

Prototypenbestätigung bzgl. der Anforderungen an die Kraftwerkseigenschaften

Nr.: FGH-P-2023-001
Unterzeichnetes Exemplar Nr. 1

Typ:	Windenergie- Erzeugungseinheiten	ENERCON E-175 EP5 FT/FTS ENERCON E-175 EP5 FTQ/FTQS
Technische Daten:	Bemessungswirkleistung: Bemessungsscheinleistungen: Bemessungsspannung: Nennfrequenz: Steuerungstyp: Maschinenkonzept: Erste Inbetriebnahme:	6.000 kW 6.550 kVA (FT/FTS) 7.100 kVA (FTQ/FTQS) 750 V 50 Hz PI-CS, Version FACTS 2.0 Vollumrichter, getriebelos Voraussichtlich 3. Quartal 2024
Hersteller:	ENERCON GmbH , Dreekamp 5, D-26605 Aurich	
Fertigungsstätte:	ENERCON GmbH , Dornumer Str. 20, D-26607 Aurich	
VDE-Anwendungsregeln:	VDE-AR-N 4110:2018-11 VDE-AR-N 4120:2018-11 VDE-AR-N 4130:2018-11	
Herstellereklärung:	Erklärung zur Prototypenbestätigung E-175 EP5 Dokument D02792388/0.0 vom 02. Dezember 2022	

Diese Prototypenbestätigung umfasst 23 Seiten. Die Laufzeit der Prototypenbestätigung wird auf Grundlage der Inbetriebnahme der ersten Erzeugungseinheit (EZE) des Typs ENERCON E-175 EP5 in Deutschland zu einem späteren Zeitpunkt mit einem Nachtrag durch die FGH Zertifizierungsstelle festgelegt.

Der Hersteller hat der Zertifizierungsstelle die Einführung des oben aufgeführten neuen Typs einer Erzeugungseinheit angezeigt, der bezüglich der elektrischen Eigenschaften Modifikationen und Weiterentwicklungen gegenüber den aktuell bekannten Windenergie-Erzeugungseinheiten des Herstellers aufweisen. Die Modifikationen umfassen insbesondere den weiterentwickelten Umrichter mit einer Bemessungsscheinleistung von 1.948 kVA sowie ein neues USV-Konzept. Alle relevanten elektrotechnischen Komponenten befinden sich bei diesem EZE-Typ in der Gondel.

Des Weiteren bestätigt der Hersteller mit dem Einsatz der Steuerung FACTS 2.0 in der EZE die umfängliche Erfüllung der einheitenbezogenen Anforderungen der VDE-AR-N 4110:2018-11 [3], VDE-AR-N 4120:2018-11 [2] sowie VDE-AR-N 4130:2018-11 [1] für den Anschluss und Betrieb von Kundenanlagen am deutschen Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz, welche durch eine entsprechende Einstellung von Betriebsparametern ermöglicht wird.

Nach Prüfung der technischen Spezifikationen auf Basis der oben aufgeführten Herstellereklärungen der Firma ENERCON GmbH kommt die Zertifizierungsstelle zu dem Ergebnis, dass der neue EZE-Typ technische Weiterentwicklungen und Neuerungen aufweisen, welche Auswirkungen auf die zu zertifizierenden Eigenschaften haben. Der neue EZE-Typ erfüllt somit die Voraussetzungen für einen Prototypen nach Kapitel 12 der o.g. VDE-Anwendungsregeln.

Aachen, 08. Februar 2023



FGH Zertifizierungsstelle



Dr.-Ing. Mark Meuser

Abschnitt A: Schematisches Übersichtsbild der EZE

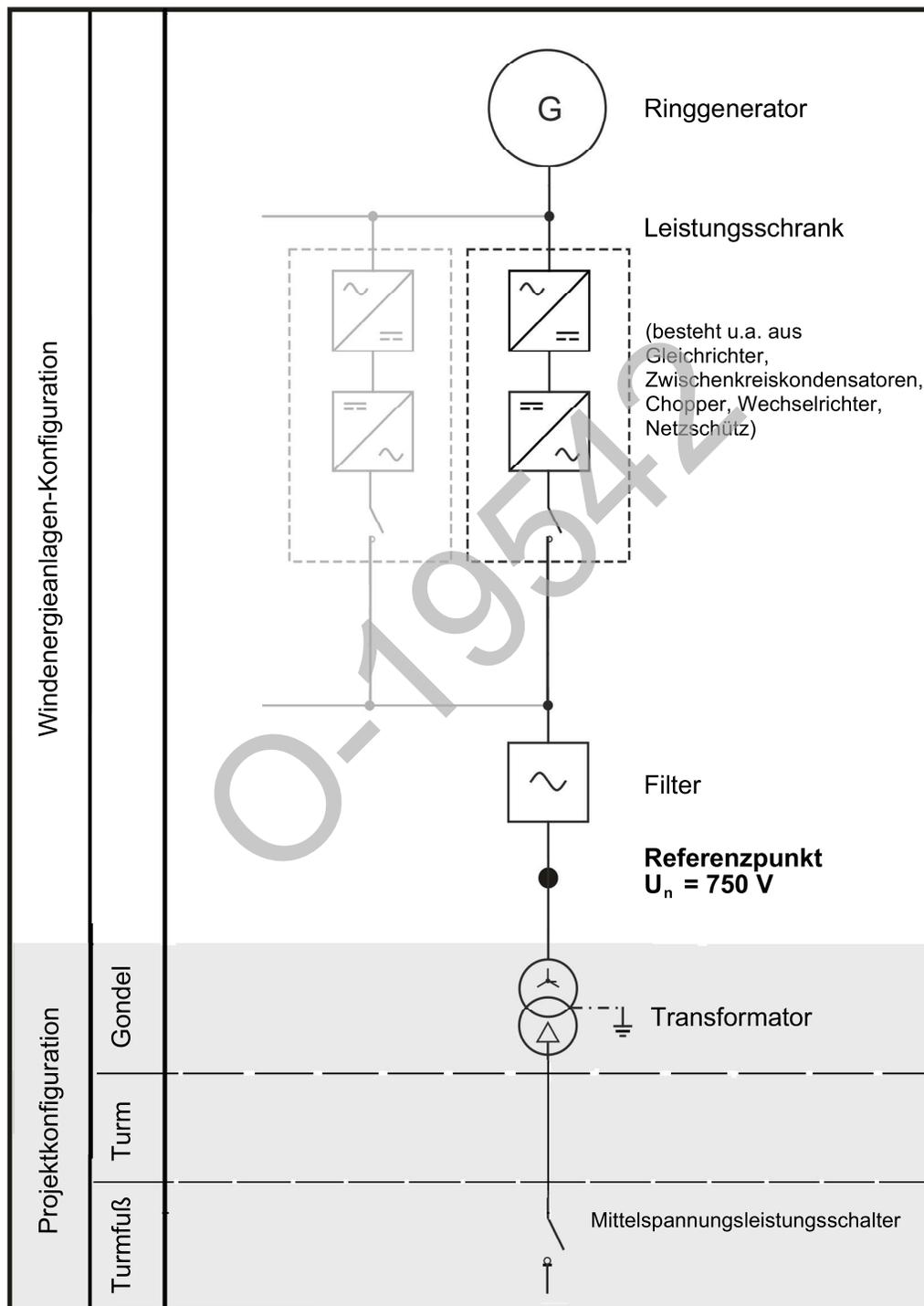


Abbildung 1: Schematisches Übersichtsbild der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS
 (Quelle: Herstellererklärung D02768313/0.1-de [8], D02768316/0.1-de [11], D02768315/0.1-de [9], D02768320/0.1-de [10])

