1556	0,21	0,26
8,50	2110	0,23	0,29	1981	0,22	0,27	1857	0,21	0,25
9,00	2490	0,23	0,29	2340	0,22	0,27	2195	0,20	0,25
9,50	2908	0,23	0,29	2738	0,22	0,27	2572	0,20	0,25
10,00	3357	0,23	0,29	3170	0,22	0,27	2986	0,20	0,25
10,50	3820	0,22	0,28	3623	0,21	0,27	3428	0,20	0,25
11,00	4276	0,22	0,28	4080	0,21	0,26	3883	0,20	0,25
11,50	4699	0,21	0,27	4514	0,20	0,26	4328	0,19	0,24
12,00	5067	0,20	0,26	4904	0,19	0,25	4738	0,19	0,24
12,50	5367	0,19	0,24	5232	0,18	0,23	5093	0,18	0,23
13,00	5595	0,17	0,23	5490	0,17	0,22	5382	0,17	0,21
13,50	5758	0,16	0,21	5681	0,16	0,21	5602	0,16	0,20
14,00	5868	0,15	0,19	5815	0,14	0,19	5760	0,14	0,19
14,50	5939	0,13	0,18	5904	0,13	0,17	5868	0,13	0,17
15,00	5981	0,12	0,16	5960	0,12	0,16	5938	0,12	0,16

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	19 s			20 s			21 s		
α_{min} in °	8,0			8,5			9,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	6000	0,11	0,15	5993	0,11	0,15	5980	0,11	0,14
16,00	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13	6000	0,10	0,13
16,50	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12
17,00	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11
17,50	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10
18,00	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09
18,50	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09
19,00	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08
19,50	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07
20,00	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07
20,50	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 10: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 22 s bis 24 s

BML	22 s			23 s			24 s		
α_{min} in °	9,5			10,0			10,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	4	0,02	0,08	4	0,02	0,05	3	0,01	0,03
3,00	30	0,08	0,18	26	0,07	0,15	22	0,06	0,11
3,50	82	0,13	0,23	73	0,12	0,20	64	0,10	0,18
4,00	155	0,16	0,25	141	0,15	0,23	127	0,14	0,21
4,50	246	0,18	0,26	226	0,17	0,24	207	0,15	0,22
5,00	352	0,19	0,26	326	0,18	0,24	300	0,16	0,23
5,50	477	0,20	0,26	443	0,18	0,24	411	0,17	0,22
6,00	623	0,20	0,25	580	0,18	0,24	540	0,17	0,22
6,50	792	0,20	0,25	739	0,18	0,23	689	0,17	0,22
7,00	986	0,20	0,25	921	0,18	0,23	859	0,17	0,22
7,50	1207	0,19	0,24	1128	0,18	0,23	1053	0,17	0,21
8,00	1457	0,19	0,24	1362	0,18	0,22	1273	0,17	0,21
8,50	1739	0,19	0,24	1627	0,18	0,22	1521	0,17	0,21
9,00	2057	0,19	0,24	1926	0,18	0,22	1801	0,17	0,21
9,50	2413	0,19	0,24	2260	0,18	0,22	2114	0,17	0,21
10,00	2807	0,19	0,23	2632	0,18	0,22	2465	0,17	0,21
10,50	3232	0,19	0,23	3040	0,18	0,22	2852	0,17	0,21
11,00	3679	0,19	0,23	3474	0,18	0,22	3271	0,17	0,20
11,50	4125	0,18	0,23	3919	0,18	0,22	3708	0,17	0,20
12,00	4550	0,18	0,22	4354	0,17	0,21	4146	0,16	0,20
12,50	4929	0,17	0,22	4754	0,17	0,21	4561	0,16	0,20
13,00	5247	0,16	0,21	5100	0,16	0,20	4932	0,15	0,19
13,50	5498	0,15	0,20	5383	0,15	0,19	5245	0,15	0,18
14,00	5684	0,14	0,18	5599	0,14	0,18	5492	0,14	0,18
14,50	5815	0,13	0,17	5755	0,13	0,17	5677	0,13	0,16
15,00	5903	0,12	0,16	5863	0,12	0,16	5809	0,12	0,15

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	22 s			23 s			24 s		
α_{min} in °	9,5			10,0			10,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	5958	0,11	0,14	5933	0,11	0,14	5897	0,11	0,14
16,00	5992	0,10	0,13	5977	0,10	0,13	5954	0,10	0,13
16,50	6000	0,09	0,12	6000	0,09	0,12	5989	0,09	0,12
17,00	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11	6000	0,08	0,11
17,50	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10
18,00	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09
18,50	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09
19,00	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08
19,50	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07
20,00	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07
20,50	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 11: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 25 s bis 27 s

BML	25 s			26 s			27 s		
α_{min} in °	11,0			11,5			12,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	2	0,01	0,03	1	0,00	0,02	0	0,00	0,01
3,00	17	0,04	0,10	13	0,03	0,09	8	0,02	0,04
3,50	54	0,09	0,17	46	0,07	0,15	35	0,06	0,11
4,00	112	0,12	0,20	99	0,11	0,18	85	0,09	0,15
4,50	188	0,14	0,21	170	0,13	0,19	152	0,11	0,17
5,00	276	0,15	0,21	253	0,14	0,19	231	0,13	0,18
5,50	380	0,16	0,21	351	0,14	0,19	323	0,13	0,18
6,00	501	0,16	0,21	465	0,15	0,19	430	0,14	0,18
6,50	641	0,16	0,20	596	0,15	0,19	553	0,14	0,18
7,00	800	0,16	0,20	745	0,15	0,19	693	0,14	0,18
7,50	982	0,16	0,20	916	0,15	0,19	853	0,14	0,17
8,00	1188	0,16	0,20	1108	0,15	0,18	1033	0,14	0,17
8,50	1421	0,16	0,19	1326	0,15	0,18	1238	0,14	0,17
9,00	1683	0,16	0,19	1572	0,15	0,18	1467	0,14	0,17
9,50	1977	0,16	0,19	1847	0,15	0,18	1725	0,14	0,17
10,00	2305	0,16	0,19	2155	0,15	0,18	2013	0,14	0,17
10,50	2671	0,16	0,19	2499	0,15	0,18	2335	0,14	0,17
11,00	3071	0,16	0,19	2878	0,15	0,18	2692	0,14	0,17
11,50	3496	0,16	0,19	3287	0,15	0,18	3082	0,14	0,17
12,00	3932	0,15	0,19	3715	0,15	0,18	3497	0,14	0,17
12,50	4357	0,15	0,19	4143	0,14	0,18	3923	0,14	0,17
13,00	4750	0,15	0,18	4551	0,14	0,18	4340	0,13	0,17
13,50	5091	0,14	0,18	4917	0,14	0,17	4727	0,13	0,16
14,00	5370	0,13	0,17	5227	0,13	0,16	5066	0,13	0,16
14,50	5586	0,12	0,16	5474	0,12	0,16	5345	0,12	0,15
15,00	5744	0,12	0,15	5661	0,11	0,15	5563	0,11	0,14

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	25 s			26 s			27 s		
α_{min} in °	11,0			11,5			12,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	5853	0,11	0,14	5795	0,11	0,14	5725	0,10	0,14
16,00	5925	0,10	0,13	5886	0,10	0,13	5838	0,10	0,13
16,50	5971	0,09	0,12	5946	0,09	0,12	5915	0,09	0,12
17,00	5999	0,08	0,11	5984	0,08	0,11	5964	0,08	0,11
17,50	6000	0,08	0,10	6000	0,08	0,10	5994	0,08	0,10
18,00	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09	6000	0,07	0,09
18,50	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09
19,00	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08
19,50	5992	0,06	0,07	5992	0,06	0,07	5991	0,06	0,07
20,00	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07	5939	0,05	0,07
20,50	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05	5534	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 12: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 28 s bis 30 s

BML	28 s			29 s			30 s		
α_{min} in °	12,5			13,0			13,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	0	0,00	0,01	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3,00	6	0,02	0,05	5	0,01	0,03	3	0,01	0,03
3,50	30	0,05	0,11	24	0,04	0,08	19	0,03	0,08
4,00	75	0,08	0,14	64	0,07	0,12	54	0,06	0,11
4,50	137	0,10	0,16	121	0,09	0,14	106	0,08	0,13
5,00	210	0,11	0,17	190	0,10	0,15	171	0,09	0,14
5,50	297	0,12	0,17	272	0,11	0,16	248	0,10	0,14
6,00	398	0,13	0,17	367	0,12	0,16	338	0,11	0,15
6,50	514	0,13	0,17	476	0,12	0,15	440	0,11	0,14
7,00	645	0,13	0,16	599	0,12	0,15	556	0,11	0,14
7,50	794	0,13	0,16	739	0,12	0,15	687	0,11	0,14
8,00	963	0,13	0,16	897	0,12	0,15	835	0,11	0,14
8,50	1154	0,13	0,16	1076	0,12	0,15	1003	0,11	0,14
9,00	1369	0,13	0,16	1277	0,12	0,15	1191	0,11	0,14
9,50	1611	0,13	0,16	1503	0,12	0,15	1403	0,11	0,14
10,00	1880	0,13	0,16	1755	0,12	0,15	1639	0,11	0,14
10,50	2181	0,13	0,16	2036	0,12	0,15	1901	0,11	0,14
11,00	2516	0,13	0,16	2349	0,12	0,15	2194	0,11	0,14
11,50	2885	0,13	0,16	2696	0,12	0,15	2518	0,11	0,14
12,00	3283	0,13	0,16	3075	0,12	0,15	2876	0,11	0,14
12,50	3700	0,13	0,16	3479	0,12	0,15	3261	0,11	0,14
13,00	4119	0,13	0,16	3895	0,12	0,15	3667	0,11	0,14
13,50	4520	0,13	0,16	4305	0,12	0,15	4076	0,11	0,14
14,00	4883	0,12	0,15	4687	0,12	0,15	4471	0,11	0,14
14,50	5192	0,12	0,15	5025	0,11	0,14	4831	0,11	0,14
15,00	5443	0,11	0,14	5308	0,11	0,14	5143	0,10	0,13

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	28 s			29 s			30 s		
α_{min} in °	12,5			13,0			13,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	5634	0,10	0,13	5531	0,10	0,13	5399	0,10	0,13
16,00	5773	0,10	0,13	5698	0,09	0,12	5597	0,09	0,12
16,50	5870	0,09	0,12	5818	0,09	0,12	5744	0,09	0,11
17,00	5935	0,08	0,11	5900	0,08	0,11	5848	0,08	0,11
17,50	5976	0,08	0,10	5954	0,08	0,10	5919	0,08	0,10
18,00	6000	0,07	0,09	5986	0,07	0,09	5964	0,07	0,09
18,50	6000	0,06	0,09	6000	0,06	0,09	5989	0,06	0,09
19,00	6000	0,06	0,08	6000	0,06	0,08	5996	0,06	0,08
19,50	5990	0,06	0,07	5988	0,06	0,07	5983	0,06	0,07
20,00	5939	0,05	0,07	5938	0,05	0,07	5936	0,05	0,07
20,50	5853	0,05	0,06	5853	0,05	0,06	5852	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06	5721	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5533	0,04	0,05	5534	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 13: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 31 s bis 33 s

