

3.2 Angaben zu verwendeten und anfallenden Energien

• 3.2.1 Technische Beschreibung Eigenbedarf

- Antragsdokument: **D0215274_19.0_de_TB_Eigenbedarf**

• 3.2.1 Technische Kühlsysteme

- Antragsdokument: **3-2-D02897146_0.3_de_Technische Beschreibung_Kühlsystem E-160 EP5 E3 R1**

Anlagen:

- 3-2_D0215274_19.0_de_TB_Eigenbedarf.pdf
- 3-2-D02897146_0.3_de_Technische Beschreibung_Kühlsystem E-160 EP5 E3 R1.pdf

Technische Beschreibung

Eigenbedarf

ENERCON Windenergieanlagen

Technische Änderungen vorbehalten.

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: <http://www.enercon.de>
Geschäftsführer: 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	D0215274/19.0-de		
Vermerk	Originaldokument		
Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2022-10-20	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Validierung

Inhaltsverzeichnis

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

Abkürzungsverzeichnis

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

Technische Änderungen vorbehalten.

1 Einleitung

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

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

2 Verbraucher

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

Tab. 1: Relevante Verbraucher

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

Tab. 2: Relevante Verluste

System	Verluste
STATCOM	Schaltverluste der Umrichter

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

Elektrische Konfiguration

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

3 Betriebspunkte

Für die Ermittlung des Eigenbedarfs werden verschiedene Betriebspunkte berücksichtigt.

Windenergieanlage im Standby

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

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

Windenergieanlage mit STATCOM

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

Windenergieanlage nach Netzausfall

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

4 Betriebsbedingungen

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

Sommer

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

Winter

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

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

Tab. 3: Verbraucher/Verluste im Sommer

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

Tab. 4: Verbraucher/Verluste im Winter

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

5 Ergebnisse

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

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

Maximalwerte (Max.)

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

15-Minuten-Mittelwerte (15 min)

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

5.1 Eigenbedarf der Windenergieanlage im Sommer

Tab. 5: Eigenbedarf der Windenergieanlage im Sommer

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

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 03-Nov-2022 09:01

Windenergieanlage	im Standby		mit STATCOM		nach Netzausfall	
	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW
E-115 EP3 E3 (4200 kW) ²	98	19	192	124	156	32
E-115 EP3 E4 (4260 kW) ²	98	19	192	124	156	32
E-126 EP3 (3000 kW) ²	95	19	188	122	152	32
E-126 EP3 (3500 kW) ²	96	19	189	123	153	32
E-126 EP3 (4000 kW) ²	98	19	192	124	156	32
E-138 EP3 (3500 kW) ²	98	19	192	124	156	32
E-138 EP3 E2 (4200 kW) ²	108	21	210	136	171	35
E-138 EP3 E3 (4260 kW) ²	108	21	210	136	171	35
E-136 EP5 (4650 kW) ^{2,4}	74	13	-	-	_ ³	_ ³
E-147 EP5 (4300 kW) ^{2,4}	74	25	-	-	_ ³	_ ³
E-147 EP5 E2 (5000 kW) ^{2,4}	74	25	-	-	_ ³	_ ³
E-160 EP5 (4600 kW) ^{2,4}	74	16	-	-	_ ³	_ ³
E-160 EP5 E2 (5500 kW) ^{2,4}	74	16	-	-	_ ³	_ ³
E-160 EP5 E3 (5560 kW) ^{2,4}	74	16	-	-	_ ³	_ ³
E-160 EP5 E3 R1 (5560 kW) ^{2,4}	74	16	-	-	_ ³	_ ³
E-175 EP5 (6000 kW) ^{2,4}	80	18	-	-	_ ³	_ ³

¹ länder- und projektspezifische Konfigurationen der Windenergieanlage (Verfügbarkeit prüfen)

² vorläufige Daten

³ keine Daten verfügbar

⁴ Bei der Kompensation der statischen Blindleistung des Umrichters ist der Wert höher (bei Stillstand der Windenergieanlage).

Technische Änderungen vorbehalten.