Abschnitt B: Technische Daten der EZE

Elektrische Größe / Merkmal	Wert / Beschreibung	Einheit
Bemessungswirkleistung P_{rE} (Nennwirkleistung P_N)	6.000	kW
Bemessungsspannung U_r (Nennspannung U_N)	750	V
Nennfrequenz f_N	50	Hz
Nennstrom I_N (bei $\cos\varphi = 1$)	4.619	A
Bemessungsscheinleistung S_r ¹⁾		
FT / FTS	6.550	kVA
FTQ / FTQS	7.100	kVA
Max. übererregte Blindleistung $Q_{\max, \text{übererregt}}$ (bei P_{rE} und U_r)		
FT / FTS	+2.580	kvar
FTQ / FTQS	+3.780	kvar
Max. untererregte Blindleistung $Q_{\max, \text{untererregt}}$ (bei P_{rE} und U_r)		
FT / FTS	-2.580	kvar
FTQ / FTQS	-3.780	kvar
Bemessungsstrom (max. Dauerbetriebsstrom) I_r ²⁾		
FT / FTS	6.000	A
FTQ / FTQS	6.000	A
Max. Anfangskurzschlusswechselstrom $I_{k, \max}$ "		
FT / FTS	6.300	A
FTQ / FTQS	6.300	A
Max. Stoßkurzschlussstrom $i_{p, \max}$		
FT / FTS	8.910	A
FTQ / FTQS	8.910	A
Max. Ausschaltwechselstrom $I_{b, \max}$		
FT / FTS	6.300	A
FTQ / FTQS	6.300	A
Max. Dauerkurzschlussstrom $I_{k, \max}$		
FT / FTS	6.300	A
FTQ / FTQS	6.300	A
Nennwindgeschwindigkeit	12,5	m/s
Einschaltwindstärke	Noch nicht festgelegt	m/s
Grenz-Windstärke Sturmabschaltung	Noch nicht festgelegt	m/s
Steuerungstyp	PI-CS, Version FACTS 2.0	
Generator-Hersteller	ENERCON GmbH	
Generatorbezeichnung	Noch nicht festgelegt	
Rotor-Hersteller	ENERCON GmbH	
Rotorbezeichnung	Noch nicht festgelegt	
Rotordurchmesser	175	m
Umrichter-Hersteller	ENERCON GmbH	
Umrichterbezeichnung	Noch nicht festgelegt	
Bemessungsscheinleistung	1.948	kVA
Anzahl Umrichterschränke		
FT / FTS	4	
FTQ / FTQS	4	

Tabelle 1: Technische Daten der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS

1) Ermittelt aus P_{rE} und Q_{\max}

2) Ermittelt aus der Summe der Bemessungsströme der Umrichter mit einer Bemessungsscheinleistung von je 1.948 kVA

(Quelle: Herstellererklärung D02731630/2.0-de [12])

Abschnitt C: Betriebsbereiche der EZE in Normalbetrieb

C.1 Grenzen der Spannung und Frequenz

Tabelle 2 gibt die Grenzen der Spannung und Frequenz für den quasistationären Betrieb der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS (je $P_{rE} = 6.000 \text{ kW}$) an. Als Bezugsspannung am Referenzpunkt dient die Nennspannung $U_r = 750 \text{ V}$ der EZE (vgl. Abbildung 1).

Beschreibung	Parameter	Wert
Kurzzeitige Maximalspannung (max. 60 s)	$U_{\max, \text{temp}}$	120% U_r
Maximale Dauerbetriebsspannung	U_{\max}	115% U_r
Minimale Dauerbetriebsspannung	U_{\min}	85% U_r
Kurzzeitige Minimalspannung (max. 60 s)	$U_{\min, \text{temp}}$	80% U_r
Maximalfrequenz	f_{\max}	53 Hz
Nennfrequenz	f_N	50 Hz
Minimalfrequenz	f_{\min}	47 Hz
Maximaler Frequenzgradient bei Netzfrequenzschwankungen	–	10 Hz/s

Tabelle 2: Betriebsbereiche und Grenzen der einheitenbezogenen Spannungsschutzfunktionen der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS
 (Quelle: Herstellererklärung D02731630/2.0-de [12])

C.2 Wirkleistungsbereich

Die Sollwertvorgabe erfolgt in der Regel über einen übergeordneten Parkregler, EZA-Regler ENERCON FCU E2. Die Wirkleistung lässt sich alternativ in der EZE-Steuerung gemäß Tabelle 3 einstellen. Die Einstelldynamik bei Wirkleistungssteigerungen wird durch die einstellbaren Gradienten nach Tabelle 12 bestimmt.

	Einstellbereich	Schrittweite	Defaultwert
Wirkleistungseinstellung in der EZE	0 kW ... 6.000 kW	5 kW	6.000 kW

Tabelle 3: Wirkleistungsbereich in der EZE-Steuerung
 (Quelle: Herstellererklärung D02731630/2.0-de [12])

C.3 Blindleistungsstellbereich

Die Abbildungen 2 bis 5 zeigen jeweils den Blindleistungsstellbereich der EZE in Abhängigkeit von der Wirkleistung für die Konfigurationen FT, FTS, FTQ und FTQS. Der Export von Blindleistung (Abgabe von Blindleistung in das Netz) entspricht dem Verhalten einer übererregten Synchronmaschine. Der Import von Blindleistung (Aufnahme von Blindleistung aus dem Netz) entspricht dem Verhalten einer untererregten Synchronmaschine (nach IEC 60034-3:2007).

Die Sollwertvorgabe einer Blindleistung kann sowohl direkt in der EZE-Steuerung gemäß Tabelle 4 als auch über einen übergeordneten Parkregler erfolgen.