BML	31 s			32 s			33 s		
α_{min} in °	14,0			14,5			15,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3,00	1	0,00	0,01	1	0,00	0,01	1	0,00	0,01
3,50	12	0,02	0,04	10	0,02	0,03	8	0,01	0,03
4,00	41	0,04	0,08	35	0,04	0,06	29	0,03	0,06
4,50	90	0,07	0,11	79	0,06	0,09	68	0,05	0,08
5,00	151	0,08	0,12	135	0,07	0,11	119	0,07	0,10
5,50	225	0,09	0,13	204	0,08	0,12	183	0,08	0,11
6,00	310	0,10	0,13	284	0,09	0,12	259	0,08	0,12
6,50	407	0,10	0,13	375	0,09	0,13	345	0,09	0,12
7,00	516	0,10	0,13	478	0,10	0,12	442	0,09	0,12
7,50	639	0,10	0,13	593	0,10	0,12	551	0,09	0,12
8,00	778	0,10	0,13	723	0,10	0,12	673	0,09	0,11
8,50	934	0,10	0,13	870	0,10	0,12	811	0,09	0,11
9,00	1111	0,10	0,13	1036	0,10	0,12	965	0,09	0,11
9,50	1309	0,10	0,13	1221	0,10	0,12	1139	0,09	0,11
10,00	1530	0,10	0,13	1428	0,10	0,12	1333	0,09	0,11
10,50	1775	0,10	0,13	1658	0,10	0,12	1548	0,09	0,11
11,00	2047	0,10	0,13	1912	0,10	0,12	1786	0,09	0,11
11,50	2350	0,11	0,13	2194	0,10	0,12	2049	0,09	0,11
12,00	2686	0,11	0,13	2507	0,10	0,12	2340	0,09	0,11
12,50	3052	0,11	0,13	2851	0,10	0,12	2662	0,09	0,11
13,00	3443	0,11	0,13	3224	0,10	0,12	3014	0,09	0,11
13,50	3849	0,11	0,13	3616	0,10	0,12	3391	0,09	0,11
14,00	4251	0,11	0,13	4016	0,10	0,12	3784	0,09	0,12
14,50	4631	0,10	0,13	4405	0,10	0,12	4177	0,09	0,12
15,00	4970	0,10	0,13	4764	0,10	0,12	4552	0,09	0,11

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	31 s			32 s			33 s		
α_{min} in °	14,0			14,5			15,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	5257	0,10	0,12	5080	0,09	0,12	4893	0,09	0,11
16,00	5487	0,09	0,12	5342	0,09	0,11	5185	0,09	0,11
16,50	5663	0,09	0,11	5550	0,08	0,11	5425	0,08	0,11
17,00	5791	0,08	0,11	5707	0,08	0,10	5612	0,08	0,10
17,50	5880	0,07	0,10	5820	0,07	0,10	5751	0,07	0,10
18,00	5939	0,07	0,09	5898	0,07	0,09	5849	0,07	0,09
18,50	5973	0,06	0,09	5946	0,06	0,09	5913	0,06	0,08
19,00	5986	0,06	0,08	5969	0,06	0,08	5947	0,06	0,08
19,50	5978	0,06	0,07	5968	0,06	0,07	5954	0,06	0,07
20,00	5933	0,05	0,07	5927	0,05	0,07	5919	0,05	0,07
20,50	5851	0,05	0,06	5848	0,05	0,06	5844	0,05	0,06
21,00	5721	0,04	0,06	5720	0,04	0,06	5718	0,04	0,06
21,50	5534	0,04	0,05	5533	0,04	0,05	5533	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05	5278	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04	4951	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 14: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 34 s bis 36 s

BML	34 s			35 s			36 s		
α_{min} in °	15,5			16,0			16,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3,50	5	0,01	0,02	3	0,01	0,01	2	0,00	0,01
4,00	23	0,02	0,05	15	0,02	0,03	12	0,01	0,03
4,50	57	0,04	0,08	45	0,03	0,05	38	0,03	0,05
5,00	103	0,06	0,09	88	0,05	0,07	76	0,04	0,07
5,50	164	0,07	0,10	144	0,06	0,09	128	0,05	0,08
6,00	235	0,07	0,11	212	0,07	0,10	191	0,06	0,09
6,50	317	0,08	0,11	290	0,07	0,10	264	0,07	0,09
7,00	408	0,08	0,11	376	0,07	0,10	346	0,07	0,09
7,50	511	0,08	0,11	473	0,08	0,10	438	0,07	0,09
8,00	626	0,08	0,11	581	0,08	0,10	540	0,07	0,09
8,50	755	0,08	0,11	703	0,08	0,10	654	0,07	0,09
9,00	900	0,08	0,11	839	0,08	0,10	781	0,07	0,09
9,50	1062	0,08	0,11	991	0,08	0,10	924	0,07	0,09
10,00	1244	0,08	0,11	1161	0,08	0,10	1084	0,07	0,09
10,50	1445	0,09	0,11	1350	0,08	0,10	1261	0,07	0,09
11,00	1668	0,09	0,11	1558	0,08	0,10	1456	0,07	0,09
11,50	1914	0,09	0,11	1788	0,08	0,10	1671	0,08	0,09
12,00	2185	0,09	0,11	2041	0,08	0,10	1907	0,08	0,09
12,50	2485	0,09	0,11	2319	0,08	0,10	2166	0,08	0,09
13,00	2814	0,09	0,11	2627	0,08	0,10	2453	0,08	0,09
13,50	3171	0,09	0,11	2963	0,08	0,10	2767	0,08	0,09
14,00	3551	0,09	0,11	3325	0,08	0,10	3109	0,08	0,09
14,50	3940	0,09	0,11	3704	0,08	0,10	3474	0,08	0,10
15,00	4323	0,09	0,11	4088	0,08	0,10	3853	0,08	0,10

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	34 s			35 s			36 s		
α_{min} in °	15,5			16,0			16,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	4683	0,09	0,11	4459	0,08	0,10	4230	0,08	0,10
16,00	5003	0,08	0,11	4801	0,08	0,10	4589	0,08	0,10
16,50	5275	0,08	0,10	5101	0,08	0,10	4914	0,07	0,09
17,00	5494	0,08	0,10	5351	0,07	0,10	5195	0,07	0,09
17,50	5662	0,07	0,09	5550	0,07	0,09	5425	0,07	0,09
18,00	5785	0,07	0,09	5701	0,07	0,09	5606	0,07	0,09
18,50	5868	0,06	0,08	5808	0,06	0,08	5738	0,06	0,08
19,00	5917	0,06	0,08	5875	0,06	0,08	5826	0,06	0,08
19,50	5935	0,05	0,07	5907	0,05	0,07	5873	0,05	0,07
20,00	5907	0,05	0,07	5889	0,05	0,07	5866	0,05	0,07
20,50	5837	0,05	0,06	5825	0,05	0,06	5811	0,05	0,06
21,00	5714	0,04	0,06	5707	0,04	0,06	5698	0,04	0,06
21,50	5531	0,04	0,05	5527	0,04	0,05	5522	0,04	0,05
22,00	5278	0,03	0,05	5276	0,03	0,05	5273	0,03	0,05
22,50	4951	0,03	0,04	4950	0,03	0,04	4949	0,03	0,04
23,00	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04	4549	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 15: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 37 s bis 39 s

BML	37 s			38 s			39 s		
α_{min} in °	17,0			17,5			18,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3,50	1	0,00	0,01	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
4,00	9	0,01	0,02	5	0,01	0,01	4	0,00	0,01
4,50	30	0,02	0,04	21	0,02	0,03	17	0,01	0,02
5,00	64	0,04	0,06	50	0,03	0,04	42	0,02	0,04
5,50	111	0,05	0,07	93	0,04	0,06	81	0,03	0,05
6,00	171	0,05	0,08	150	0,05	0,07	133	0,04	0,06
6,50	240	0,06	0,09	216	0,05	0,08	195	0,05	0,07
7,00	318	0,06	0,09	291	0,06	0,08	266	0,05	0,08
7,50	405	0,07	0,09	373	0,06	0,08	344	0,06	0,08
8,00	501	0,07	0,09	464	0,06	0,08	430	0,06	0,08
8,50	608	0,07	0,09	565	0,06	0,08	525	0,06	0,08
9,00	728	0,07	0,09	678	0,06	0,08	632	0,06	0,08
9,50	862	0,07	0,09	804	0,06	0,08	750	0,06	0,08
10,00	1012	0,07	0,09	944	0,06	0,08	881	0,06	0,08
10,50	1177	0,07	0,09	1100	0,06	0,08	1027	0,06	0,08
11,00	1361	0,07	0,09	1272	0,07	0,08	1189	0,06	0,08
11,50	1562	0,07	0,09	1461	0,07	0,08	1366	0,06	0,08
12,00	1783	0,07	0,09	1668	0,07	0,08	1560	0,06	0,08
12,50	2024	0,07	0,09	1893	0,07	0,08	1771	0,06	0,08
13,00	2290	0,07	0,09	2140	0,07	0,08	2001	0,06	0,08
13,50	2582	0,07	0,09	2412	0,07	0,08	2253	0,06	0,08
14,00	2902	0,07	0,09	2710	0,07	0,08	2531	0,06	0,08
14,50	3247	0,07	0,09	3035	0,07	0,08	2834	0,06	0,08
15,00	3612	0,07	0,09	3383	0,07	0,08	3164	0,06	0,08

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	37 s			38 s			39 s		
α_{min} in °	17,0			17,5			18,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	3986	0,07	0,09	3748	0,07	0,09	3515	0,06	0,08
16,00	4352	0,07	0,09	4115	0,07	0,09	3878	0,06	0,08
16,50	4696	0,07	0,09	4471	0,07	0,09	4239	0,06	0,08
17,00	5004	0,07	0,09	4800	0,07	0,08	4585	0,06	0,08
17,50	5266	0,07	0,09	5090	0,06	0,08	4899	0,06	0,08
18,00	5478	0,06	0,08	5333	0,06	0,08	5171	0,06	0,08
18,50	5640	0,06	0,08	5525	0,06	0,08	5394	0,06	0,08
19,00	5754	0,06	0,08	5666	0,06	0,07	5564	0,06	0,07
19,50	5821	0,05	0,07	5757	0,05	0,07	5681	0,05	0,07
20,00	5831	0,05	0,07	5786	0,05	0,07	5731	0,05	0,07
20,50	5787	0,05	0,06	5756	0,05	0,06	5718	0,05	0,06
21,00	5683	0,04	0,06	5663	0,04	0,06	5636	0,04	0,06
21,50	5513	0,04	0,05	5500	0,04	0,05	5483	0,04	0,05
22,00	5268	0,03	0,05	5260	0,03	0,05	5249	0,03	0,05
22,50	4947	0,03	0,04	4942	0,03	0,04	4935	0,03	0,04
23,00	4548	0,03	0,04	4546	0,03	0,04	4542	0,03	0,04
23,50	4080	0,02	0,03	4080	0,02	0,03	4079	0,02	0,03
24,00	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02	3163	0,02	0,02
24,50	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02	2548	0,01	0,02
25,00	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 16: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 40 s bis 42 s