5.2 Eigenbedarf der Windenergieanlage im Winter

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

Windenergieanlage	im Standby		mit STATCOM		nach Netzausfall	
	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW
E-44 (200 kW) ¹	6	1	-	-	8	3
E-44 (250 kW) ¹	7	2	-	-	9	3
E-44 (500 kW) ¹	9	2	-	-	11	4
E-44 (900 kW)	13	9	23	16	19	11
E-48 (500 kW) ¹	9	2	-	-	11	4
E-48 (800 kW)	13	9	23	16	19	11
E-53 (500 kW) ¹	9	2	-	-	11	4
E-53 (800 kW)	13	9	23	16	19	11
E-70 E4 (1500 kW) ¹	24	18	-	-	36	23
E-70 E4 (2300 kW)	25	19	85	60	37	24
E-82 E2 (2000 kW)	25	19	78	60	37	24
E-82 E2 (2300 kW)	25	19	85	60	37	24
E-82 E4 (2350 kW)	28	17	115	89	36	23
E-82 E4 (3000 kW)	32	19	118	91	40	25
E-92 (2000 kW)	28	18	72	59	50	28
E-92 (2350 kW)	29	19	73	60	51	29
E-103 EP2 (2000 kW) ²	28	18	72	59	50	28
E-103 EP2 (2350 kW) ²	29	19	73	60	51	29
E-115 EP3 E3 2990 kW) ²	52	31	130	92	75	46
E-115 EP3 E3 (4200 kW) ²	67	35	170	118	106	59
E-115 EP3 E4 (4260 kW) ²	67	35	170	118	106	59
E-126 EP3 (3000 kW) ²	67	33	170	116	106	55
E-126 EP3 (3500 kW) ²	67	34	170	117	106	56
E-126 EP3 (4000 kW) ²	67	35	170	118	106	59
E-138 EP3 (3500 kW) ²	62	34	155	110	95	55
E-138 EP3 E2 (4200 kW) ²	69	37	170	121	105	61
E-138 EP3 E3 (4260 kW) ²	69	37	170	121	105	61
E-136 EP5 (4650 kW) ^{2,4}	97	17	-	-	- ³	- ³
E-147 EP5 (4300 kW) ^{2,4}	97	30	-	-	- ³	- ³
E-147 EP5 E2 (5000 kW) ^{2,4}	97	30	-	-	- ³	- ³
E-160 EP5 (4600 kW) ^{2,4}	97	19	-	-	- ³	- ³
E-160 EP5 E2 (5500 kW) ^{2,4}	97	19	-	-	- ³	- ³

Technische Änderungen vorbehalten.

Freigabe: 03-Nov-2022 09:01

Windenergieanlage	im Standby		mit STATCOM		nach Netzausfall	
	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW	Max. in kW	15 min in kW
E-160 EP5 E3 (5560 kW) ^{2,4}	97	19	-	-	- ³	- ³
E-160 EP5 E3 R1 (5560 kW) ^{2,4}	97	19	-	-	- ³	- ³
E-175 EP5 (6000 kW) ^{2,4}	105	21	-	-	- ³	- ³

¹ länder- und projektspezifische Konfigurationen der Windenergieanlage (Verfügbarkeit prüfen)

² vorläufige Daten

³ keine Daten verfügbar

⁴ Bei der Kompensation der statischen Blindleistung des Umrichters ist der Wert höher (bei Stillstand der Windenergieanlage).

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

Eigenbedarf der Blattheizung im Winter

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

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

Tab. 7: Nennleistung Blattheizung

Windenergieanlage	Nennleistung Blattheizung in kW (Blattheizungsmodul je Rotorblatt)
E-44 (200 kW) ¹	15,2
E-44 (250 kW) ¹	15,2
E-44 (500 kW) ¹	15,2
E-44 (900 kW)	15,2
E-48 (500 kW) ¹	15,2
E-48 (800 kW)	15,2
E-53 (500 kW) ¹	15,2
E-53 (800 kW)	15,2
E-70 (1500 kW) ¹	22,7
E-70 (2300 kW)	22,7
E-82 E2 (2000 kW)	29,0
E-82 E2 (2300 kW)	29,0
E-82 E4 (2350 kW)	29,0
E-82 E4 (3000 kW)	29,0
E-92 (2000 kW)	43

Windenergieanlage	Nennleistung Blattheizung in kW (Blattheizungsmodul je Rotorblatt)
E-92 (2350 kW)	43
E-103 EP2 (2000 kW) ²	43
E-103 EP2 (2350 kW) ²	55,5
E-115 EP3 E3 (2990 kW) ²	74,3
E-115 EP3 E3 (4200 kW) ²	68
E-115 EP3 E4 (4260 kW) ²	68
E-126 EP3 (3000 kW) ²	55,5
E-126 EP3 (3500 kW) ²	55,5
E-126 EP3 (4000 kW) ²	68
E-138 EP3 (3500 kW) ²	68
E-138 EP3 E2 (4200 kW) ²	68
E-138 EP3 E3 (4260 kW) ²	68
E-136 EP5 (4650 kW)	keine Blattheizung
E-147 EP5 (4300 kW)	keine Blattheizung
E-147 EP5 E2 (5000 kW)	keine Blattheizung
E-160 EP5 (4600 kW)	keine Blattheizung
E-160 EP5 E2 (5500 kW)	keine Blattheizung
E-160 EP5 E3 (5560 kW)	keine Blattheizung
E-160 EP5 E3 R1 (5560 kW)	keine Blattheizung
E-175 EP5 (6000 kW)	in Entwicklung

¹ länder- und projektspezifische Konfigurationen der Windenergieanlage (Verfügbarkeit prüfen)

² vorläufige Daten

Technische Änderungen vorbehalten.