Parameter	Einstellbereich	Schrittweite
Blindleistung Q	siehe Abbildungen 2 bis 5	5 kvar
$\tan \varphi = Q/P$	-3 ... 3	0,005

Tabelle 4: Einstellbereich der Blindleistung der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS
 (Quelle: Herstellererklärung D02768313/0.1-de [8], D02768316/0.1-de [11], D02768315/0.1-de [9], D02768320/0.1-de [10])

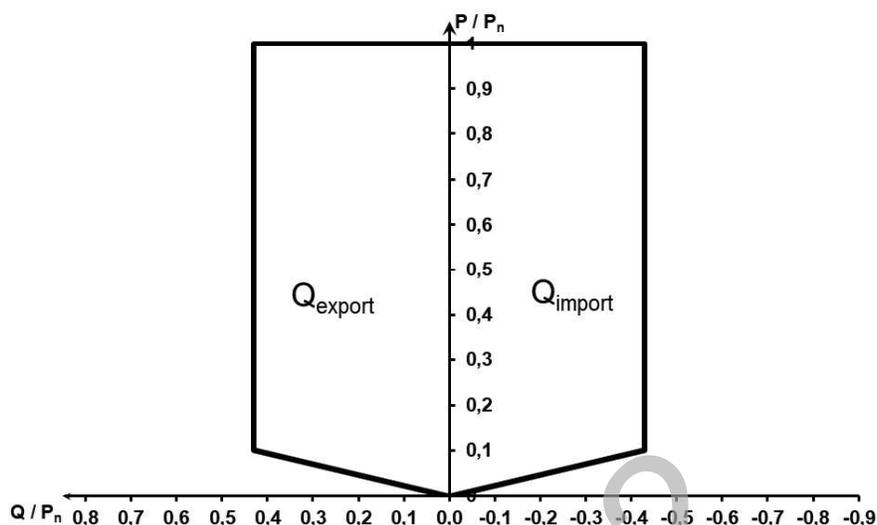


Abbildung 2: Blindleistungsstellbereich EZE ENERCON E-175 EP5 FT
Rot: 90% U_r , schwarz: $\geq 100\%$ U_r (überlappend)
Maximale übererregte Blindleistung $Q_{\text{export, max}} = 0,43 P_{rE}$ (2.580 kvar)
Maximale untererregte Blindleistung $Q_{\text{import, max}} = -0,43 P_{rE}$ (-2.580 kvar)
(Quelle: Herstellererklärung D02768313/0.1-de [8])

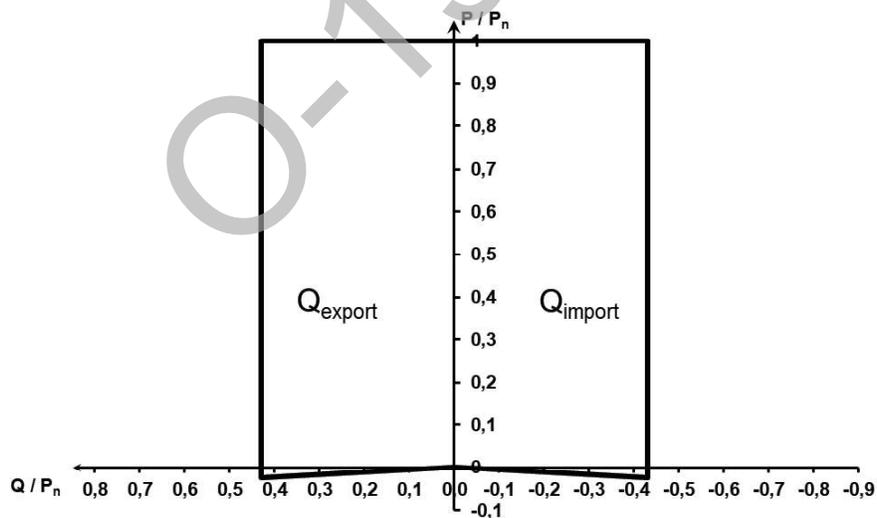


Abbildung 3: Blindleistungsstellbereich EZE ENERCON E-175 EP5 FTS
Rot: 90% U_r , schwarz: $\geq 100\%$ U_r (überlappend)
Maximale übererregte Blindleistung $Q_{\text{export, max}} = 0,43 P_{rE}$ (2.580 kvar)
Maximale untererregte Blindleistung $Q_{\text{import, max}} = -0,43 P_{rE}$ (-2.580 kvar)
(Quelle: Herstellererklärung D02768316/0.1-de [11])

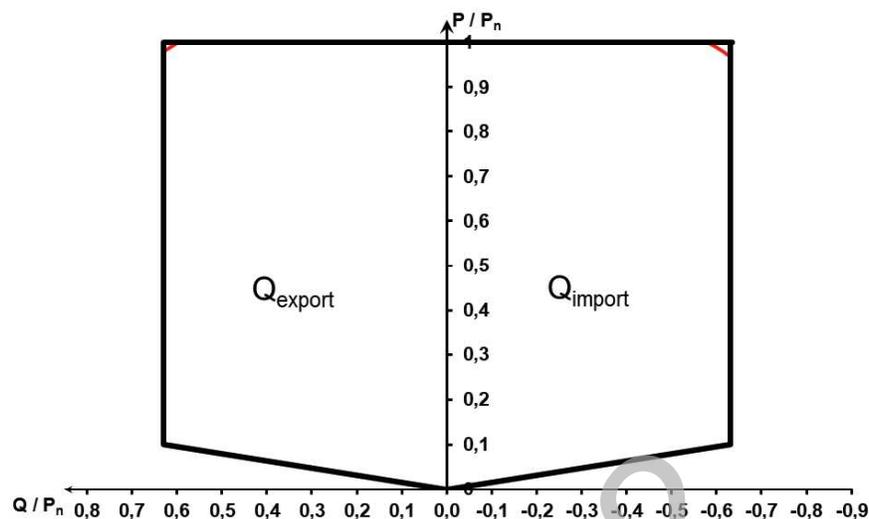


Abbildung 4: Blindleistungsstellbereich EZE ENERCON E-175 EP5 FTQ
 Rot: 90% U_r , schwarz: $\geq 100\%$ U_r
 Maximale übererregte Blindleistung $Q_{\text{export, max}} = 0,63 P_{rE}$ (3.780 kvar)
 Maximale untererregte Blindleistung $Q_{\text{import, max}} = -0,63 P_{rE}$ (-3.780 kvar)
 (Quelle: Herstellererklärung D02768315/0.1-de [9])