BML	40 s			41 s			42 s		
α_{min} in °	18,5			19,0			19,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3,50	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
4,00	3	0,00	0,01	2	0,00	0,01	1	0,00	0,00
4,50	14	0,01	0,02	10	0,01	0,02	6	0,00	0,01
5,00	35	0,02	0,03	27	0,02	0,03	20	0,01	0,02
5,50	69	0,03	0,05	57	0,02	0,05	45	0,02	0,04
6,00	117	0,04	0,06	100	0,03	0,05	85	0,03	0,04
6,50	175	0,04	0,07	155	0,04	0,06	136	0,03	0,05
7,00	241	0,05	0,07	218	0,04	0,07	196	0,04	0,06
7,50	316	0,05	0,07	289	0,05	0,07	263	0,04	0,06
8,00	398	0,05	0,07	367	0,05	0,07	338	0,05	0,06
8,50	488	0,05	0,07	452	0,05	0,07	419	0,05	0,06
9,00	588	0,06	0,07	547	0,05	0,07	509	0,05	0,06
9,50	699	0,06	0,07	652	0,05	0,07	608	0,05	0,06
10,00	823	0,06	0,07	768	0,05	0,07	717	0,05	0,06
10,50	960	0,06	0,07	897	0,05	0,07	839	0,05	0,06
11,00	1112	0,06	0,07	1039	0,05	0,07	972	0,05	0,06
11,50	1278	0,06	0,07	1196	0,05	0,07	1119	0,05	0,06
12,00	1460	0,06	0,07	1366	0,05	0,07	1279	0,05	0,06
12,50	1658	0,06	0,07	1552	0,05	0,07	1454	0,05	0,06
13,00	1873	0,06	0,07	1754	0,05	0,07	1643	0,05	0,06
13,50	2107	0,06	0,07	1972	0,05	0,07	1848	0,05	0,06
14,00	2364	0,06	0,07	2211	0,06	0,07	2069	0,05	0,06
14,50	2645	0,06	0,07	2472	0,06	0,07	2311	0,05	0,07
15,00	2952	0,06	0,07	2758	0,06	0,07	2577	0,05	0,07

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	40 s			41 s			42 s		
α_{min} in °	18,5			19,0			19,5		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
15,50	3283	0,06	0,07	3069	0,06	0,07	2868	0,05	0,07
16,00	3633	0,06	0,08	3402	0,06	0,07	3182	0,05	0,07
16,50	3991	0,06	0,08	3751	0,06	0,07	3517	0,05	0,07
17,00	4343	0,06	0,08	4103	0,06	0,07	3864	0,05	0,07
17,50	4675	0,06	0,08	4446	0,06	0,07	4212	0,05	0,07
18,00	4973	0,06	0,08	4764	0,06	0,07	4544	0,05	0,07
18,50	5227	0,06	0,07	5044	0,05	0,07	4846	0,05	0,07
19,00	5429	0,05	0,07	5276	0,05	0,07	5105	0,05	0,07
19,50	5576	0,05	0,07	5452	0,05	0,07	5312	0,05	0,06
20,00	5651	0,05	0,06	5556	0,05	0,06	5444	0,05	0,06
20,50	5660	0,05	0,06	5589	0,04	0,06	5503	0,04	0,06
21,00	5596	0,04	0,06	5544	0,04	0,06	5480	0,04	0,06
21,50	5455	0,04	0,05	5419	0,04	0,05	5373	0,04	0,05
22,00	5230	0,03	0,05	5206	0,03	0,05	5174	0,03	0,05
22,50	4924	0,03	0,04	4907	0,03	0,04	4885	0,03	0,04
23,00	4535	0,03	0,04	4525	0,03	0,04	4510	0,03	0,04
23,50	4076	0,02	0,03	4070	0,02	0,03	4062	0,02	0,03
24,00	3161	0,02	0,02	3156	0,02	0,02	3148	0,02	0,02
24,50	2549	0,01	0,02	2547	0,01	0,02	2544	0,01	0,02
25,00	2069	0,01	0,01	2070	0,01	0,01	2070	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Tab. 17: Leistungs- und Schubbeiwerte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit für die BML 43 s

BML	43 s		
α_{min} in °	20,0		
v in m/s	P in kW	c_p-Wert	c_t-Wert
0,00	0	0,00	0,00
0,50	0	0,00	0,00
1,00	0	0,00	0,00
1,50	0	0,00	0,00
2,00	0	0,00	0,00
2,50	0	0,00	0,00
3,00	0	0,00	0,00
3,50	0	0,00	0,00
4,00	1	0,00	0,00
4,50	5	0,00	0,01
5,00	16	0,01	0,02
5,50	38	0,02	0,03
6,00	72	0,02	0,04
6,50	119	0,03	0,05
7,00	175	0,04	0,05
7,50	239	0,04	0,06
8,00	310	0,04	0,06
8,50	388	0,04	0,06
9,00	473	0,04	0,06
9,50	566	0,05	0,06
10,00	669	0,05	0,06
10,50	783	0,05	0,06
11,00	909	0,05	0,06
11,50	1047	0,05	0,06
12,00	1198	0,05	0,06
12,50	1362	0,05	0,06
13,00	1540	0,05	0,06
13,50	1732	0,05	0,06
14,00	1939	0,05	0,06
14,50	2163	0,05	0,06
15,00	2409	0,05	0,06
15,50	2679	0,05	0,06

Technische Änderungen vorbehalten.

BML	**43 s**		
α_{min} in °	**20,0**		
v in m/s	**P in kW**	**c_p-Wert**	**c_t-Wert**
16,00	2972	0,05	0,06
16,50	3288	0,05	0,06
17,00	3623	0,05	0,06
17,50	3966	0,05	0,06
18,00	4305	0,05	0,06
18,50	4623	0,05	0,06
19,00	4906	0,05	0,06
19,50	5141	0,05	0,06
20,00	5304	0,05	0,06
20,50	5392	0,04	0,06
21,00	5396	0,04	0,05
21,50	5310	0,04	0,05
22,00	5128	0,03	0,05
22,50	4854	0,03	0,04
23,00	4489	0,03	0,04
23,50	4049	0,02	0,03
24,00	3135	0,02	0,02
24,50	2536	0,01	0,02
25,00	2067	0,01	0,01

Technische Änderungen vorbehalten.

Technische Beschreibung

Blattheizung

ENERCON Platform Independent Control System (PI-CS)

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

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: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
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	D02814779/3.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2023-11-27	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Documentation Department

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 4

2 Funktionsweise 5

2.1 Ansteuerung der Blattheizung 6

3 Funktionsablauf 7

3.1 Blattheizung bei stehender Windenergieanlage 7

3.2 Blattheizung bei laufender Windenergieanlage 9

4 Nennleistung der Blattheizung 11

5 Parameter 12

Fachwortverzeichnis 16

1 Allgemeines

An Rotorblättern einer Windenergieanlage kommt es bei bestimmten Witterungsverhältnissen zur Bildung von Eis-, Reif- oder Schneeablagerungen, welche den Wirkungsgrad reduzieren und die Lärm-Emission erhöhen. Durch diese Ablagerungen entsteht eine Unwucht, welche zu erhöhter Materialbelastung führt. Die Ablagerungen können so stark werden, dass von ihnen beim Herabfallen (unvermeidbarer Eisfall, wie von jedem hohen Gebäude) oder Wegschleudern (Eiswurf) Gefahren für Personen und Sachen ausgehen.

Der Zeitraum, in dem die Voraussetzungen für die Eisbildung an der Windenergieanlage bestehen (meteorologische Vereisung), ist in der Regel deutlich kürzer als der Zeitraum, der für das Abtauen des Eisansatzes (instrumentelle Vereisung) benötigt wird. Durch den Einsatz einer Blattheizung können die Zeit der instrumentellen Vereisung verkürzt und die Ertragsausfälle reduziert werden.

Wird vorhandener Eisansatz durch die Blattheizung angetaut, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich Eispartikel oder Eisschollen von den Rotorblättern lösen und herunterfallen (Eisfall). Wird die Windenergieanlage mit angetautem Eisansatz betrieben, können diese durch die Rotorbewegung abgeworfen werden (Eiswurf). Dadurch kann es zu Personen- oder Sachschäden (auch an der Windenergieanlage selbst) kommen.

Dieses Dokument ist gültig für ENERCON Windenergieanlagen mit folgendem Steuerungstyp:

- PI-CS

2 Funktionsweise

Die Luft in den Rotorblättern wird durch ein in der Nähe des Blattflanschs installiertes Heizgebläse auf bis zu 72 °C erwärmt.

Der Innenraum des Rotorblatts ist parallel zur Blattachse durch Stege unterteilt. Diese Stege werden genutzt, um warme Luft im Umluftverfahren durch das Rotorblatt zu fördern. Vom Heizgebläse strömt die erwärmte Luft entlang der Blattvorderkante zur Rotorblattspitze und zwischen den Hauptstegen zurück zum Blattflansch. Die Luft wird erneut erwärmt und in das Rotorblatt geblasen. Auf diese Weise werden die Oberflächen der Vorderkanten- und Mittelsegmente des Rotorblatts erwärmt, wodurch am Rotorblatt angefrorenes Eis abtauen kann.

