

Technische Beschreibung

Anhalten der Windenergieanlage

ENERCON Windenergieanlagen

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	D0630561/5.0-de		
Vermerk	Originaldokument		
Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2025-03-10	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
DIBt 2012	Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Fassung Oktober 2012, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	5
2	Blattverstellungssystem	6
3	Anhalten	7
3.1	Trudelbetrieb	7
3.2	Fahnenstellung	10
3.3	Ertrag	11

1 Allgemeines

ENERCON Windenergieanlagen können manuell oder automatisch angehalten werden. Dabei werden die Rotorblätter aus dem Wind gedreht und der Rotor aerodynamisch gebremst. Die Windnachführung bleibt in Funktion und die Rotorbremse wird nicht betätigt.

2 Blattverstellungssystem

Das Blattverstellungssystem ändert 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 das Blatt den Rotor dreht.

Im Automatikbetrieb (normale Betriebsart) wird der Blattwinkel so eingestellt, dass einerseits die im Wind enthaltene Energie optimal ausgenutzt wird und andererseits keine Überlastung eintritt. Dabei werden je nach Bedarf auch Randbedingungen wie die Schalloptimierung eingehalten. Außerdem ermöglicht das Blattverstellungssystem das aerodynamische Abbremsen des Rotors.

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

3 Anhalten

Die Windenergieanlagen sind ausgelegt und zertifiziert, um 1100-mal pro Jahr anzuhalten.

Wird dieser Wert überschritten, erfolgt eine beschleunigte Komponententalerung.

Erhöhte Ermüdungslasten an den Großkomponenten der Windenergieanlage (z. B. Rotor, Turm, tragenden Strukturen) führen nicht zum Ausfall innerhalb der zu erwartenden Lebensdauer.

Andere Komponenten der Windenergieanlagen werden stärker belastet und müssen evtl. ausgetauscht werden. Beispiele:

- Systemtrennschalter
- Blattverstellantrieb
- Isometer

Die Auslegung der Windenergieanlagen erfolgt nach der Richtlinie DIBt 2012.

3.1 Trudelbetrieb

Die Blattwinkelstellung im Trudelbetrieb beträgt $\geq 60^\circ$. Die Rotorblätter erzeugen eine geringe Auftriebskraft. Der Rotor trudelt oder steht bei völliger Windstille still. Der Trudelbetrieb ist für Windenergieanlagen, die in Tab. 1, S. 8 aufgelistet sind, verfügbar.

Vorteile des Trudelbetriebs

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

Zudem ist eine bessere Windmessung und Generatortrocknung möglich.

Trudeldrehzahl

Die Trudeldrehzahl ist abhängig vom Typ der Windenergieanlage und von der Windgeschwindigkeit. Die nominale Trudeldrehzahl (n_1) wird bei einer Windgeschwindigkeit (V_1) erreicht.

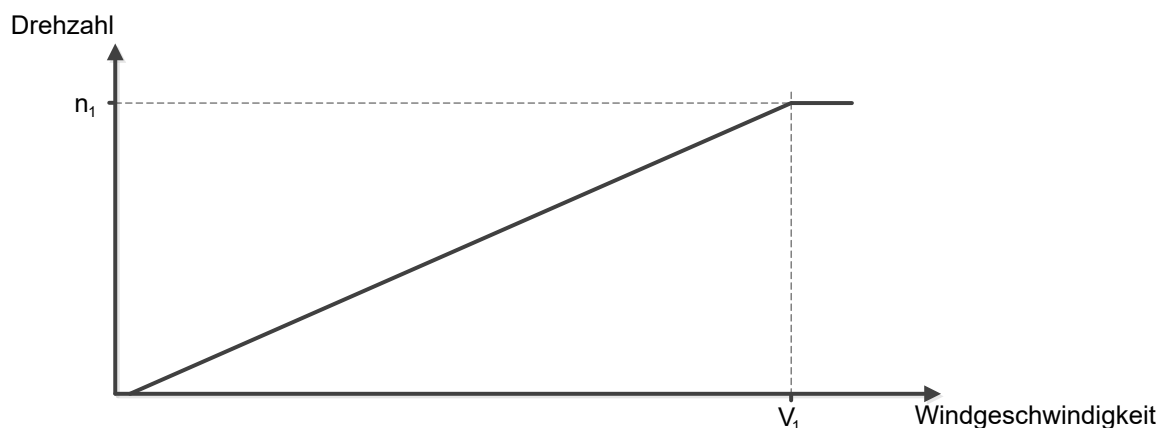


Abb. 1: Trudeldrehzahl in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

n_1	nominale Trudeldrehzahl	V_1	Windgeschwindigkeit bei der die nominale Trudeldrehzahl erreicht wird
-------	-------------------------	-------	---