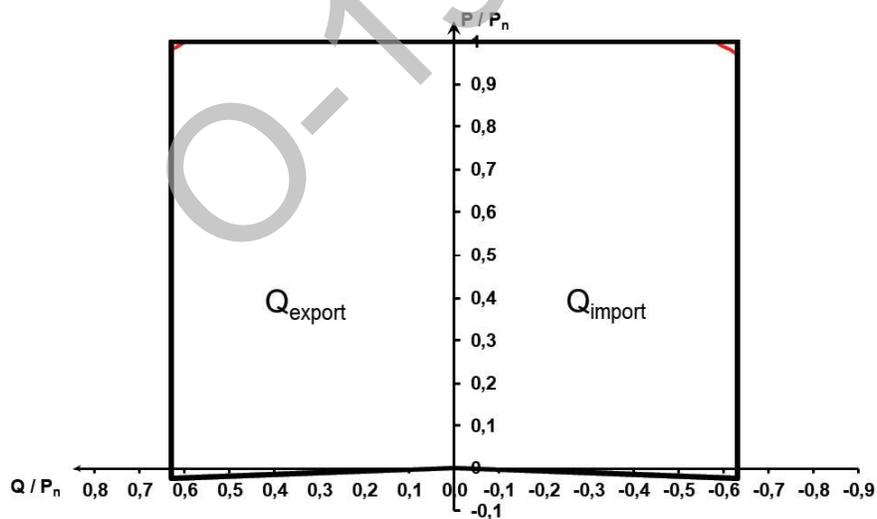


Abbildung 5: Blindleistungsstellbereich EZE ENERCON E-175 EP5 FTQS
 Rot: 90% U_r , schwarz: $\geq 100\%$ U_r
 Maximale übererregte Blindleistung $Q_{\text{export, max}} = 0,63 P_{rE}$ (3.780 kvar)
 Maximale untererregte Blindleistung $Q_{\text{import, max}} = -0,63 P_{rE}$ (-3.780 kvar)
 (Quelle: Herstellererklärung D02768320/0.1-de [10])

Die Tabellen 5 und 6 fassen die Eckpunkte des Blindleistungsstellbereiches für die EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS (je 6.000 kW) und EZE ENERCON E-175 EP5 FTQ/FTQS (je 6.000 kW) bei Überspannungen bis zu 120% U_r zusammen.

P/P _{rE}	100% bis 110% U_r		116% U_r		120% U_r	
	Q _{export} /P _{rE}	Q _{import} /P _{rE}	Q _{export} /P _{rE}	Q _{import} /P _{rE}	Q _{export} /P _{rE}	Q _{import} /P _{rE}
ENERCON E-175 EP5 FT (Q = ± 2.580 kvar)						
0,0	0	0	0	0	–	0
0,1	0,430	-0,430	0	-0,430	–	-0,316 ... -0,430
1,0	0,430	-0,430	0	-0,430	–	-0,316 ... -0,430
ENERCON E-175 EP5 FTS (Q = ± 2.580 kvar)						
0,0	0,430	-0,430	0	-0,430	–	-0,316 ... -0,430
1,0	0,430	-0,430	0	-0,430	–	-0,316 ... -0,430

Tabelle 5: Eckpunkte der Wirk- und Blindleistung bei Nennspannung sowie Überspannungen der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS (6.000 kW)
 (Quelle: Herstellererklärung (D02768313/0.1-de [8] und D02768316/0.1-de [11]))

P/P _{rE}	100% bis 106% U_r		115% U_r		120% U_r	
	Q _{export} /P _{rE}	Q _{import} /P _{rE}	Q _{export} /P _{rE}	Q _{import} /P _{rE}	Q _{export} /P _{rE}	Q _{import} /P _{rE}
ENERCON E-175 EP5 FTQ (Q = ± 3.780 kvar)						
0,0	0	0	0	0	–	0
0,1	0,630	-0,630	0	-0,630	–	-0,316 ... -0,630
1,0	0,630	-0,630	0	-0,630	–	-0,316 ... -0,630
ENERCON E-175 EP5 FTQS (Q = ± 3.780 kvar)						
0,0	0,630	-0,630	0	-0,630	–	-0,316 ... -0,630
1,0	0,630	-0,630	0	-0,630	–	-0,316 ... -0,630

Tabelle 6: Eckpunkte der Wirk- und Blindleistung bei Nennspannung sowie Überspannungen der EZE ENERCON E-175 EP5 FTQ/FTQS (6.000 kW)
 (Quelle: Herstellererklärung (D02768316/0.1-de [11] und D02768320/0.1-de [10]))

Die Tabellen 7 und 8 geben den detaillierten Blindleistungsstellbereich bei Unterspannungen bis zu 80% U_r im gesamten Wirkleistungsbereich. Zwischen den einzelnen Arbeitspunkten kann linear interpoliert werden.

Windenergie-Erzeugungseinheit
Prototypenbestätigung FGH-P-2023-001



Unterzeichnetes Exemplar Nr. 1, Seite 8 von 23

P/P _{rE}	95% U _r		90% U _r		85% U _r		80% U _r	
	Q/P _{rE} (Q _{export})	Q/P _{rE} (Q _{import})	Q/P _{rE} (Q _{export})	Q/P _{rE} (Q _{import})	Q/P _{rE} (Q _{export})	Q/P _{rE} (Q _{import})	Q/P _{rE} (Q _{export})	Q/P _{rE} (Q _{import})
0,00 (FT)	0,000	-0,000	0,000	-0,000	0,000	-0,000	0,000	-0,000
0,00 (FTS)	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,10	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,50	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,52	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,54	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,56	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,58	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,60	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,62	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,64	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,66	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,68	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,70	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,72	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,74	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,76	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,78	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,80	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,81	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,82	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,83	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,84	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,85	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,86	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,87	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,88	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,89	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,90	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,91	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,92	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,93	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430
0,94	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,410
0,95	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,400	-0,390
0,96	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,380	-0,360
0,97	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,350	-0,330
0,98	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,320	-0,300
0,99	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,290	-0,270
1,00	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,430	-0,430	0,250	-0,230

Tabelle 7: Wirkleistungsabhängiges Blindleistungsvermögen bei Unterspannungen der EZE ENERCON E-175 EP5 FT und ENERCON E-175 EP5 FTS (je 6.000 kW)
 (Quelle: Herstellererklärung D02768313/0.1-de [8], D02768316/0.1-de [11])