Technische Beschreibung

ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1

Kühlsysteme

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	D02897146/0.3-de		
Vermerk	Originaldokument		
Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2023-06-01	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Documentation Department

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	4
2	Temperaturüberwachung und Maßnahmen bei hohen Temperaturen	5
3	Klimaeinflüsse	7
4	Flüssigkeitskühlsystem	8
4.1	Aufbau des Flüssigkeitskühlsystems	8
4.2	Kühlmittel	10
4.2.1	Sicherheitsvorrichtungen	11
4.2.2	Inspektion	11
4.2.3	Unbeabsichtigte Freisetzung von Kühlmittel	11
5	Luftkühlung	12
5.1	Generatorkühlung	12
5.2	Maschinenhauskühlung	13

1 Allgemeines

Dieses Dokument beschreibt das Flüssigkeitskühlsystem und das Luftkühlsystem der ENERCON Windenergieanlage. Des Weiteren wird das Verhalten der Windenergieanlage bei hohen Temperaturen dargestellt. Hohe Temperaturen können wetterbedingt oder aufgrund von Störungen im Betriebsablauf der Windenergieanlage (z. B. Ausfall der Kühlung) entstehen.

Dieses Dokument gilt für den Windenergieanlagentyp E-160 EP5 E3 R1.

2 Temperaturüberwachung und Maßnahmen bei hohen Temperaturen

Bestimmte Komponenten der Windenergieanlage, insbesondere der Generator und die elektronischen Leistungskomponenten, erzeugen im Betrieb Wärme und müssen durch eine Flüssigkeitskühlung oder eine Luftkühlung vor zu hohen Betriebstemperaturen geschützt werden.

Die Temperaturen der Umrichter werden innerhalb ihres Optimalbereichs geregelt, um eine möglichst hohe Lebensdauer zu erreichen.

Sensoren messen kontinuierlich die Temperatur der Komponenten der Windenergieanlage, bei denen eine Temperaturregelung erforderlich ist und bei denen kritische Temperaturen auftreten können. Die Steuerung der Windenergieanlage analysiert die Messwerte und leitet bei Bedarf die erforderlichen Maßnahmen ein. Diese Maßnahmen erfolgen in einem mehrstufigen Prozess, der von dem Windenergieanlagentyp, der Turmvariante, der betroffenen Komponente der Windenergieanlage und dem jeweiligen Schwellenwert abhängig ist.

Je nach Messwert können folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Die Komponenten der Windenergieanlage werden gekühlt.
- Die Leistung wird gedrosselt.
- Die Windenergieanlage wird angehalten.

Messwerte, die zu einer Leistungsdrosslung oder zu Alarmen führen können, werden zu Evaluationszwecken und zur Zustandsüberwachung aufgezeichnet.

Damit kann ein hohes Maß an Sicherheit gewährleistet werden.

Kühlung

Steigt die Temperatur einzelner Komponenten der Windenergieanlage, wird entsprechend dem Schwellenwert der einzelnen Komponenten die Kühlung eingeschaltet. Überwacht werden unter anderem folgende Komponenten der Windenergieanlage:

- Generator
- Transformator
- Frequenzumrichter des Blattverstellungssystems
- Umrichter
- Steuerschränke

Leistungsdrosslung

Erreicht eine Temperatur der nachfolgend aufgeführten Komponenten einen vorgegebenen Schwellenwert, wird die Leistung der Windenergieanlage gedrosselt.

- Generator-Rotor
- Generator-Stator
- Transformator

Anhalten

Die Überwachung durch die Steuerung der Windenergieanlage erfolgt zweistufig. Erreicht eine Temperatur einen vorgegebenen Schwellenwert, generiert die Steuerung eine Warnmeldung, die über das ENERCON Fernwartungssystem übertragen wird. Erreicht eine Temperatur einen kritischen Wert, hält die Windenergieanlage an und eine Störmeldung wird erzeugt, die über das ENERCON Fernwartungssystem übertragen wird.

Das Anhalten resultiert aus der Überwachung der folgenden Komponenten der Windenergieanlage:

- Generator-Rotor
- Generator-Stator
- Notstromversorgung des Blattverstellsystems
- Rotorlager (rotierender und feststehender Teil)
- Frequenzumrichter und Motoren des Blattverstellsystems
- Steuerschränke mit Pufferleistung für Not-Halt-System
- Elektronik und Kühlsysteme der Umrichter
- Transformator

3 Klimaeinflüsse

Die Temperatur innerhalb einer Windenergieanlage wird von den folgenden Parametern beeinflusst:

- Außentemperatur
- Windgeschwindigkeit
- Sonneneinstrahlung
- Niederschlag
- thermische Vorgeschichte der Windenergieanlage (Zeitkonstante)

Der Einfluss der einzelnen Parameter ist regional sehr unterschiedlich. Ein wichtiger Parameter ist die Windgeschwindigkeit, die ausschlaggebend für die Leistung und damit auch für die Betriebstemperatur einer Windenergieanlage ist.