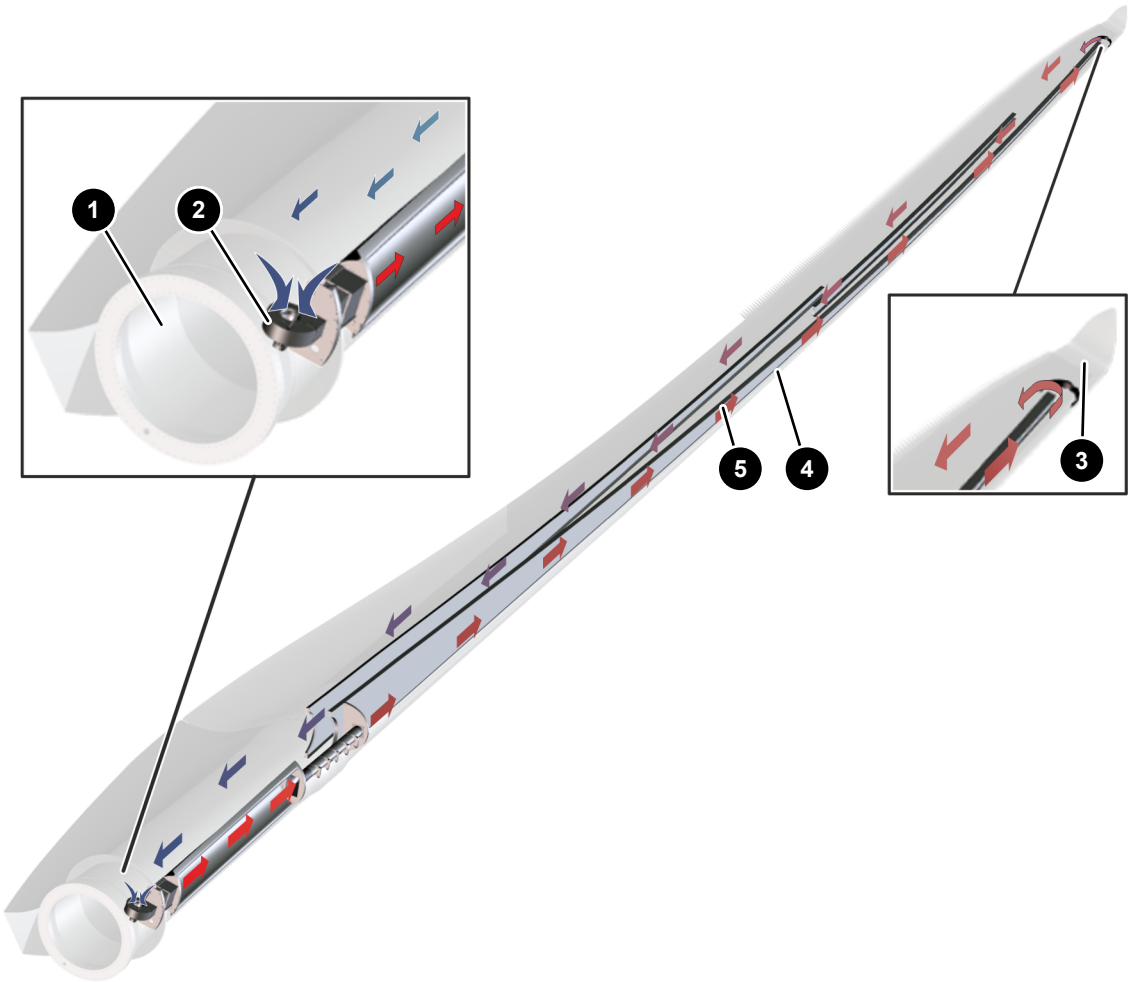


Abb. 1: Beispiel: Luftstrom der Blattheizung im Rotorblatt E-115 E2

1	Blattflansch	2	Blattheizung
3	Blattspitze	4	Blattvorderkante
5	Stege		

Das Heizgebläse ist in das Erdungssystem der Windenergieanlage eingebunden. Rotorblattschale und GFK-Stege wirken als Isolator, so dass es hier keinen Überschlag zwischen Blitzableiter und Heizgebläse geben kann.

Leistungsaufnahme

Bei laufender Blattheizung erhöht sich der Eigenbedarf der Windenergieanlage. Die Nennleistung (maximale Leistungsaufnahme) der Blattheizung ist abhängig vom Anlagentyp.

Eine Begrenzung der Leistungsaufnahme aus dem Netz ist möglich. Eine Verringerung der Leistungsaufnahme führt jedoch auch zu einer Verringerung der Effektivität der Blattheizung.

2.1 Ansteuerung der Blattheizung

Jedes Rotorblatt ist mit einer separaten Blattheizung ausgerüstet, bestehend aus Heizregister inklusive 2 in Reihe geschalteter Sicherheitsthermostate (Öffner-Kontakte), Radiallüfter und Temperaturfühler.

Alle Heizregister werden separat geregelt, so dass in allen 3 Rotorblättern die optimale Temperatur zur Verfügung steht.

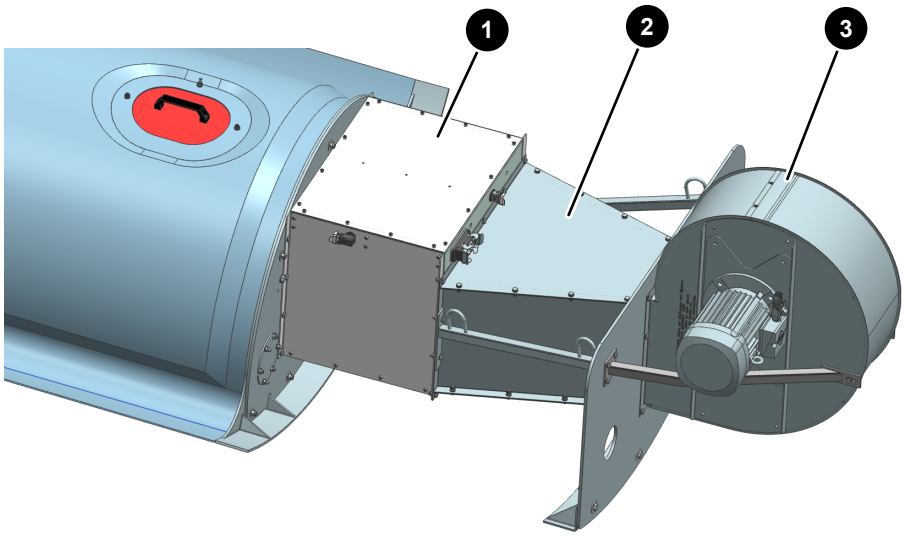


Abb. 2: Beispiel: Flanschseitige Ansicht des Blattheizungsmoduls E-115 E2

1	Heizregister	2	Diffusor
3	Radiallüfter		

3 Funktionsablauf

3.1 Blattheizung bei stehender Windenergieanlage

Abb. 3: Funktionsablauf Blattheizung bei stehender Windenergieanlage

Standardeinstellung:

- BlHtAutoEna (Blattheizung Automatik) = true
- BlHeatTms (Minimale Heizdauer der Blattheizung) = 14400 s (4:00 h)
- IceFreeBlHeatTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = false

Voraussetzung:

✓ BlHtAutoEna (Blattheizung Automatik) = true

✓ BlHeatTms (Minimale Heizdauer der Blattheizung) = 14400 s (4:00 h)

Sobald ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt und die Windenergieanlage anhält, wird die Blattheizung automatisch eingeschaltet.

Ist der automatische Wiederanlauf nach Blattheizung aktiviert (IceFreeBlHeatTrg = true), läuft die Windenergieanlage nach dem Ausschalten der Blattheizung automatisch wieder an.

Ist der automatische Wiederanlauf nach Blattheizung deaktiviert (IceFreeBlHeatTrg = false), läuft die Windenergieanlage nach dem Ausschalten der Blattheizung nicht automatisch wieder an. Der manuelle Start der Windenergieanlage muss durch den Betreiber erfolgen. Der manuelle Start der Windenergieanlage erfolgt nicht durch ENERCON.

Die Blattheizung kann automatisch durch die festgelegte Heizdauer, erkanntes Tauwetter und abgelaufenem Timer, den automatischen Wiederanlauf während Vereisungsbedingungen oder manuell ausgeschaltet werden.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

3.2 Blattheizung bei laufender Windenergieanlage

Der frühzeitige Betrieb der Blattheizung bei laufender Windenergieanlage kann die Bildung von Eis deutlich reduzieren, diese aber nicht ausschließen. Durch die Blattheizung angetautes Eis kann von der Windenergieanlage herunterfallen oder abgeworfen werden.

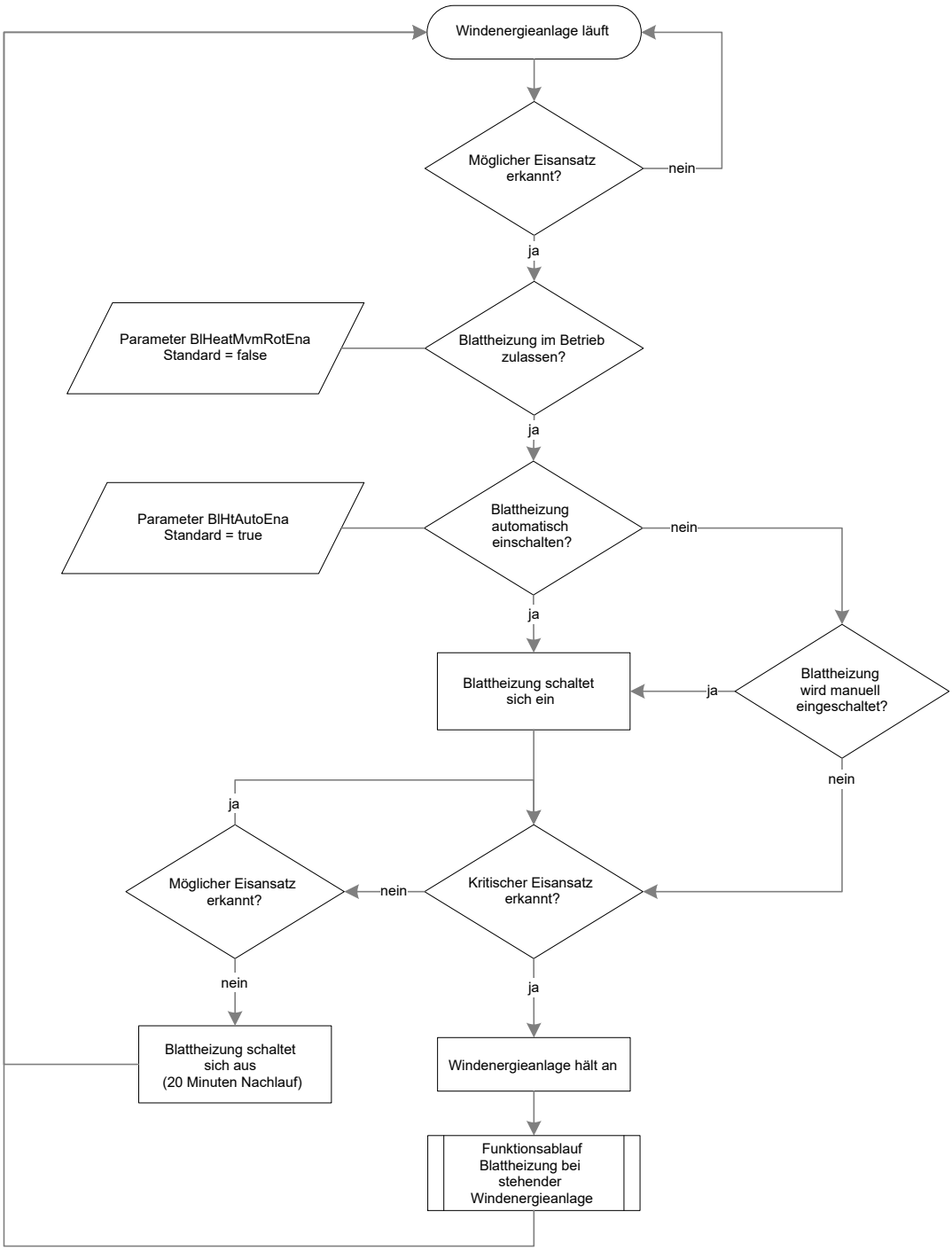


Abb. 4: Funktionsablauf Blattheizung bei laufender Windenergieanlage

Standardeinstellungen:

- BlHtAutoEna (Blattheizung Automatik) = true
- BlHeatMvmRotEna (Blattheizung im Betrieb zulassen) = false

Voraussetzung:

✓ BlHtAutoEna (Blattheizung Automatik) = true

✓ BlHeatMvmRotEna (Blattheizung im Betrieb zulassen) = true

Sobald ein Eisansatzerkennungssystem möglichen Eisansatz erkennt, wird die Blattheizung bei laufender Windenergieanlage eingeschaltet.