Tab. 1: Trudeldrehzahlen und Blattspitzengeschwindigkeiten

Windenergieanlage	Nominale Trudeldrehzahl (n_1) ¹	Windgeschwindigkeit (V_1) ¹	Nominale Blattspitzengeschwindigkeit ¹	Trudeldrehzahl ¹ bei Windgeschwindigkeit $\leq 6,5 \text{ m/s}^1$	Blattspitzengeschwindigkeit ¹ bei Windgeschwindigkeit $\leq 6,5 \text{ m/s}^1$
E-44	5,0 U/min	11,0 m/s	11,5 m/s	$\leq 2,9 \text{ U/min}$	$\leq 6,8 \text{ m/s}$
E-48	5,0 U/min	11,9 m/s	12,6 m/s	$\leq 2,7 \text{ U/min}$	$\leq 6,8 \text{ m/s}$
E-53	4,5 U/min	11,0 m/s	12,5 m/s	$\leq 2,7 \text{ U/min}$	$\leq 7,3 \text{ m/s}$
E-70 E4	3,5 U/min	12,1 m/s	13,0 m/s	$\leq 1,9 \text{ U/min}$	$\leq 7,0 \text{ m/s}$
E-82 E2	3,5 U/min	13,1 m/s	15,0 m/s	$\leq 1,7 \text{ U/min}$	$\leq 7,4 \text{ m/s}$
E-82 E3	3,5 U/min	13,1 m/s	15,0 m/s	$\leq 1,7 \text{ U/min}$	$\leq 7,4 \text{ m/s}$
E-82 E4	3,5 U/min	13,1 m/s	15,0 m/s	$\leq 1,7 \text{ U/min}$	$\leq 7,4 \text{ m/s}$
E-92	3,3 U/min	13,8 m/s	15,9 m/s	$\leq 1,6 \text{ U/min}$	$\leq 7,5 \text{ m/s}$
E-101	3,0 U/min	15,2 m/s	15,9 m/s	$\leq 1,3 \text{ U/min}$	$\leq 6,8 \text{ m/s}$
E-101 E2	3,0 U/min	16,0 m/s	15,9 m/s	$\leq 1,2 \text{ U/min}$	$\leq 6,5 \text{ m/s}$
E-103 EP2	3,0 U/min	15,7 m/s	16,2 m/s	$\leq 1,2 \text{ U/min}$	$\leq 6,7 \text{ m/s}$
E-112	2,5 U/min	16,5 m/s	14,9 m/s	$\leq 0,98 \text{ U/min}$	$\leq 5,9 \text{ m/s}$
E-115	2,8 U/min	16,7 m/s	17,0 m/s	$\leq 1,1 \text{ U/min}$	$\leq 6,6 \text{ m/s}$
E-115 E2	2,8 U/min	16,5 m/s	17,0 m/s	$\leq 1,1 \text{ U/min}$	$\leq 6,7 \text{ m/s}$
E-115 EP3 E3	2,5 U/min	14,8 m/s	15,1 m/s	$\leq 1,1 \text{ U/min}$	$\leq 6,7 \text{ m/s}$
E-115 EP3 E4	2,6 U/min	15,4 m/s	15,78 m/s	$\leq 1,1 \text{ U/min}$	$\leq 6,7 \text{ m/s}$
E-126 EP3	2,5 U/min	16,5 m/s	16,6 m/s	$\leq 1,0 \text{ U/min}$	$\leq 6,6 \text{ m/s}$
E-126 EP4	2,5 U/min	14,9 m/s	16,6 m/s	$\leq 1,1 \text{ U/min}$	$\leq 7,3 \text{ m/s}$
E-138 EP3	2,5 U/min	17,5 m/s	18,1 m/s	$\leq 0,9 \text{ U/min}$	$\leq 6,7 \text{ m/s}$
E-138 EP3 E2	2,5 U/min	17,5 m/s	18,1 m/s	$\leq 0,9 \text{ U/min}$	$\leq 6,7 \text{ m/s}$
E-138 EP3 E3	1,5 U/min	10,5 m/s	10,9 m/s	$\leq 0,9 \text{ U/min}$	$\leq 6,7 \text{ m/s}$
E-138 EP3 E4	1,5 U/min	10,5 m/s	10,9 m/s	$\leq 0,9 \text{ U/min}$	$\leq 6,7 \text{ m/s}$
E-141 EP4	2,0 U/min	13,6 m/s	14,8 m/s	$\leq 1,0 \text{ U/min}$	$\leq 7,1 \text{ m/s}$
E-160 EP5 E3 ²	2,0 U/min	17,4 m/s	16,8 m/s	$\leq 0,75 \text{ U/min}$	$\leq 6,3 \text{ m/s}$
E-160 EP5 E3 R1	1,5 U/min	13,0 m/s	12,6 m/s	$\leq 0,75 \text{ U/min}$	$\leq 6,3 \text{ m/s}$
E-175 EP5 E1	1,5 U/min	12,2 m/s	13,8 m/s	$\leq 0,8 \text{ U/min}$	$\leq 7,3 \text{ m/s}$
E-175 EP5 E2	1,5 U/min	12,2 m/s	13,8 m/s	$\leq 0,8 \text{ U/min}$	$\leq 7,3 \text{ m/s}$