Die Kombination aus sehr hoher Außentemperatur ($> 40\text{ °C}$) und geringer Windgeschwindigkeit (Windenergieanlage im Teillastbetrieb oder unterhalb der Einschaltwindgeschwindigkeit) ist unkritisch¹. Eine hohe Außentemperatur ($> 40\text{ °C}$) mit einer gleichzeitig hohen Windgeschwindigkeit (Windenergieanlage im Vollastbetrieb) ist eine extreme Betriebsbedingung. Ohne geeignete Gegenmaßnahmen können insbesondere in der Leistungselektronik, im Generator und im Transformator unzulässig hohe Temperaturen entstehen.

Spezielle technische Lösungen für extreme Standortbedingungen sind ggf. nach Rücksprache möglich.

Während der Projektplanung kann eine Einschätzung erfolgen, ob ein besonderes Risiko der Überhitzung der Windenergieanlage vorliegt. Dazu müssen parallele Messreihen von Windgeschwindigkeit und Außentemperatur analysiert werden. Die Windgeschwindigkeitsdaten sollten dabei als 10-Minuten-Mittelwerte vorliegen. Bei den Temperaturdaten reichen auch Stundenmittelwerte.

¹ Ausnahme: ENERCON Windenergieanlagen mit der Option STATCOM (Static Compensator) können unabhängig vom Wind jederzeit Blindleistung mit dem Netz austauschen, wodurch Wärme in den Umrichtern und im Transformator entsteht.

4 Flüssigkeitskühlsystem

Die Kühlung der Mittelspannungskomponenten und der Leistungselektronik erfolgt über ein Flüssigkeitskühlsystem. Die Kühlmittelpumpe fördert das Kühlmittel durch ein Schlauchsystem zu den einzelnen Komponenten. Die in den Komponenten erzeugte Wärme wird an das Kühlmittel abgegeben und fließt zurück zum Wärmetauscher des Flüssigkeitskühlsystems. Das erwärmte Kühlmittel wird dort mittels Außenluft abgekühlt.

4.1 Aufbau des Flüssigkeitskühlsystems

Die Kühleinheit vereint Teile und Baugruppen des Flüssigkeitskühlsystems.

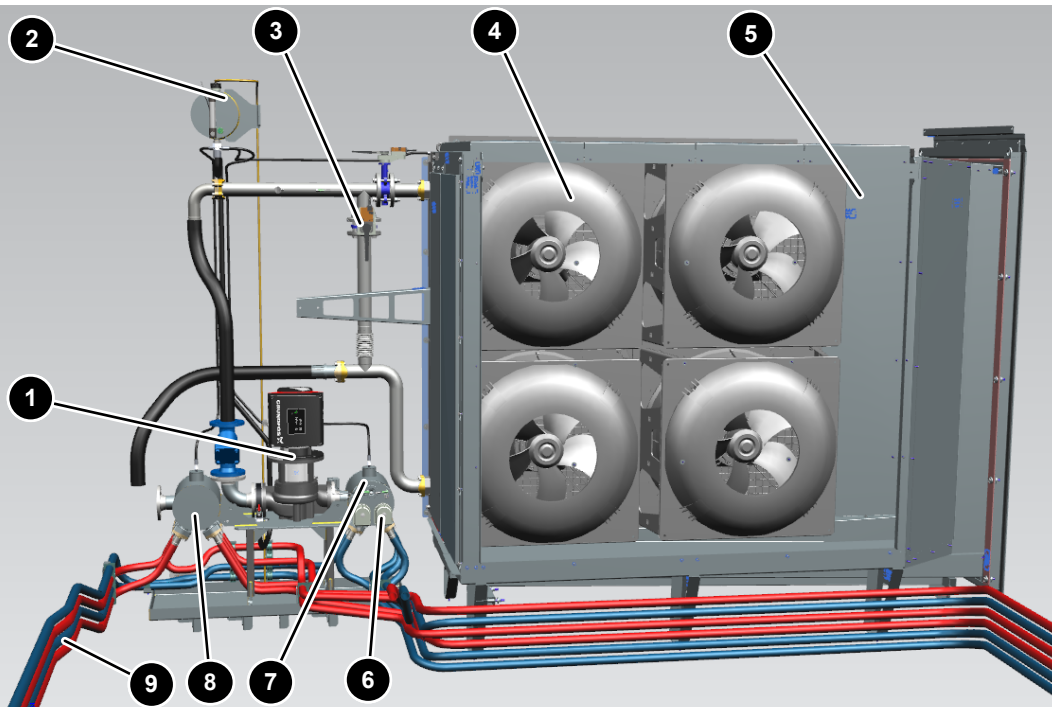


Abb. 1: Komponenten der Kühleinheit

1 Kühlmittelpumpe	2 Ausgleichsbehälter
3 Bypass	4 Lüftereinheit
5 Wärmetauscher	6 Heizung
7 Kühlmittelverteiler	8 Kühlmittelsammler
9 Kühlmittleitungen	