Wenn danach kein möglicher Eisansatz mehr festgestellt wird, bleibt die Blattheizung noch für weitere 20 Minuten in Betrieb (Nachlauf). Der Vorgang wiederholt sich, sobald erneut möglicher Eisansatz erkannt wird.

Wird trotz eingeschalteter Blattheizung kritischer Eisansatz erkannt, wird die Windenergieanlage angehalten.

Einschalten der Blattheizung bei möglichem Eisansatz

ENERCON Kennlinienverfahren:

- Sobald für 10 Minuten möglicher Eisansatz erkannt wird.

4 Nennleistung der Blattheizung

Windenergieanlagentyp	Nennleistung der Blattheizung in kW je Rotorblatt[1]
E-115 EP3 E4, E-138 EP3 E3	80
E-175 EP5	116

[1] Abgegebene Leistung des eingebauten Blattheizungsmoduls inkl. Lüfter und Heizregister.

5 Parameter

Die einzustellenden Werte der nachfolgenden Parameter werden von der zuständigen Genehmigungsbehörde oder vom Betreiber vorgegeben. Gewünschte Änderungen vom Betreiber müssen dokumentiert (Formular Änderung Standardeinstellungen) und von ENERCON geprüft, freigegeben und eingestellt werden.

Von der Inbetriebnahme der Windenergieanlage bis zur Unterzeichnung des Abnahmeprotokolls, können nur die Standardeinstellungen der Parameter eingestellt werden.

5.1 Blattheizung nicht installiert

Parameter: *WTUR1/Saf1/BlHeatNoAvl* (Blade heating not available)

Gibt an, ob die Blattheizung nicht installiert ist.

Einstellmöglichkeiten	Standard
true/false	false (installiert)

5.2 Blattheizung Automatik

Parameter: *WROT1/BlHt1/BlHtAutoEna* (Blade heating automatic enable)

Gibt an, ob die Blattheizung automatisch betrieben wird.

Hinweis: Wenn BlHtAutoEna = true, erhöht sich ggf. das Eiswurfrisiko während des automatischen Wiederanlaufs!

Einstellmöglichkeiten	Standard	
true/false	true	
	Länderspezifische Ausnahme	
	Österreich	false

Gewünschte Parametereinstellung: true

Die gewünschte Parametereinstellung kann in Österreich umgesetzt werden, wenn

- die Genehmigung es nicht verbietet.

Bei IceFreeBlHeatTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = false läuft die Windenergieanlage nach Beenden des Heizzyklus nicht automatisch wieder an, sondern erst nach Erreichen ausreichend hoher Außentemperaturen, wenn IceFreeWrmTrg (Automatischer Wiederanlauf nach Vereisung) = true oder durch einen manuellen Neustart.

5.3 Blattheizung im Betrieb zulassen

Parameter: *WROT1/BlHt1/BlHeatMvmRotEna* (Blade heating moving rotor enabled)

Gibt an, ob die Blattheizung bei laufender Windenergieanlage betrieben werden darf.

Hinweis: Wenn BlHeatMvmRotEna = true, erhöht sich ggf. das Eiswurfrisiko! Eisbildung kann trotz frühzeitiger Beheizung des Rotorblatts nicht ausgeschlossen werden.

Einstellmöglichkeiten	Standard
true/false	false

Gewünschte Parametereinstellung: true

Die gewünschte Parametereinstellung umsetzen, wenn

- die Genehmigung es erlaubt oder
- eine standortspezifische Risikobeurteilung vorliegt, die das Risiko der Änderung als akzeptabel einstuft.

5.4 Heizdauer der Blattheizung

Parameter: *WROT1/BlHt1/BlHeatTms* (Blade heating time in seconds)

Gibt die Dauer der Heizphase bei stehender Windenergieanlage an.

Ist die Blattheizung im Betrieb zugelassen (BlHeatMvmRotEna = true), wird als Einstellwert 2:00 h empfohlen, um den Startversuch nach 2 Stunden zu ermöglichen, wenn die Windenergieanlage trotz eingeschalteter Blattheizung angehalten wurde.

Ist die Blattheizung im Betrieb nicht zugelassen (BlHeatMvmRotEna = false), wird als Einstellwert 4:00 h empfohlen.

Hinweis: Wenn BlHeatTms < 4:00 h, erhöht sich ggf. das Eiswurfrisiko!

Einstellmöglichkeiten	Standard
0 – 36000 s (0:00 – 10:00 h)	14400 s (4:00 h)

Gewünschte Parametereinstellung: verringern (wenn BlHeatMvmRotEna = false, IceFreeBlHeatTrg = true)

Die gewünschte Parametereinstellung umsetzen, wenn

- die Heizdauer in der Genehmigung nicht festgelegt wird und entweder
- ein zusätzliches Eisansatzerkennungssystem vorhanden ist, welches Eisfreiheit im Stillstand feststellen kann oder
- eine standortspezifische Risikobeurteilung vorliegt, die das Risiko der Änderung als akzeptabel einstuft.

Durch die Verringerung des Standardwerts kann sich das Eiswurfrisiko erhöhen.

Die Einstellung ist nicht relevant, wenn das Power Consumption Management aktiviert ist.

Gewünschte Parametereinstellung: verringern (wenn BlHeatMvmRotEna = true, IceFreeBlHeatTrg = true)

Die gewünschte Parametereinstellung kann umgesetzt werden.

Gewünschte Parametereinstellung: verringern/erhöhen (wenn IceFreeBlHeatTrg = false)

Die gewünschte Parametereinstellung kann umgesetzt werden.

5.5 Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung

Parameter: *WMET1/Ice1/IceFreeBlHeatTrg* (Ice free blade heating trigger)

Gibt an, ob die Windenergieanlage nach einem Durchlauf des Blattheizungszyklus unabhängig von der eingestellten Heizdauer automatisch wieder starten darf.

Einstellmöglichkeiten	Standard
true/false	false

Gewünschte Parametereinstellung: true

Die gewünschte Parametereinstellung umsetzen, wenn

- ein externes Eisansatzerkennungssystem, welches Eisfreiheit erkennt, installiert ist oder
- die Genehmigung es nicht verbietet und eine standortspezifische Risikobeurteilung vorliegt, die das Risiko der Änderung als akzeptabel einstuft.

5.6 Sensitivität der Blattheizung

Gibt an, mit welcher Sensitivität das Toleranzband der Blattheizung (ENERCON Kennlinienverfahren) eingestellt ist.

Je höher die Sensitivität, desto eher wird die Blattheizung eingeschaltet.

Die Einstellung der Sensitivität ist nur relevant, wenn die Blattheizung während des Betriebs zugelassen ist (BlHeatMvmRotEna = true)

Einstellmöglichkeiten	Standard
Normale Sensitivität Hohe Sensitivität	Normale Sensitivität

Gewünschte Parametereinstellung: hohe Sensitivität

Die gewünschte Parametereinstellung kann umgesetzt werden, da es sich um eine Erhöhung der Sicherheit handelt.

Ein erneutes Heruntersetzen auf die normale Sensitivität ist nach voriger Prüfung möglich.

Fachwortverzeichnis

Eisfall	Herabfallen von Eis bei angehaltener Windenergieanlage, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern bilden kann. Die fallenden Eisstücke können Sach- und Personenschäden bewirken.
Eiswurf	Abwurf von Eis bei drehendem Rotor, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern von Windenergieanlagen bilden kann.
Kritischer Eisansatz	Entstehung von Eis, das aufgrund seiner Aufprallenergie eine Gefahr für ungeschützte Personen darstellt, wenn es herabfällt oder weggeschleudert wird.

EG/EU-Konformitätserklärung

Der Hersteller
ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

erklärt hiermit, dass die Maschine

Windenergieanlage:	ENERCON E-175 EP5
	(Maschine zur Umwandlung kinetischer Energie des Windes in elektrische Energie)
Datum des Inverkehrbringens:	2022-12-07
Seriennummer:	nnnnnnnn

konform ist mit den Bestimmungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG und konform ist mit den Bestimmungen der EMV-Richtlinie 2014/30/EU.

Hinsichtlich der elektrischen Gefahren werden gemäß Anhang I Nr. 1.5.1 der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG die Schutzziele der Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU eingehalten.

Folgende harmonisierte Normen wurden angewendet:

EN 1090-1:2009+A1:2011	Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile
EN ISO 12100:2010	Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung [ISO 12100:2010]
EN ISO 13850:2015	Sicherheit von Maschinen - Not-Halt - Gestaltungsleitsätze [ISO 13850:2015]
EN 60204-1:2018	Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen [IEC 60204-1:2016 (modifiziert)]
EN IEC 60204-11:2019	Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 11: Anforderungen an Ausrüstung für Spannungen über 1 000 V Wechselspannung oder 1 500 V Gleichspannung, aber nicht über 36 kV [IEC 60204-11:2018]

MUSTER

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Folgende weitere Normen wurden angewendet:

EN 1090-2:2018	Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken
EN 50308:2004+Ber. 1:2005	Windenergieanlagen - Schutzmaßnahmen - Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung
EN IEC 61400-1:2019	Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen [IEC 61400-1:2019]
EN 61400-12-1:2017	Windenergieanlagen - Teil 12-1: Messung des Leistungsverhaltens einer Windenergieanlage [IEC 61400-12-1:2017]
EN 61400-22:2011	Windenergieanlagen - Teil 22: Konformitätsprüfung und Zertifizierung [IEC 61400-22:2010]
EN 61400-23:2014	Windenergieanlagen - Teil 23: Rotorblätter - Experimentelle Strukturprüfung [IEC 61400-23:2014]
EN 61400-24:2010	Windenergieanlagen - Teil 24: Blitzschutz [IEC 61400-24:2010]

Bevollmächtigter des Herstellers für die Zusammenstellung der technischen Unterlagen:
Ingo Arendt, ENERCON GmbH, Dreekamp 5, 26605 Aurich, Deutschland.

Ort: Aurich

Datum: 2022-12-07

MUSTER

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Technische Beschreibung

Sektormanagement

ENERCON Platform Independent Control System (PI-CS)

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

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: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
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	D02551657/0.3-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2022-07-26	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Technische Redaktion

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 4

2 Parametrierung der Sektoren 5

3 Durchfahren von Sektorgrenzen 7

4 Dokumentation 8

5 Parameter 9

5.1 Aktivierung Sektormanagement 9
5.2 Aktivierung von Sektor X 9
5.3 Startwinkel Sektor X 9
5.4 Stoppwinkel Sektor X 9
5.5 Aktivierung Windgeschwindigkeitsbedingung Sektor X 9
5.6 Startwindgeschwindigkeit Sektor X 10
5.7 Stoppwindgeschwindigkeit Sektor X 10
5.8 Maximale Wirkleistung Sektor X 10
5.9 Minimaler Blattwinkel Sektor X 10
5.10 Minimale Rotordrehzahl Sektor X 10
5.11 Aktivierung Windenergieanlage anhalten Sektor X 11

6 Statusmeldungen 12

1 Allgemeines

Das Sektormanagement ist eine Standardfunktion der ENERCON Windenergieanlage, die die Windenergieanlage abhängig von Windgeschwindigkeiten und Gondelpositionen abregelt oder anhält (Trudelbetrieb).