Windenergie-Erzeugungseinheit
Prototypenbestätigung FGH-P-2023-001

Unterzeichnetes Exemplar Nr. 1, Seite 9 von 23



P/P _{rE}	95% U _r		90% U _r		85% U _r		80% U _r	
	Q/P _{rE} (Q _{export})	Q/P _{rE} (Q _{import})	Q/P _{rE} (Q _{export})	Q/P _{rE} (Q _{import})	Q/P _{rE} (Q _{export})	Q/P _{rE} (Q _{import})	Q/P _{rE} (Q _{export})	Q/P _{rE} (Q _{import})
0,00 (FTQ)	0,000	-0,000	0,000	-0,000	0,000	-0,000	0,000	-0,000
0,00 (FTQS)	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,10	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,50	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,52	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,54	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,56	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,58	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,60	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,62	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,64	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,66	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,68	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,70	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,72	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,74	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,76	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,78	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,80	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,81	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630
0,82	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,610
0,83	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,620	-0,600
0,84	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,600	-0,590
0,85	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,590	-0,570
0,86	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,570	-0,560
0,87	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,560	-0,540
0,88	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,540	-0,530
0,89	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,520	-0,510
0,90	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,630	-0,610	0,510	-0,490
0,91	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,620	-0,600	0,490	-0,470
0,92	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,600	-0,580	0,470	-0,450
0,93	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,580	-0,570	0,450	-0,430
0,94	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,570	-0,550	0,430	-0,410
0,95	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,550	-0,530	0,400	-0,390
0,96	0,630	-0,630	0,630	-0,630	0,530	-0,510	0,380	-0,360
0,97	0,630	-0,630	0,630	-0,620	0,510	-0,500	0,350	-0,330
0,98	0,630	-0,630	0,630	-0,610	0,490	-0,480	0,320	-0,300
0,99	0,630	-0,630	0,610	-0,590	0,470	-0,450	0,290	-0,270
1,00	0,630	-0,630	0,590	-0,580	0,450	-0,430	0,250	-0,230

Tabelle 8: Wirkleistungsabhängiges Blindleistungsvermögen bei Unterspannungen der EZE ENERCON E-175 EP5 FTQ und ENERCON E-175 EP5 FTQS (je 6.000 kW)

(Quelle: Herstellererklärung D02768316/0.1-de [11], D02768320/0.1-de [10])

Zur Erfüllung unterschiedlicher Netzanschlussbedingungen bietet die FACTS 2.0-Steuerung verschiedene Betriebsstrategien mit oder ohne Stromeinspeisung im Fehlerbetrieb an. Die Parametrierung erfolgt projektspezifisch vor Inbetriebnahme der EZE. Die Betriebsstrategien bestehen aus mehreren Modi, die bei unterschiedlichen Netzzuständen aktiviert werden. Die einzelnen Betriebsmodi werden durch ein Über- oder Unterschreiten geeigneter Grenzwerte aktiviert, die auf den Anforderungen am jeweiligen Netzanschlusspunkt basieren und parametrierbar sind.

Die entsprechenden Einstellparameter am Beispiel einer sogenannten „QU3-Betriebsstrategie“ der EZE sind der Tabelle 9 zu entnehmen. Ist ein fortlaufender Betrieb während und nach Netzfehlern nicht erwünscht, kann dies durch FRT-Parameter und/oder durch die Schutzparameter (vgl. Abschnitt E) eingestellt werden. Die in der Tabelle angegebenen Spannungen beziehen sich auf die Phasenspannungen (Leiter-Erde) der EZE-Nennspannung.

Parameter	Symbol	Einstellbereich	Schrittweite	Defaultwert
k-Faktor (Mitsystem)				
FRT	k	0 ... 10	0,1	2
sprunghafte Spannungsänderung	k	0 ... 10	0,1	2
k-Faktor (Gegensystem)				
FRT	k	0 ... 10	0,1	2
sprunghafte Spannungsänderung	k	0 ... 10	0,1	2
max. Zeit im ZPM	t_{dZPM}	0,1 ... 5 s	0,1 s	5 s
UVRT Spannung Fehlereintritt	U_{UVRT}	80 ... 95% $U_r/\sqrt{3}$	0,5% $U_r/\sqrt{3}$	80% $U_r/\sqrt{3}$
UVRT Spannung Fehlerklärung	U_{UVRT_OFF}	80 ... 95% $U_r/\sqrt{3}$	0,5% $U_r/\sqrt{3}$	80% $U_r/\sqrt{3}$
UVRT Spannung Start Timer	U_{tUVRT}	80 ... 95% $U_r/\sqrt{3}$	0,5% $U_r/\sqrt{3}$	80% $U_r/\sqrt{3}$
UVRT Spannung Aktivierung ZPM	U_{UVRT_ZPM}	0 ... 80% $U_r/\sqrt{3}$	0,5% $U_r/\sqrt{3}$	80% $U_r/\sqrt{3}$
max. Zeit im UVRT-Betrieb	t_{dUVRT}	0,1 ... 5 s	0,1 s	5 s
OVRT Spannung Fehlereintritt	U_{OVRT}	100 ... 125% $U_r/\sqrt{3}$	0,5% $U_r/\sqrt{3}$	120% $U_r/\sqrt{3}$
OVRT Spannung Fehlerklärung	U_{OVRT_OFF}	100 ... 125% $U_r/\sqrt{3}$	0,5% $U_r/\sqrt{3}$	120% $U_r/\sqrt{3}$
OVRT Spannung Start Timer	U_{tOVRT}	100 ... 125% $U_r/\sqrt{3}$	0,5% $U_r/\sqrt{3}$	120% $U_r/\sqrt{3}$
OVRT Spannung Aktivierung ZPM	U_{OVRT_ZPM}	110 ... 150% $U_r/\sqrt{3}$	0,5% $U_r/\sqrt{3}$	120% $U_r/\sqrt{3}$
max. Zeit im OVRT-Betrieb	t_{dOVRT}	0,1 ... 60 s	0,1 s	5 s
Wirkleistungsgradient (nach ZPM)	dP_{ZPM}/dt	0,05 ... 99 MW/s	0,05 MW/s	n.a.
Blindleistungsgradient (nach ZPM)	dQ_{ZPM}/dt	0,05 ... 99 Mvar/s	0,05 Mvar/s	n.a.

Tabelle 9: Einstellbereiche der Parameter in der QU3-Betriebsstrategie
 (Quelle: Herstellererklärung D0368521-4a [4])

D.2 Dynamische Netzstützung mit Hilfe einer Blindstromeinspeisung

Die FACTS-Steuerung ist in der Lage, in Abhängigkeit von den Netzanschlussbedingungen und der Betriebssituation des Energiesystems, den Ausgangsstrom der EZE während des Fehlers zu beeinflussen. Während des Netzfehlers ist je nach ausgewählter Betriebsstrategie eine Einspeisung von Wirk- und Blindstrom möglich. Die EZE kann sich jedoch abschalten, wenn ein Netzfehler erkannt wird und die Wirkleistung der EZE in diesem Moment kleiner als 2,5% P_{rE} ist.

In Abbildung 7 ist exemplarisch die vollständige dynamische Netzstützung anhand der Blindstromcharakteristik gemäß QU3-Betriebsstrategie dargestellt. Die zugehörigen Einstellwerte sind in Tabelle 9 beschrieben.