Kühlmittelpumpe

Die Kühlmittelpumpe sorgt für den Transport des Kühlmittels im Flüssigkeitskühlsystem.

Ausgleichsbehälter

Der Ausgleichsbehälter gleicht Volumen- und Druckänderungen im Flüssigkeitskühlsystem aus.

Bypass

Mithilfe des Bypasses kann der Wärmetauscher des Flüssigkeitskühlsystems umgangen werden. Dies kann notwendig sein, wenn das zurückgeführte Kühlmittel eine bestimmte Temperatur unterschreitet. Dadurch wird verhindert, dass das Kühlmittel unzulässig tief heruntergekühlt wird.

Lüftereinheit

Die Lüftereinheit besteht aus 4 Lüftern, die einzeln drehzahlvariabel angesteuert werden können. Die Lüfter saugen Außenluft durch den Lufteinlasskanal an und leiten sie durch den Wärmetauscher wieder nach außen. Die Steuerung des Kühlsystems regelt die Drehzahl der Lüfter so, dass die Kühlmitteltemperatur möglichst konstant bleibt.

Wärmetauscher

Der Wärmetauscher dient der Rückkühlung des Kühlmittels. Das von der Abwärme der Leistungsschranke, der USV und des Transformators erwärmte Kühlmittel fließt durch den Wärmetauscher. Gleichzeitig strömt Außenluft durch den Lufteinlasskanal hinein und durch den Wärmetauscher hindurch. Der Luftstrom nimmt die Wärme des Kühlmittels auf und strömt hinaus. Das zurückgekühlte Kühlmittel fließt über den Kühlmittelverteiler zu den elektrischen Komponenten.

Heizung

Bei besonders kalten Umgebungsbedingungen wird das Kühlmittel mithilfe der Heizung erwärmt, um eine Taubildung der vom Kühlmittel durchflossenen Komponenten während des Startvorgangs zu verhindern.