Dauer des Übergangs vom Normalbetrieb in den Trudelbetrieb

Wenn die Windenergieanlage in den Trudelbetrieb übergeht, erreicht der Rotor innerhalb von 35 s eine anlagenabhängige Trudeldrehzahl oder steht bei völliger Windstille still. Die Dauer kann, je nach Ursache, durch einen Gradientenstopp erhöht werden.

¹ 1-Minuten-Mittelwert

² Übergang in den Trudelbetrieb nur bei Windmangel oder bedingt durch Fledermaus- oder Vogelschutz

Mögliche Ursachen für den Übergang in den Trudelbetrieb:

- Windmangel
- Störung der Einspeisung
- nicht sicherheitsrelevante Komponentenstörung
- Fledermaus- oder Vogelschutz
- Eisansatzerkennung

3.2 Fahnenstellung

Die Blattwinkelstellung in Fahnenstellung beträgt ca. 90°. Die Rotorblätter erzeugen keinen Auftrieb. Der Rotor wird aerodynamisch gebremst. Er steht still oder bewegt sich minimal.

Nachteile der Fahnenstellung

Aufgrund der mangelnden Bewegung sind Stillstandsmarkierungen und ein erhöhter Verschleiß der Haupt- bzw. Nebenlager möglich. Witterungsabhängig kann es zu einer erhöhten Dauer der Generatortrocknung kommen.

Eine Wiederaufnahme der Stromerzeugung und -einspeisung benötigt, im Gegensatz zur Wiederaufnahme im Trudelbetrieb, deutlich mehr Zeit.

Dauer des Übergangs vom Normalbetrieb in Fahnenstellung

Wenn die Windenergieanlage im Normalbetrieb angehalten wird, erreicht der Rotor eine Drehzahl von nahezu 0 U/min. Die Dauer kann, je nach Ursache, durch einen Gradientenstopp erhöht werden.

Tab. 2: Drehzahlen und Zeiten bis zum Anhalten

Windenergieanlage	Zeit bis 2 U/min	Zeit bis 1 U/min	Zeit bis nahezu 0 U/min
E-44	-	-	35 s
E-48			
E-53			
E-70 E4			
E-82 E2			
E-82 E3			
E-82 E4			
E-92			
E-101	25 s	35 s	45 – 50 s
E-101 E2	25 s	30 s	40 – 45 s
E-103 EP2	-	-	35 s
E-112			
E-115	25 s	30 s	40 – 45 s
E-115 E2	25 s	30 s	40 – 45 s
E-115 EP3 E3	-	-	35 s
E-126 EP4			
E-141 EP4			
E-115 EP3 E4	27 s	30 s	55 – 60 s
E-126 EP3	28 s	34 s	50 s
E-138 EP3	35 s	40 s	45 – 60 s
E-138 EP3 E2	35 s	40 s	45 – 60 s
E-138 EP3 E3	35 s	40 s	45 – 60 s
E-138 EP3 E4	35 s	40 s	45 – 60 s
E-147 EP5 E2	30 s	40 s	50 s

Windenergieanlage	Zeit bis 2 U/min	Zeit bis 1 U/min	Zeit bis nahezu 0 U/min
E-160 EP5 E2	20 s	27 s	42 s
E-160 EP5 E3	25 s	32 s	54 s
E-160 EP5 E3 R1	25 s	32 s	54 s
E-175 EP5 E1	25 s	32 s	65 s
E-175 EP5 E2	25 s	32 s	65 s

Mögliche Ursachen für den Übergang in Fahnenstellung:

- manuelles Anhalten: Der Schalter *Start/Stop* am Steuerschrank wird in Stellung *Stop* gedreht.
- Überdrehzahl
- Störung der Notverstellkondensatoren
- Störung des Generators
- Schattenabschaltung
- Notverstellung

3.3 Ertrag

Befindet sich die Windenergieanlage im Trudelbetrieb oder in Fahnenstellung, wird die Erregung des Generators ausgeschaltet (abhängig vom Typ der Windenergieanlage³). Es wird keine Leistung und somit kein Ertrag erzeugt. Die nominale Trudeldrehzahl liegt unter der minimalen Betriebsdrehzahl.

³ Nur bei Windenergieanlagen mit fremderregtem Generator.