Anwendungsmöglichkeiten des Sektormanagements:

- Reduzierung von Turbulenzen, die von der Windenergieanlage erzeugt werden und zu unerwünschten Lasten an den sich in Windrichtung dahinter befindlichen Windenergieanlagen führen können (Wake-Effekt)
- Reduzierung von Belastungen der Windenergieanlage zum Schutz besonderer Objekte (z. B. Gasleitungen, Tanks)

Aufgrund der resultierenden Ertragseinbußen wird empfohlen, die Notwendigkeit des Sektormanagements standortbezogen zu prüfen.

Dieses Dokument ist gültig für ENERCON Windenergieanlagen mit folgendem Steuerungstyp:

- PI-CS

2 Parametrierung der Sektoren

Ein Sektor wird durch einen Start- und Stoppwinkel der Gondelposition sowie eine Start- und Stoppwindgeschwindigkeit gebildet. Das Sektormanagement stellt 25 Sektoren zur Verfügung. Jeder der 25 Sektoren kann durch einen Parameter aktiviert oder deaktiviert werden. Zusätzlich kann das gesamte Sektormanagement durch einen Parameter aktiviert oder deaktiviert werden.

Start- und Stoppwinkel eines Sektors

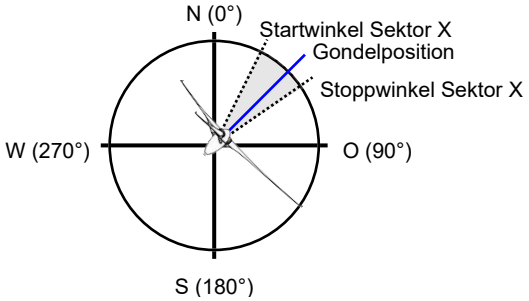


Abb. 1: Start- und Stoppwinkel eines Sektors

Die Start- und Stoppwinkel der Gondelposition jedes Sektors können zwischen 0° und 359° in 1°-Schritten parametriert werden. Der Bereich zwischen Start- und Stoppwinkel wird im Uhrzeigersinn gebildet.

Start- und Stoppwindgeschwindigkeit eines Sektors

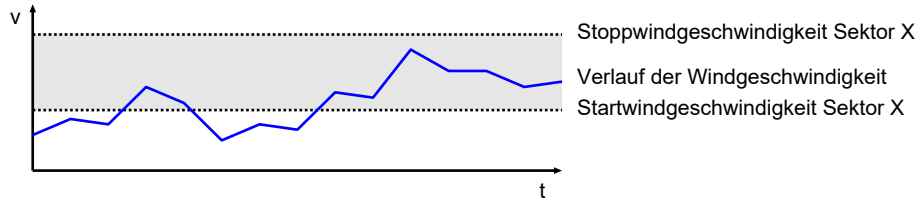


Abb. 2: Start- und Stoppwindgeschwindigkeit eines Sektors

Die Start- und Stoppwindgeschwindigkeit jedes Sektors kann zwischen 0 m/s und 60 m/s in 0,1-m/s-Schritten parametriert werden. Die Differenz zwischen Start- und Stoppwindgeschwindigkeit eines Sektors muss mindestens 1 m/s betragen.

Die Windgeschwindigkeitsbedingung kann pro Sektor durch einen Parameter aktiviert oder deaktiviert werden.

Begrenzungen eines Sektors

Wenn die Bedingungen für einen Sektor erfüllt sind, können folgende Begrenzungen parametriert werden:

- Begrenzung der Leistung
  - Für jeden parametrierten Sektor kann eine maximale Leistung (Wirkleistung) parametriert werden, die die Windenergieanlage nicht überschreiten soll.
- Begrenzung des minimalen Blattwinkels
  - Für jeden parametrierten Sektor kann ein minimaler Blattwinkel parametriert werden, den die Windenergieanlage nicht unterschreiten soll.
- Begrenzung der Drehzahl
  - Für jeden parametrierten Sektor kann eine maximale Rotordrehzahl parametriert werden, die die Windenergieanlage nicht überschreiten soll.

Anhalten der Windenergieanlage

Für jeden parametrierten Sektor kann parametriert werden, dass die Windenergieanlage bei Betreten des Sektors anhält (Standard stop).

3 Durchfahren von Sektorgrenzen

Die Windenergieanlage wird abgeregelt bzw. angehalten, wenn die Gondelposition innerhalb eines parametrierten Start- und Stoppwinkels liegt und die Windgeschwindigkeit (10-Minuten-Mittelwert) innerhalb der parametrierten Start- und Stoppwindgeschwindigkeit liegt.

Verlässt die Windenergieanlage den Sektor, wird die Abregelung erst nach Ablauf von 60 s, das Anhalten erst nach Ablauf von 10 min aufgehoben. Auf diese Weise wird verhindert, dass die Windenergieanlage z. B. bei böigen Windverhältnissen ständig zwischen normalem und abgeregeltem Betrieb wechselt.

Wenn zwei oder mehr Sektoren gleichzeitig aktiv sind, gelten folgende Regeln:

- Eine angeforderte Anhalteprozedur hat die höchste Priorität.
- Die Grenze für den minimalen Blattwinkel wird auf den höchsten Wert aller aktiven Sektoren gesetzt.
- Die Wirkleistungsgrenze wird auf den niedrigsten Wert aller aktiven Sektoren gesetzt.
- Die Rotordrehzahlgrenze wird auf den niedrigsten Wert aller aktiven Sektoren gesetzt

Das Sektormanagement hält die Windenergieanlage nicht während einer Turmkabelentdrillung und auch nicht während einer Positionierung der Gondel bei Eisansatz an, da die Windenergieanlage dann bereits angehalten ist und die Windrichtung nicht mehr mit der Gondelposition übereinstimmt.

Um Leistungssprünge beim Durchfahren der Sektorgrenzen zu verhindern, sind Leistungsgradienten definiert. Sie gelten für alle Sektoren.

4 Dokumentation

Für jeden der 25 Sektoren wird aufgezeichnet, wie lange die Windenergieanlage im jeweiligen Sektor war. Die Daten können auf Wunsch zur Verfügung gestellt werden.

5 Parameter

5.1 Aktivierung Sektormanagement

Parameter: *WALV1/Sect1.ActSectMgt* (Activate sector management)

Gibt an, ob das Sektormanagement aktiviert oder deaktiviert ist.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	aus

5.2 Aktivierung von Sektor X

Parameter: *WALV1/Sect1.ActSectX* (Activate sector X)

Gibt an, ob der Sektor X (X = 1 – 25) aktiviert oder deaktiviert ist.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	aus

5.3 Startwinkel Sektor X

Parameter: *WALV1/Sect1.StrAngSectX* (Start angle sector X)

Gibt den Startwinkel für den Sektor X (X = 1 – 25) an.

Einstellmöglichkeiten	Standard
0 – 359°	0

5.4 Stoppwinkel Sektor X

Parameter: *WALV1/Sect1.StopAngSectX* (Stop angle sector X)

Gibt den Stoppwinkel für den Sektor X (X = 1 – 25) an.

Einstellmöglichkeiten	Standard
0 – 359°	0

5.5 Aktivierung Windgeschwindigkeitsbedingung Sektor X

Parameter: *WALV1/Sect1.ActWdSpdSectX* (Activate wind speed sector X)

Gibt an, ob die Windgeschwindigkeitsbedingung für den Sektor X (X = 1 – 25) aktiviert oder deaktiviert ist.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	aus

5.6 Startwindgeschwindigkeit Sektor X

Parameter: *WALV1/Sect1.StrWdSpdSectX* (Start wind speed sector X)

Gibt die Startwindgeschwindigkeit für den Sektor X (X = 1 – 25) an.

Einstellmöglichkeiten	Standard
0 – 60 m/s	0 m/s

5.7 Stoppwindgeschwindigkeit Sektor X

Parameter: *WALV1/Sect1.StopWdSpdSectX* (Stop wind speed sector X)

Gibt die Stoppwindgeschwindigkeit für den Sektor X (X = 1 – 25) an.

Einstellmöglichkeiten	Standard
0 – 60 m/s	0 m/s

5.8 Maximale Wirkleistung Sektor X

Parameter: *WALV1/Sect1.LimPwrSectX* (Limit power sector X)

Gibt die Begrenzung der maximalen Wirkleistung für den Sektor X (X = 1 – 25) an.

Einstellmöglichkeiten	Standard
10 – 6000 kW	windenergieanlagenspezifisch

5.9 Minimaler Blattwinkel Sektor X

Parameter: *WALV1/Sect1.LimBlAngSectX* (Limit blade angle sector X)

Gibt die Begrenzung des minimalen Blattwinkels für den Sektor X (X = 1 – 25) an.

Einstellmöglichkeiten	Standard
-4 – +30°	windenergieanlagenspezifisch

5.10 Minimale Rotordrehzahl Sektor X

Parameter: *WALV1/Sect1.LimRotSpdSectX* (Limit rotor speed sector X)

Gibt die Begrenzung der minimalen Rotordrehzahl für den Sektor X (X = 1 – 25) an.

Einstellmöglichkeiten	Standard
2,5 – 15 U/min	windenergieanlagenspezifisch

5.11 Aktivierung Windenergieanlage anhalten Sektor X

Parameter: *WALV1/Sect1.TurStopSectX* (Turbine Stop sector X)

Gibt an, ob die Windenergieanlage im Sektor X (X = 1 – 25) anhält.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	aus

6 Statusmeldungen

Tab. 1: Statusmeldungen

Typ	Nr.	Name	Beschreibung	Ausgelöste Anhalteprozedur
I	13:n (n = 1 – 25)	Sector management : Wind Sector n	Das Sektormanagement hat einen reduzierten Betrieb angefordert.	-
E	13:101	Sector management : Stop by an active sector	Mindestens ein aktiver Sektor hat das Anhalten der Windenergieanlage angefordert.	Standard stop

Technische Beschreibung

ENERCON SCADA Bat Protection

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Herausgeber

ENERCON Global 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: Uwe Eberhardt, Ulrich Schulze Südhoff
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 202549
Ust.Id.-Nr.: DE285537483

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 Global GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON Global 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 Global 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 Global 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 Global 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	D0423843/7.0-de
Vermerk	Originaldokument

Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2024-10-23	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Documentation Department

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

2 Funktion 5
2.1 Steuerung 5
2.2 Daten 5
2.3 Störungen 6
2.4 Datenaufzeichnung 6
2.5 Registerkarte Bat Protection in ENERCON SCADA Remote 3 7

3 Konfiguration 11
3.1 Mittelwerte 11
3.2 Mehrere Bedingungen für eine Abschaltung 11
3.3 Steuergruppen 11
3.4 Hysterese 12
3.5 Deadband 12
3.6 Testmodus 12
3.7 Freitext 13

1 Einleitung

Im Genehmigungsbescheid zum Betrieb von Windenergieanlagen können Maßnahmen zum Schutz von Fledermäusen gefordert werden. Während der Flugzeit von Fledermäusen kann daher das Stoppen der Windenergieanlagen erforderlich sein.