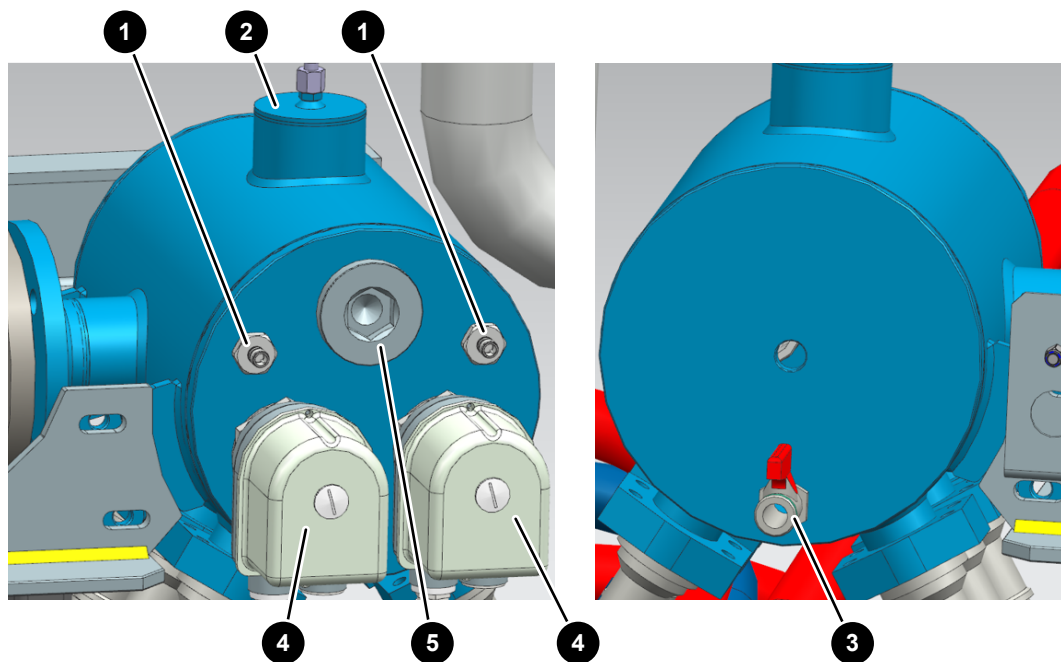


Abb. 2: Kühlmittelverteiler

1	Temperatur Sensor PT100	2	Lufttopf
3	Kugelhahn	4	Heizelement
5	Blindstopfen (für optionales 3. Heizelement)		

Kühlmittelverteiler

Der Kühlmittelverteiler dient dem Anschluss der einzelnen zu kühlenden Komponenten an das Flüssigkeitskühlsystem. Im Kühlmittelverteiler befinden sich 2 Temperatursensoren PT100, die die Temperatur des Kühlmittels nach dem Durchströmen des Rückkühlers messen. Der auf dem Kühlmittelverteiler befindliche Lufttopf sammelt die im System befindliche Luft. Zur automatischen Entlüftung des Systems wird die Luft zum Ausgleichsbehälter weitergeleitet, wo sie entweichen kann. Des Weiteren befindet sich am Kühlmittelverteiler ein Kugelhahn zum Entleeren des Systems.

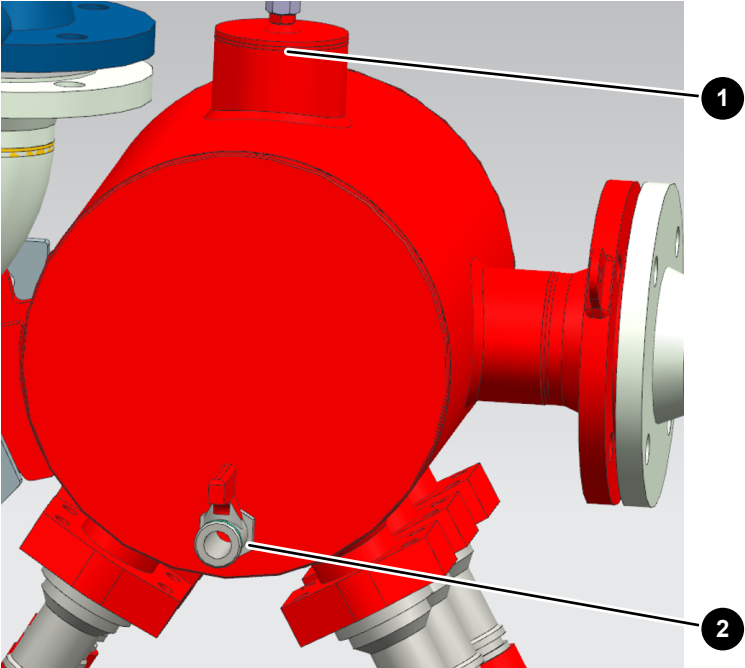


Abb. 3: Kühlmittelsammler

1	Lufttopf	2	Kugelhahn
---	----------	---	-----------

Kühlmittelsammler

Der Kühlmittelsammler bündelt alle Rücklaufleitungen des Kühlsystems und leitet diese weiter zur Rückkühleinheit. Zusätzlich verfügt der Kühlmittelsammler über einen Kugelhahn zum Entleeren des Kühlmediums sowie über einen Lufttopf zur automatischen Entlüftung des Systems.

Kühlmittleitungen

Die Kühlmittleitungen zu und von den Leistungsschränken, der USV und dem Transformator werden am Kühlmittelverteiler angeschlossen und dienen dem Transport des Kühlmittels.

4.2 Kühlmittel

Als Kühlmittel dient ein Wasser-Ethandiol-Glykol-Gemisch (Glykosol N 45 % oder Glysantin® G40 50 %).

Das Flüssigkeitskühlsystem wird vollständig im Produktionswerk befüllt. Das Nachfüllen von Kühlmittel nach einem Defekt erfolgt durch geschultes Fachpersonal.

Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten Mengen des Kühlmittels in den Windenergieanlagen mit Flüssigkeitskühlung:

Tab. 1: Kühlmittel in Windenergieanlagen

Windenergieanlage	Kühlmittelmenge	Komponenten
E-160 EP5 E3 R1	350 l	Leistungsschränke, USV und Transformator

4.2.1 Sicherheitsvorrichtungen

Temperaturüberwachung

Die Temperaturen aller relevanten Komponenten und die Temperatur des Kühlmittels werden kontinuierlich gemessen. Ausgleichsbehälter gleichen die temperaturbedingten Volumen- und Druckänderungen des Kühlmittels im Normalbetrieb aus.

Im Flüssigkeitskühlsystem wird mithilfe der drehzahlvariablen Lüfter am Wärmetauscher eine gleichmäßige Temperatur des Kühlmittels erreicht.

Beim Erreichen eines vorgegebenen Schwellenwerts wird die Anlagenleistung bzw. die Generatorleistung gedrosselt und eine Warnmeldung über das ENERCON Fernwartungssystem erzeugt. Nach Überschreiten eines kritischen Werts wird die Windenergieanlage angehalten.