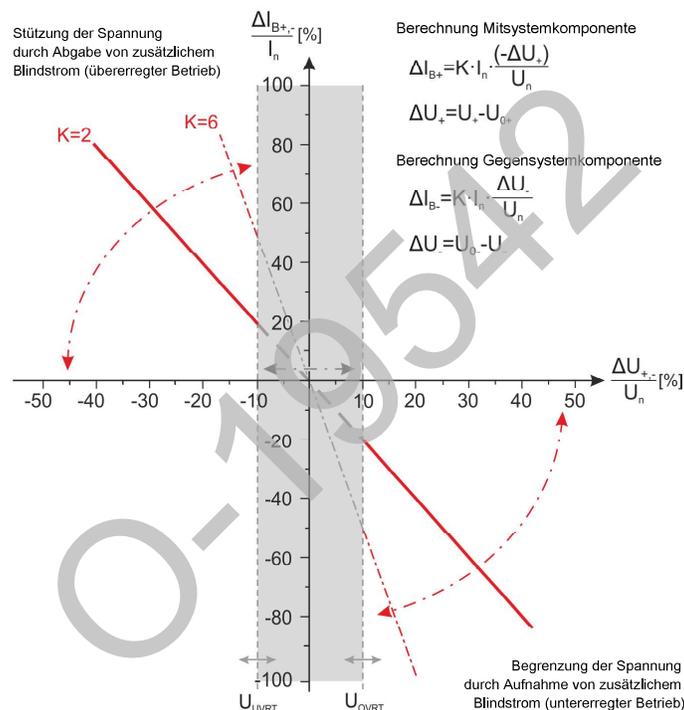


Abbildung 7: Blindstromcharakteristik gemäß QU3-Betriebsstrategie - Stützung/Begrenzung der Netzspannung bei $U_{UVRT} = 90\% U_r$ und $U_{OVRT} = 110\% U_r$
 (Quelle: Herstellererklärung D0368521-4a [4])

Die QU3-Betriebsstrategie ist mit der Option eines unterlagerten Zero Power Mode (ZPM) ausgestattet. Unterschreitet die Mitsystemspannung den eingestellten Spannungsschwellwert U_{UVRT_ZPM} , wechselt die FACTS-Steuerung in den ZPM. Bei geeigneter Parametrierung des Triggers $U_{UVRT_ZPM} = 70\% U_r / \sqrt{3}$ erfüllt diese Funktion die erweiterte Vorgabe an die eingeschränkte dynamische Netzstützung nach VDE-AR-N 4110:2018-11 [3]. Die Einstellmöglichkeit der Parameter für den unterlagerten Zero Power Mode kann der Tabelle 9 entnommen werden.

Abschnitt E: Schutzfunktionen der EZE

E.1 Entkupplungsschutz

Tabelle 10 gibt die Einstellmöglichkeiten der Spannungsschutz- und Frequenzschutzfunktionen der EZE bei $U_r = 750 \text{ V}$ und $f_N = 50 \text{ Hz}$ an. Im Folgenden entsprechen die Spannungen $U_r/\sqrt{3}$ und $\sqrt{2} U_r$ jeweils den Umrechnungen von Leiter-Leiter-Spannungen auf Leiter-Sternpunkt-Spannungen bzw. von Effektivwerten in Peak-Werte.

	Einheit/Bezugsg.	Einstellbereich	Schrittweite
Spannungsrückgangsschutz (U<)			
Auslösewert	% $U_r/\sqrt{3}$	5 ... 100	0,5
Verzögerungszeit	s	0,05 ... 60	0,01
Spannungsrückgangsschutz (U<<)			
Auslösewert	% $U_r/\sqrt{3}$	5 ... 100	0,5
Verzögerungszeit	s	0,05 ... 60	0,01
Spannungssteigerungsschutz (U>)			
Auslösewert	% $U_r/\sqrt{3}$	100 ... 130	0,5
Verzögerungszeit	s	0,05 ... 60	0,01
Spannungssteigerungsschutz (U>>)			
Auslösewert	% $U_r/\sqrt{3}$	100 ... 130	0,5
Verzögerungszeit	s	0,05 ... 60	0,01
Frequenzrückgangsschutz (f<)			
Auslösewert	Hz	47 ... 50	0,01
Verzögerungszeit	s	0,1 ... 60	0,01
Frequenzrückgangsschutz (f<<)			
Auslösewert	Hz	47 ... 50	0,01
Verzögerungszeit	s	0,1 ... 60	0,01
Frequenzsteigerungsschutz (f>)			
Auslösewert	Hz	50 ... 53	0,01
Verzögerungszeit	s	0,1 ... 60	0,01
Frequenzsteigerungsschutz (f>>)			
Auslösewert	Hz	50 ... 53	0,01
Verzögerungszeit	s	0,1 ... 60	0,01

Tabelle 10: Einstellbereiche und Schrittweiten der einheitenbezogenen Spannungs- und Frequenzschutzfunktionen der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS
 (Quelle: Herstellererklärung D02731630/2.0-de [12])

E.2 Eigenschutz

Die EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS werden bei Netzereignissen durch ihre Eigenschutzfunktionen vor Schäden geschützt. Dazu gehören der Hardwareschutz vor zu hohen Spannungen, der Spannungsschutz und der Frequenzschutz. Tabelle 10 fasst die Einstellbereiche der Eigenschutzfunktionen der EZE bei $U_r = 750 \text{ V}$ und $f_N = 50 \text{ Hz}$ zusammen. Abbildung 8 veranschaulicht die Spannungsgrenzen des Eigenschutzes.

Parameter	Einheit	Einstellbereich	Schrittweite	Defaultwert
Frequenzrückgangsschutz (Eigenschutz)				
Einstellwert	Hz	46,5 (fest)	–	–
Verzögerungszeit	s	60 (fest)	–	–
Frequenzsteigerungsschutz (Eigenschutz)				
Einstellwert	Hz	63,5 (fest)	–	–
Verzögerungszeit	s	60 (fest)	–	–
Spannungssteigerungsschutz (Eigenschutz)				
Einstellwert Stufe 1	$\% U_r / \sqrt{3}$	122 (fest)	–	–
Verzögerungszeit Stufe 1	s	5 (fest)	–	–
Spannungsrückgangsschutz (Eigenschutz)				
Einstellwerte Stufe 1 und 2	$\% U_r / \sqrt{3}$	83 (fest) / 78 (fest)	–	–
Verzögerungszeit Stufe 1 und 2	s	60 (fest) / 5 (fest)	–	–
Hardwareschutz¹⁾ (Eigenschutz)				
Einstellwert	$\% \sqrt{2} \times U_r / \sqrt{3}$	145 (fest)	–	–
Verzögerungszeit	s	0,001 (fest)	–	–
Maximale OVRT-Zeit	s	0,05 ... 5	0,01	5

Tabelle 11: Eigenschutzfunktionen der EZE mit der Steuerung PI-CS, Version FACTS 2.0

1) Diese Schutzfunktion führt nach Ablauf der max. OVRT-Zeit zur Abschaltung bzw. wenn der Momentanwert der Spannung in mindestens einer Phase über den Einstellwert ansteigt, kann die EZE im Zero-Power-Mode mit dem Netz verbunden bleiben oder von Netz getrennt werden.