Die standort- und artspezifischen Flugzeiten der Fledermäuse hängen unter anderem von Parametern wie Windgeschwindigkeit, Temperatur und Niederschlag ab. Diese Parameter sind im Genehmigungsbescheid hinterlegt oder werden durch ein Monitoring ermittelt. Die Parameter müssen bei einem fledermausfreundlichen und genehmigungskonformen Anlagenbetrieb berücksichtigt werden.

Mit ENERCON SCADA Bat Protection können Bedingungen für den Stopp der Windenergieanlagen hinsichtlich der Flugzeiten von Fledermäusen definiert werden. Die Windenergieanlagen werden abhängig von den vorgegebenen Bedingungen gestoppt oder wieder in den Normalbetrieb versetzt.

ENERCON SCADA Bat Protection ist für den ENERCON SCADA Server und für den ENERCON SCADA Edge Server verfügbar.

Voraussetzungen

Folgende Voraussetzungen müssen für einen ordnungsgemäßen Betrieb von ENERCON SCADA Bat Protection erfüllt sein:

- Vorhandensein der für die jeweiligen Bedingungen erforderlichen Sensoren bzw. Daten
- Installation und Konfiguration von ENERCON SCADA Bat Protection auf dem ENERCON SCADA Server oder dem ENERCON SCADA Edge Server

Für die Datenanforderung der Datei *.btt wird eine ENERCON SCADA Remote 3 Version ≥ 3.4.0 benötigt.

Wechselwirkung der Steueraktionen

Bei dem parallelen Betrieb mehrerer zum Starten und Stoppen der Windenergieanlagen berechtigter Funktionen und Systeme kann es zu Wechselwirkungen zwischen den Steueraktionen kommen.

Der bei einem Start und Stopp der Windenergieanlage resultierende Status muss überwacht werden. Die Überwachung des Status liegt in der Verantwortung des Kunden bzw. des Betreibers.

2 Funktion

Mit ENERCON SCADA Bat Protection können Bedingungen für den Stopp der Windenergieanlagen hinsichtlich der Flugzeit von Fledermäusen definiert werden. Die Bedingungen müssen dabei für jede Windenergieanlage separat festgelegt werden.

Die Bedingungen können anhand der folgenden Parameter festgelegt werden:

- Zeit
- Sensordaten (siehe Kap. 2.2, S. 5)
- Kombination aus Zeit und Sensordaten

2.1 Steuerung

Zeitbedingte Steueraktion

Bedingungen für einen Stopp der Windenergieanlagen können sowohl für relative Zeitwerte (Sonnenaufgang, Sonnenuntergang) als auch für absolute Zeitwerte (Datum, Uhrzeit, Dauer) definiert werden. Alle relativen Zeitwerte werden anhand der Standortdaten (Zeitzone, geographische Breite und Länge) berechnet.

Relative Zeitwerte können um einen absoluten Zeitbetrag (Offset) addiert und subtrahiert werden. Dem relativen Zeitwert Sonnenuntergang kann z. B. der absolute Zeitbetrag 1 Stunde vorangestellt werden. So können Startzeitpunkte für den Fledermausschutz definiert werden, die beispielsweise 1 Stunde vor Sonnenuntergang liegen. Dies gilt analog für den Sonnenaufgang. Intervalle der Nacht können nicht mit einem Offset versehen werden.

Nachtzehntelabschaltung

Die Dauer einer Nacht entspricht dem Zeitraum zwischen dem berechneten Sonnenuntergang und dem Sonnenaufgang. Dieser Zeitraum wird als 100-%-Wert der Nacht angesehen, von 0,00 bis 1,00. Eine Nacht kann in gleichmäßige Intervalle (z. B. 10 Intervalle à 0,1-Teile der Nacht) eingeteilt werden, für die jeweils Bedingungen für einen Stopp der Windenergieanlage definiert werden können. Das erste Intervall kann bereits vor dem definierten Sonnenuntergang beginnen (<0,00), das letzte Intervall kann nach dem definierten Sonnenaufgang enden (>1,00).

Sensorbedingte Steueraktion

Bedingungen für einen Stopp der Windenergieanlage können auch anhand meteorologischer Sensordaten definiert werden (siehe Kap. 2.2, S. 5).

Steuergruppen

Bedingungen können einer Steuergruppe zugewiesen werden. Hierdurch können für einen Zeitraum Steueraktionen aufgrund unterschiedlicher behördlicher Vorgaben realisiert werden.

2.2 Daten

Folgende Daten der Windenergieanlagen stehen für die Auswertung durch ENERCON SCADA Bat Protection zur Verfügung:

Tab. 1: Auswertbare Daten der Windenergieanlagen

Daten	Skalierung	Einheit	Steuerung der Windenergieanlage		
			CS48, CS82, CS101, CS126, EP3-CS-02, EP4-CS-01	EP5-CS-03	PI-CS[1]
Windgeschwindigkeit	0,1	m/s	X	X	X
Gondelposition	1	°	X	X	X
Luftfeuchtigkeit	1	%	X[2]		X[2]
Niederschlag	0,001	mm/min	X[2]		X[2]
Sichtweite	0,1	km	X[2]		X[2]
Umfeldhelligkeit	1	lx	X[2]		X
Umgebungstemperatur Gondel	1	°C	X	X	X
Umgebungstemperatur Turm	1	°C	X		

2.3 Störungen

Kommunikationsstörung

Bei einer Störung der Kommunikation zwischen einer Windenergieanlage und dem ENERCON SCADA Server oder dem ENERCON SCADA Edge Server kann keine Steuerung durch ENERCON SCADA Bat Protection erfolgen.

Fehlerhaftes Verhalten

Wird ENERCON SCADA Bat Protection vor der Fertigstellung des kompletten Windparks betrieben, kann es zu ausbleibenden oder überflüssigen Stopps der Windenergieanlagen kommen. Ursachen können Kommunikationsstörungen oder fehlende Sensoren sein.

2.4 Datenaufzeichnung

Um die durch ENERCON SCADA Bat Protection durchgeführten Steueraktionen auch zu einem späteren Zeitpunkt nachvollziehen zu können, werden diese monatlich in eine Datei mit dem Namensschema yyyymm00.btt geschrieben.

Die Datei kann mittels ENERCON SCADA Remote 3 über die Registerkarte *Datenanforderung* heruntergeladen werden. Die Datei wird bei der Datenanforderung von Monatsdaten für abgeschlossene Monate heruntergeladen.

Tab. 2: *.btt - Feldnamen

Feldname	Beschreibung
Date	Datum
Hour	Stunde
Minute	Minute

[1] Nur mit ENERCON SCADA Edge Server kompatibel.

[2] Nur vorhanden, wenn die Windenergieanlage über die entsprechenden, optionalen Sensoren verfügt. Detailliertere Informationen dazu können bei dem zuständigen Ansprechpartner im ENERCON Vertrieb eingeholt werden.

Feldname	Beschreibung
Second	Sekunde
Error	Fehlercode
Line	Zeilennummer der Konfiguration
PlantNo	Anlagennummer der gesteuerten Windenergieanlage
Control	Steueraktion (Stopp), ein leeres Feld zeigt an, dass die Anlage nicht durch Bat Protection gestoppt wird.
StartTime	konfigurierte Startzeit (bei absoluter Zeit oder die berechnete Zeit)
EndTime	konfigurierte Endzeit (bei absoluter Zeit oder die berechnete Zeit)
Sunset	berechneter Sonnenuntergang
Sunrise	berechneter Sonnenaufgang
DataType	Datentyp, Sensortyp (Windgeschwindigkeit, Gondelposition etc.)
ActVal	Messwert (aktueller Sensorwert, Mittelwert)
Operator	Vergleichsoperator
ConfigVal	konfigurierter Abschaltwert
TestBit	Gibt den Status des Testmodus an: ■ 0: Testmodus nicht aktiv ■ 1: Testmodus aktiv
State	Hauptstatus der Anlage
SubState	Nebenstatus der Anlage
Info	Freitextfeld
CtrGroup	Steuergruppe

2.5 Registerkarte Bat Protection in ENERCON SCADA Remote 3

Über die Registerkarte *Bat Protection* können die für die Windenergieanlagen mit ENERCON SCADA Bat Protection konfigurierten Steueraktionen angezeigt werden.

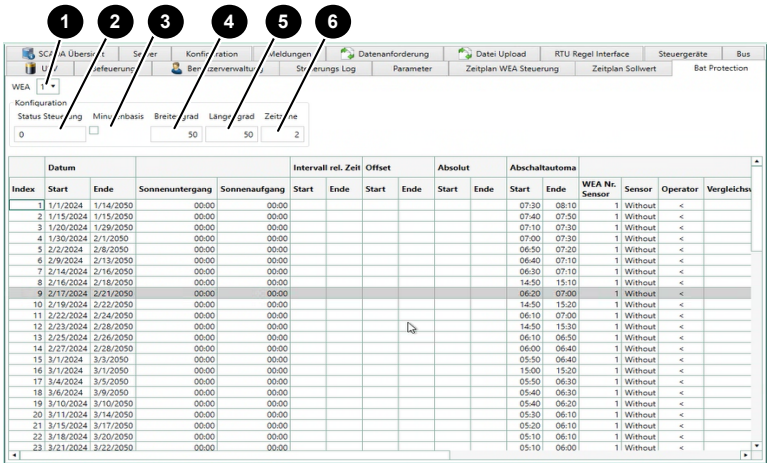


Abb. 1: Registerkarte *Bat Protection* (1)

1	Auswahlliste *WEA*	2	Anzeigefeld *Status Steuerung*
3	Anzeigefeld *Minutenbasis*	4	Anzeigefeld *Breitengrad*
5	Anzeigefeld *Längengrad*	6	Anzeigefeld *Zeitzone*

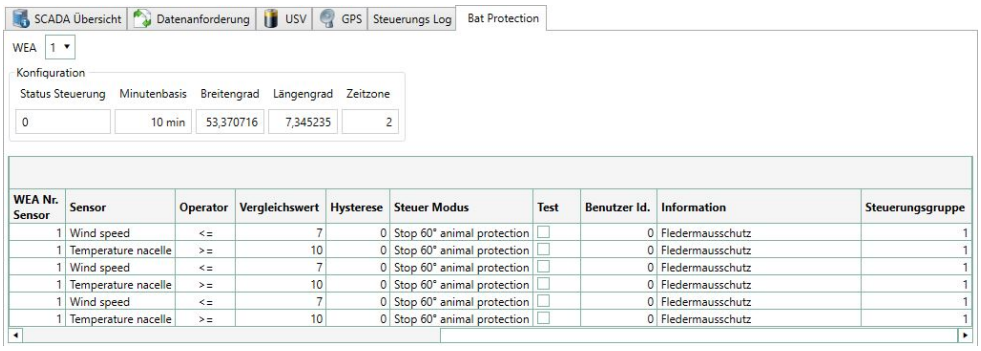


Abb. 2: Registerkarte *Bat Protection* (2)

Auswahlliste *WEA*

Hier kann die Windenergieanlage ausgewählt werden.