Füllstandsüberwachung

Der Füllstand des Kühlsystems wird kontinuierlich überwacht. Der Füllstandssensor befindet sich im Ausgleichsbehälter des Flüssigkeitskühlsystems. Bei Unterschreiten der Mindestkühlmittelmenge wird eine Warnmeldung über das ENERCON Fernwartungssystem generiert und die Windenergieanlage angehalten.

4.2.2 Inspektion

1x jährlich kontrolliert geschultes Fachpersonal das Flüssigkeitskühlsystem auf folgende Punkte:

- Geräusche der Kühlmittelpumpe
- Geräusche der Ventilatoren
- Zustand der Kühlmittleitungen (Beschädigungen)
- Druck des Flüssigkeitskühlsystems (Dichtigkeit)
- Leckagen (Sichtkontrolle)
- Probenahme des Kühlmittels zur Analyse in einem zertifizierten Labor

4.2.3 Unbeabsichtigte Freisetzung von Kühlmittel

Bei einer Leckage des Flüssigkeitskühlsystems wird das Kühlmittel von der Gondelverkleidung aufgefangen. Leckagen, die am Transformator auftreten, werden in der Auffangwanne des Transformators aufgefangen. Der Füllstandssensor im Ausgleichsbehälter des Flüssigkeitskühlsystems erzeugt eine Warnmeldung, sobald der Mindestfüllstand im Flüssigkeitskühlsystem unterschritten wird. Dadurch wird ein Auslaufen größerer Mengen Kühlmittel verhindert. Das Kühlmittel muss fachgerecht entsorgt werden.

5 Luftkühlung

5.1 Generatorkühlung

Der Generator der Windenergieanlage erzeugt im Betrieb Wärme und muss gekühlt werden. Dazu wird Luft an der Unterseite des Maschinenhauses angesaugt und über Röhren in den Generator geleitet. Der Generator wird so von innen aktiv gekühlt. Die erwärmte Luft wird anschließend durch den Spalt zwischen Generator und Rotorkopf abgegeben.

Durch die Kühlrippen an der Außenseite des Generators wird der Generator passiv gekühlt. Die Kühlrippen bilden eine große Oberfläche, die vom Wind umströmt wird. So kann die entstandene Wärme an den natürlichen Luftstrom abgegeben werden.