(Quelle: Herstellererklärung D02731630/2.0-de [12])

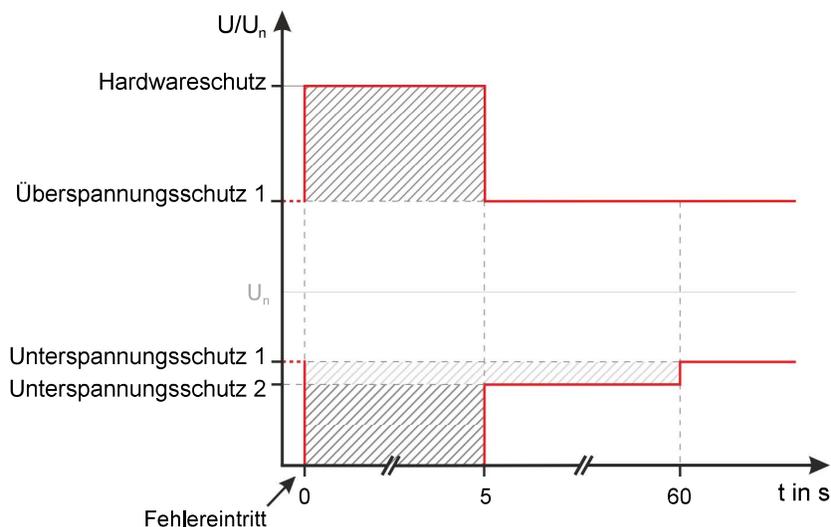


Abbildung 8: Spannungsgrenzen des Eigenschutzes der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS
 (Quelle: Herstellererklärung D02731630/2.0-de [12])

Abschnitt F: Wirk- und Blindleistungsregelung der EZE

F.1 Wirkleistungsgradienten

Die EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS können in bestimmten Betriebszuständen ihre Wirkleistung mit einstellbaren Gradienten gemäß Tabelle 12 steigern oder senken.

Parameter	Einstellbereich	Schrittweite	Defaultwert
Positive Wirkleistungsgradienten			
Wirkleistungsgradient (bei Normalstart)	1 kW/s ... 600 kW/s	1 kW/s	120 kW/s
Wirkleistungsgradient (nach Netzausfall)	1 kW/s ... 600 kW/s	1 kW/s	120 kW/s
Wirkleistungsgradient (im Betrieb)	2 kW/s ... 1.500 kW/s	1 kW/s	350 kW/s
Wirkleistungsgradient (nach Überfrequenz)	2 kW/s ... 1.500 kW/s	1 kW/s	1.500 kW/s
Negative Wirkleistungsgradienten			
Wirkleistungsgradient (Stoppshalter)	2 kW/s ... 1.500 kW/s	1 kW/s	1.500 kW/s
Wirkleistungsgradient (externer Stopp)	2 kW/s ... 1.500 kW/s	1 kW/s	1.500 kW/s

Tabelle 12: Wirkleistungsgradienten der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS
 (Quelle: Herstellererklärung D02768313/0.1-de [8], D02768316/0.1-de [11], D02768315/0.1-de [9], D02768320/0.1-de [10])

F.2 Wirkleistungsanpassung in Abhängigkeit der Netzfrequenz

Die Realisierung der Wirkleistungsanpassung in Abhängigkeit der Netzfrequenz, inklusive der Fähigkeit zur Bereitstellung von Primärregelleistung, erfolgt über den EZA-Regler ENERCON FCU E2, der in jeder EZA mit EZE des Typs ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS vorzusehen ist. Mit dem Komponentenzertifikat FGH-K-2019-001-2 [14] wird bestätigt, dass bei entsprechender Software-Einstellung die in VDE-AR-N 4110/20/30:2018-11 [3], [2], [1] enthaltenen Anforderungen an die Wirkleistungsanpassung in Abhängigkeit der Netzfrequenz erfüllt werden.

Der Hersteller bestätigt für die EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS Fähigkeiten zur dynamischen Wirkleistungsanpassung bei Frequenzänderungen mindestens in einem Umfang, der das Erreichen von An- und Einschwingzeiten entsprechend VDE-AR-N 4110/20/30:2018-11 [3], [2], [1], Tabelle 9, bzw. entsprechend den eingeschränkten Anforderungen aufgrund technischer Restriktionen bei Windenergieanlagen ermöglicht.

F.3 Blindleistungsregelung

Die Sollwertvorgabe für die von der EZE bereitzustellende Blindleistung sowie die Realisierung der nach VDE-AR-N 4110/20/30:2018-11 [3], [2], [1] geforderten Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung erfolgt über den EZA-Regler ENERCON FCU E2, der nach Herstellerangaben in jeder EZA mit EZE des Typs ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS vorzusehen ist.

Das Regelverhalten und die Genauigkeit der Blindleistungsregelung am NAP wird grundsätzlich durch den EZA-Regler ENERCON FCU E2 bestimmt. Mit dem Komponentenzertifikat FGH-K-2019-001-2 [14] wird bestätigt, dass bei entsprechender Software-Einstellung die in VDE-AR-N 4110/20/30:2018-11 [3], [2], [1] enthaltenen Anforderungen an die Blindleistungsregelung erfüllt werden.

Nachdem die EZE einen neuen Blindleistungssollwert erhalten hat, erfolgt die Änderung der Blindleistung in Normalbetrieb linear gemäß Abbildung 9.

Der neue Blindleistungssollwert wird innerhalb der Zykluszeit der Sollwertvorgabe angefahren. Die Zykluszeit ist die Zeit, die zwischen dem Empfang des aktuellen und des vorherigen Sollwerts vergangen ist. Sie ist nicht einstellbar und hängt von mehreren Faktoren ab, wie z. B. Verzögerungszeiten bei der Kommunikation von einem Windparkregler zur EZE. Die benötigte Zeit zum Erreichen des neuen Sollwerts ist somit abhängig von dem Zeitpunkt des vorher empfangenen Sollwerts. Sie beträgt maximal 100 ms und minimal 10 ms. Liegt die vorherige Sollwertvorgabe mehr als 100 ms zurück, wird die Zykluszeit auf den Wert 100 ms gesetzt. Dadurch erreicht der Blindleistungswert den aktuellen Sollwert nach spätestens 100 ms (vgl. Tabelle 13).