Anzeigefeld *Status Steuerung*

Gibt den aktuell von ENERCON SCADA Bat Protection an die ausgewählte Windenergieanlage ausgegebenen Steuerwert an.

- 0: Start
- 1: Stopp 60°
- 2: Stopp 90°
- 3: Gradientenstopp 60°
- 4: Gradientenstopp 90°
- 5: Stopp Tierschutz 60°
- 6: Stopp Tierschutz 90°
- 7: Stopp Fledermausschutz 60°
- 8: Stopp Fledermausschutz 90°
- 9: Stopp Vogelschutz 60°
- 10: Stopp Vogelschutz 90°

- 11: Stopp Schattenabschaltung 90°

Anzeigefeld *Minutenbasis*

Gibt den Zeitraum an, über den die von den Sensoren bereitgestellten Minutendaten gemittelt werden.

Anzeigefeld *Breitengrad*

Gibt den in der Konfiguration eingetragenen Breitengrad an.

Anzeigefeld *Längengrad*

Gibt den in der Konfiguration eingetragenen Längengrad an.

Anzeigefeld *Zeitzone*

Gibt die in der Konfiguration eingetragene Zeitzone an.

Tab. 3: Informationen zum Tabelleninhalt

Spalte	Beschreibung
Index	Gibt die Zeile innerhalb der Konfigurationsdatei an.
Datum Start/Ende	Gibt den Zeitraum an, in dem die Steuerung durch Bat Protection aktiv ist. Nur in diesem definierten Zeitraum werden Bedingungen ausgewertet und eine Steuerung durch Bat Protection ermöglicht.
Sonnenuntergang	Gibt den berechneten Sonnenuntergang an. Nur während des definierten Zeitraums.
Sonnenaufgang	Gibt den berechneten Sonnenaufgang an. Nur während des definierten Zeitraums.
Intervall rel. Zeit Start/Ende	Gibt das gewählte Intervall der Nacht an (0,00 = Sonnenuntergang; 1,00 = Sonnenaufgang). Das Intervall kann bereits vor dem Sonnenuntergang beginnen (<0,00) und nach dem Sonnenaufgang enden (>1,00).
Offset Start/Ende	Relative Zeitwerte können um einen absoluten Zeitbetrag (Offset) addiert und subtrahiert werden. Dem relativen Zeitwert *Sonnenuntergang* kann z. B. der absolute Zeitbetrag 1 Stunde vorangestellt werden. Hiermit können beispielsweise Startzeitpunkte für den Fledermausschutz definiert werden, die 1 Stunde vor dem Sonnenuntergang liegen. Dies gilt analog für den Sonnenaufgang.
Absolut Start	Gibt die konfigurierte absolute Startzeit an.
Absolut Ende	Gibt die konfigurierte absolute Endzeit an.
Abschaltautomatik Start/Ende	Gibt den resultierenden Zeitraum der Steueraktion an.
WEA Nr. Sensor	Gibt die Windenergieanlage an, deren Sensordaten zur Steuerung genutzt werden sollen.
Sensor	Gibt den Sensor an, dessen Sensordaten zur Steuerung genutzt werden sollen.
Operator	Gibt den Operator (z. B. ≥) an, nach welchem Verfahren der gemessene Wert mit dem Steuervergleichswert verglichen wird.

Spalte	Beschreibung
Vergleichswert	Gibt den Steuervergleichswert an, mit dem der gemessene Wert des Sensors verglichen wird.
Hysterese	Gibt die Hysterese des Steuervergleichswerts an.
Steuer Modus	Gibt die Steueraktion an (bei Erfüllung der Bedingung).
Test	Gibt an, ob der Testmodus aktiviert (Kontrollkästchen aktiviert) oder deaktiviert (Kontrollkästchen deaktiviert) ist.
Benutzer Id.	Gibt an, ob es sich um eine Parksteuerung (Benutzer Id. = 0) oder um eine Kundensteuerung (Benutzer Id. = ID des Kunden) handelt.
Information	Gibt den in der Konfiguration hinterlegten Freitext als Information an.
Steuergruppe	Gibt die Steuergruppe an.

3 Konfiguration

Die notwendigen Modifikationen der Konfigurationsdatei dürfen aus Sicherheitsgründen ausschließlich von ENERCON vorgenommen werden.

Für jede Steueraktion einer Windenergieanlage muss ein Eintrag in der Konfiguration erstellt werden. Pro Eintrag kann der Datenwert eines Sensors und/oder ein Zeitwert ausgewertet werden. Soll eine Steueraktion in einem Zeitraum erst bei der Erfüllung mehrerer Bedingungen ausgeführt werden, muss für jede Bedingung eine Zeile mit dem selben Zeitraum in der Konfigurationsdatei angelegt werden. Erst wenn alle Bedingungen des Zeitraums erfüllt sind, wird die gewünschte Steueraktion ausgeführt.

Neben der auszuführenden Steueraktion muss eine Default-Steueraktion festgelegt werden, die bei Nichterfüllung der Bedingung ausgeführt wird. Da im Normalfall Stopps durch ENERCON SCADA Bat Protection umgesetzt werden, ist die Steueraktion bei Nichterfüllung in der Regel der Start der Windenergieanlage.

3.1 Mittelwerte

Die von den Windenergieanlagen bereitgestellten Daten werden vom ENERCON SCADA Server und dem ENERCON SCADA Edge Server in 10-Minuten-Mittelwerte überführt. ENERCON SCADA Bat Protection nutzt diese10-Minuten-Mittelwerte.

3.2 Mehrere Bedingungen für eine Abschaltung

Werden mehrere Bedingungen zur Abschaltung einer Windenergieanlage konfiguriert, müssen alle Bedingungen erfüllt sein (z. B. Uhrzeit 23:00 Uhr **und** Windgeschwindigkeit <6 m/s **und** Umgebungstemperatur >10 °C **und** Niederschlag <0,004 mm/min). Ist eine der Bedingung nicht mehr erfüllt, löst ENERCON SCADA Bat Protection den Start der Windenergieanlage aus. Der Start kann mit Hilfe einer Hysterese und eines Deadbands verzögert werden, so dass kein ständiger Wechsel zwischen Start und Stopp erfolgt.

In einem Zeitraum können Steueraktionen aufgrund unterschiedlicher behördlicher Vorgaben durch Steuergruppen realisiert werden. Hierzu werden die Bedingungen der jeweiligen Vorgabe bzw. der jeweiligen Steueraktion separaten Steuergruppen zugewiesen.

3.3 Steuergruppen

Bei der Konfiguration der Bedingungen können diese einer Steuergruppe (1 bis 9) zugewiesen werden. Wird bei der Konfiguration keine Steuergruppe festgelegt, wird die Bedingung automatisch der Steuergruppe 1 zugewiesen. Durch Steuergruppen können für einen Zeitraum mehrere Bedingungen in unterschiedlichen Gruppen zusammengefasst werden. Hierdurch können für einen Zeitraum Steueraktionen aufgrund unterschiedlicher behördlicher Vorgaben realisiert werden.

Eine Steuergruppe im Zeitraum

Werden für einen Zeitraum mehrere Bedingungen für eine Steuergruppe konfiguriert, müssen für einen Stopp in diesem Zeitraum alle Bedingungen der Steuergruppe erfüllt sein. Sobald eine Bedingung nicht mehr erfüllt ist, werden die Windenergieanlagen wieder gestartet.

Mehrere Steuergruppen im Zeitraum

Werden für einen Zeitraum mehrere Bedingungen für unterschiedliche Steuergruppen konfiguriert, müssen für einen Stopp lediglich alle Bedingungen einer Steuergruppe erfüllt werden. Die Bedingungen innerhalb einer Steuergruppe sind für einen Stopp Und-Ver-

knüpft, die Steuergruppen eines Zeitraums sind logisch Oder-verknüpft. Sobald alle Bedingungen mindestens einer Steuergruppe erfüllt sind wird gestoppt. Sobald bei keiner der Steuergruppen alle Bedingungen erfüllt sind, werden die Windenergieanlagen wieder gestartet.

Tab. 4: Beispiel Steuergruppen

Steuergruppe 1	Steuergruppe 2	Steueraktion
0	0	Start
0	1	Stopp
1	1	Stopp

0 = es sind nicht alle Bedingungen erfüllt, 1 = alle Bedingungen sind erfüllt

3.4 Hysterese

Durch die Hysterese kann ausgehend von einer Stopp-Bedingung ein Bereich festgelegt werden, in dem die Windenergieanlage nicht gestartet wird.

Soll z. B. eine Windenergieanlage bei Windgeschwindigkeiten <5,0 m/s stoppen und erst bei Windgeschwindigkeiten über 5,5 m/s wieder starten, muss die Hysterese auf den Wert 0,5 gesetzt werden (5,5 - 5,0 = 0,5).

Ist die Windenergieanlage nicht gestoppt und reduziert sich die Windgeschwindigkeit z. B. von 5,9 m/s auf 5,2 m/s, also in den durch die Hysterese definierten Bereich, bleibt die Windenergieanlage weiterhin in Betrieb. Die Windenergieanlage wird in dem durch die Hysterese definierten Bereich nicht aktiv gestoppt. Die Hysterese greift nur nach einem vorherigen Stopp durch ENERCON SCADA Bat Protection.

3.5 Deadband

Um ungewollte Dynamiken und somit das andauernde Starten und Stoppen der Windenergieanlage zu verhindern, können die Bedingungen durch ein Deadband erweitert werden. Der Start der Windenergieanlage kann alternativ auch über die Hysterese verzögert werden.

Die 10-Minuten-Mittelwerte können über die Konfiguration mit einem Faktor multipliziert werden und ergeben so das Deadband. Steueraktionen werden erst dann bei Bedingungen mit einem Deadband durchgeführt, wenn die Bedingung für den durch das Deadband (Mittelwert × Faktor) definierten Zeitraum erfüllt sind.

Ist das Deadband beispielsweise auf 3 eingestellt, wird die Windenergieanlage erst gestoppt, wenn alle Bedingungen für 3 aufeinanderfolgende 10-Minuten-Mittelwerte erfüllt sind. Das Wiedereinschalten der Windenergieanlage erfolgt, wenn mindestens eine Bedingungung für 3 aufeinanderfolgende 10-Minuten-Mittelwerte nicht mehr erfüllt ist.

3.6 Testmodus

Zu Testzwecken können die Bedingungen so konfiguriert werden, dass die Erfüllung einer Bedingung zwar aufgezeichnet aber die Steueraktion nicht an die Windenergieanlage übertragen wird.

3.7 Freitext

Über ein Freitextfeld kann jeder Bedingung bei der Konfiguration eine frei wählbare Information zugewiesen werden. Diese Information wird bei der Auswertung von ENERCON SCADA Bat Protection angegeben. Der Freitext kann beispielsweise eine Information zu der durchgeführten Steuerung oder der Bedingung enthalten.