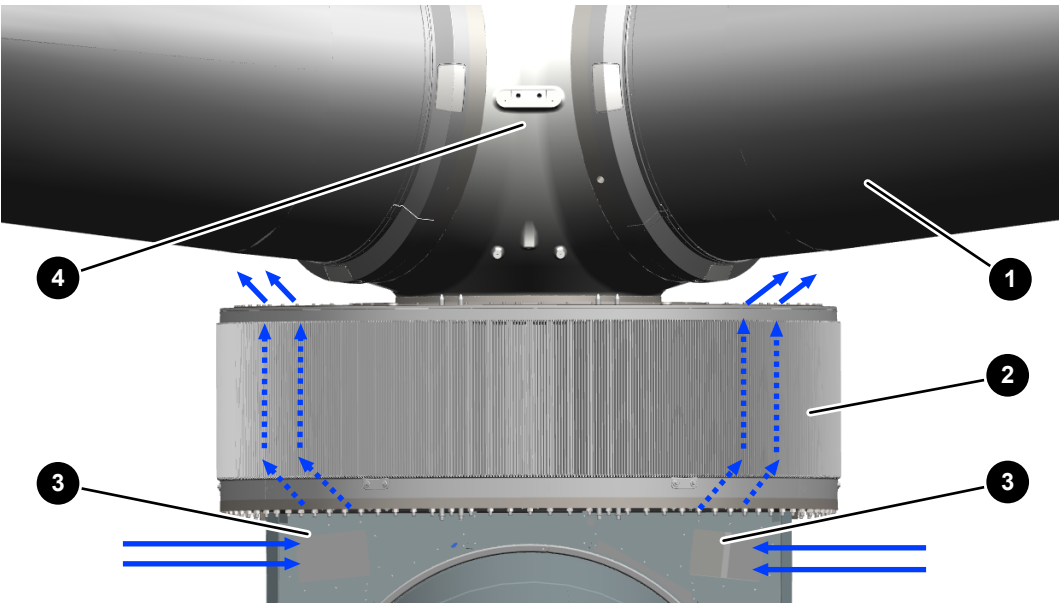


Abb. 4: Aktive Generatorkühlung

1 Rotorblatt	2 Generator
3 Lufteinlass	4 Generatorkopf
 Luftstrom	

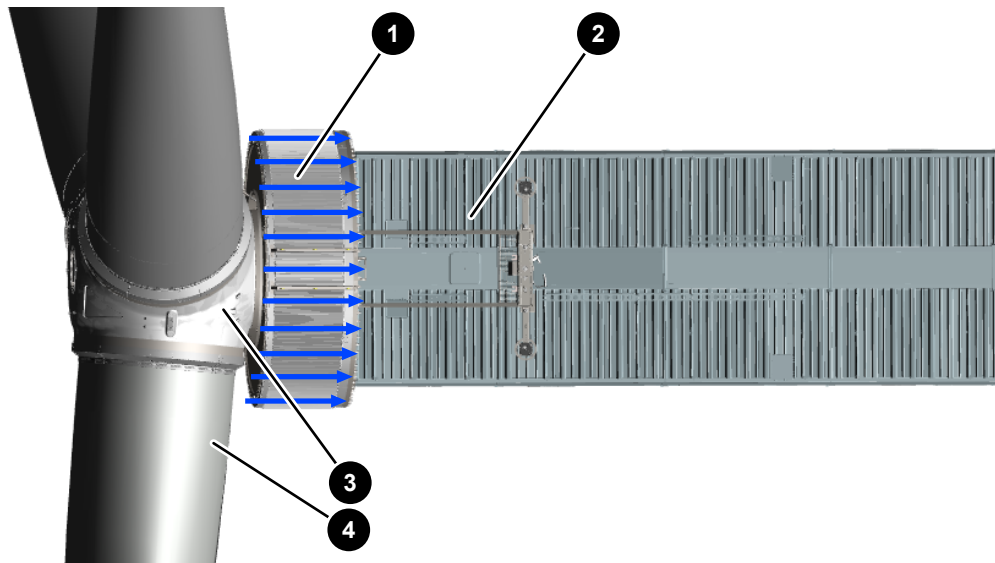


Abb. 5: Passive Luftkühlung

1	Generator	2	Maschinenhaus
3	Rotorkopf	4	Rotorblatt
	Luftstrom		

5.2 Maschinenhauskühlung

Das Maschinenhausinnere wird auch mit Luft gekühlt. Durch je 2 Lüfter an den Seiten im vorderen Teil des Maschinenhauses wird kühle Außenluft in das Innere des Maschinenhauses gesogen. Die Ansaugöffnungen sind jeweils mit einem Luftfilter sowie einem Tropfenabscheider ausgestattet. Die kühle Luft durchströmt das Maschinenhaus und wird anschließend durch eine mit einer Jalousieklappe ausgestatteten Öffnung im hinteren Teil des Maschinenhauses abgeführt.

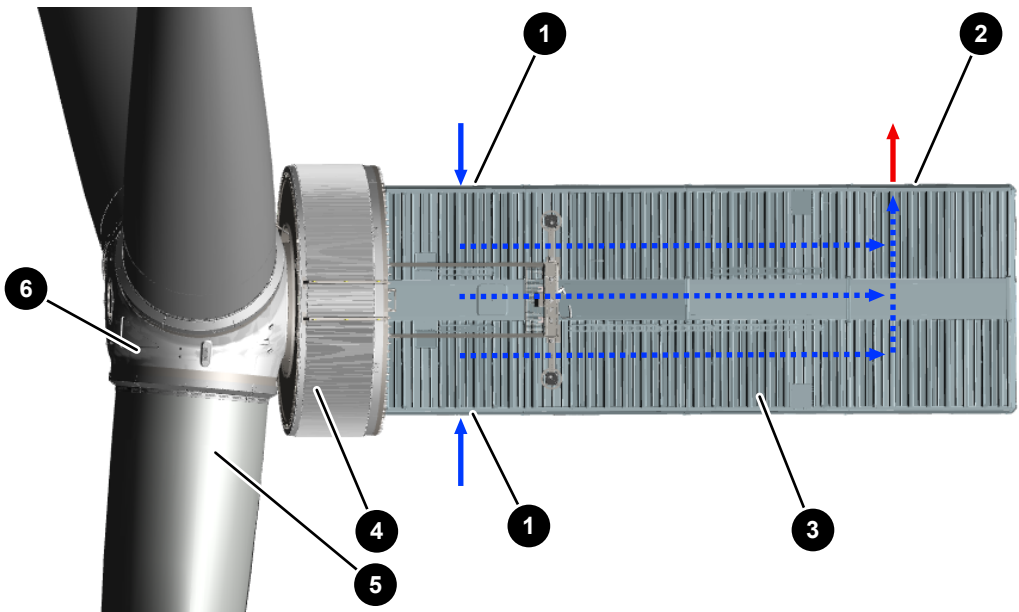


Abb. 6: Luftkühlung Maschinenhaus

1	Lufteinlass	2	Luftauslass
3	Maschinenhaus	4	Generator
5	Rotorblatt	6	Rotorkopf