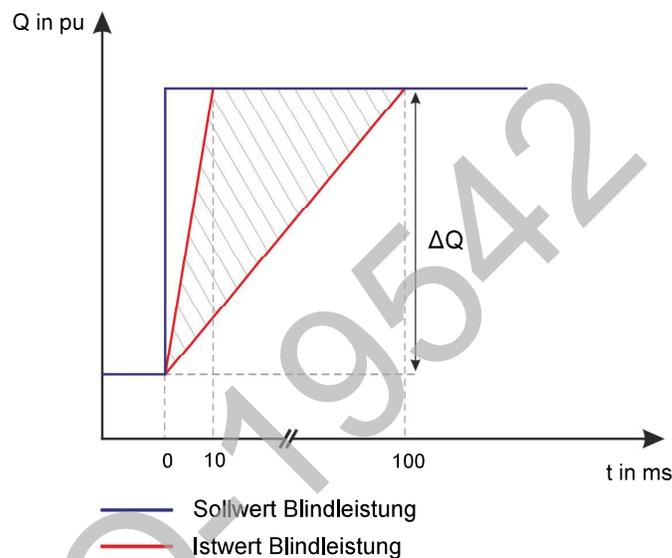


Abbildung 9: Blindleistungsgradient der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS
(Quelle: Herstellererklärung D02731630/2.0-de [12])

Dauer bis zum Erreichen des neuen Q-Sollwerts	Zykluszeit in Normalbetrieb
Maximalwert	100 ms
Minimalwert¹⁾	10 ms

Tabelle 13: Einstellbarkeit des Blindleistungsgradienten der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS

¹⁾Umsetzbarkeit entsprechend der Zykluszeit der Sollwertänderung

(Quelle: Herstellererklärung D02731630/2.0-de [12])

Abschnitt G: Netzurückwirkungen

G.1 Spannungsänderungen infolge der Schalthandlungen (Abschätzung)

Die Tabellen 14 bis 16 geben die durch den Hersteller abgeschätzten Spannungsänderungsfaktoren und Flickerformfaktoren für die EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS an.

Max. Anzahl der Schalthandlungen, N_{10}	1			
Max. Anzahl der Schalthandlungen, N_{120}	12			
Schaltvorgang	Einschalten der EZE bei $P < 10\% P_{rE}$			
Netzimpedanzwinkel, Ψ_k	30°	50°	70°	85°
Flickerformfaktor, $k_f(\Psi_k)$	0,05	0,05	0,05	0,05
Spannungsänderungsfaktor, $k_u(\Psi_k)$	0,10	0,10	0,10	0,10

Tabelle 14: Werte der Spannungsänderungsfaktoren $k_u(\Psi)$ und der Flickerformfaktoren $k_f(\Psi)$ mit dem Phasenwinkel der Netzimpedanz für das Einschalten bei Einschaltwind
 (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

Max. Anzahl der Schalthandlungen, N_{10}	2			
Max. Anzahl der Schalthandlungen, N_{120}	24			
Schaltvorgang	Einschalten der EZE bei $P = P_{rE}$			
Netzimpedanzwinkel, Ψ_k	30°	50°	70°	85°
Flickerformfaktor, $k_f(\Psi_k)$	0,10	0,10	0,10	0,05
Spannungsänderungsfaktor, $k_u(\Psi_k)$	1,00	0,70	0,40	0,20

Tabelle 15: Werte der Spannungsänderungsfaktoren $k_u(\Psi)$ und der Flickerformfaktoren $k_f(\Psi)$ mit dem Phasenwinkel der Netzimpedanz für das Einschalten bei Nennwind
 (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

Max. Anzahl der Schalthandlungen, N_{10}	2			
Max. Anzahl der Schalthandlungen, N_{120}	24			
Schaltvorgang	Serviceabschaltung bei $P = P_{rE}$			
Netzimpedanzwinkel, Ψ_k	30°	50°	70°	85°
Flickerformfaktor, $k_f(\Psi_k)$	0,15	0,15	0,15	0,15
Spannungsänderungsfaktor, $k_u(\Psi_k)$	1,00	0,70	0,40	0,20

Tabelle 16: Werte der Spannungsänderungsfaktoren $k_u(\Psi)$ und der Flickerformfaktoren $k_f(\Psi)$ mit dem Phasenwinkel der Netzimpedanz für das Ausschalten bei Nennwind
 (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

G.2 Langzeitflicker (Abschätzung)

Die von dem Netzimpedanzwinkel Ψ_k abhängigen und nach 10% Leistungsbins klassifizierten Flickerkoeffizienten der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS (6.000 kW) sind der Tabelle 17 zu entnehmen. Die Werte basieren auf einer Abschätzung des Herstellers für die EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS.

P_{bin} [%]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Psi_k = 30^\circ$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$\Psi_k = 50^\circ$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$\Psi_k = 70^\circ$	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$\Psi_k = 85^\circ$	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Tabelle 17: Flickerkoeffizienten $c(\Psi_k, P_{bin})$ der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS zur Berechnung des Langzeitflickers P_{fl} (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

G.3 Oberschwingungen (Abschätzung)

Die Maxima der auf Nennstrom bezogenen harmonischen Oberschwingungsströme je Ordnung, der Zwischenharmonischen sowie der hochfrequenten Stromanteile der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS (6.000 kW) abgeschätzt basierend auf den gemäß FGW-TR3, Rev. 25 [13] durchgeführten akkreditierten Messungen an der EZE ENERCON E-138 EP3 E2 (4.200 kW) sind in den Tabellen 18, 19 und 20 angegeben.

Ordn.	$i_{h, max}$ [%]								
-	-	11	0,29	21	0,09	31	0,15	41	0,12
2	0,08	12	0,06	22	0,08	32	0,09	42	0,04
3	0,09	13	0,14	23	0,37	33	0,11	43	0,07
4	0,05	14	0,06	24	0,08	34	0,09	44	0,04
5	0,26	15	0,07	25	0,23	35	0,34	45	0,04
6	0,04	16	0,07	26	0,08	36	0,07	46	0,04
7	0,27	17	0,19	27	0,09	37	0,10	47	0,09
8	0,05	18	0,07	28	0,08	38	0,06	48	0,04
9	0,06	19	0,13	29	0,20	39	0,06	49	0,05
10	0,05	20	0,08	30	0,09	40	0,05	50	0,03

Tabelle 18: Maxima der harmonischen Oberschwingungsströme der EZE über alle Leistungsbins je Ordnung bezogen auf den Nennstrom I_N auf der Niederspannungsseite des Maschinentransformators (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

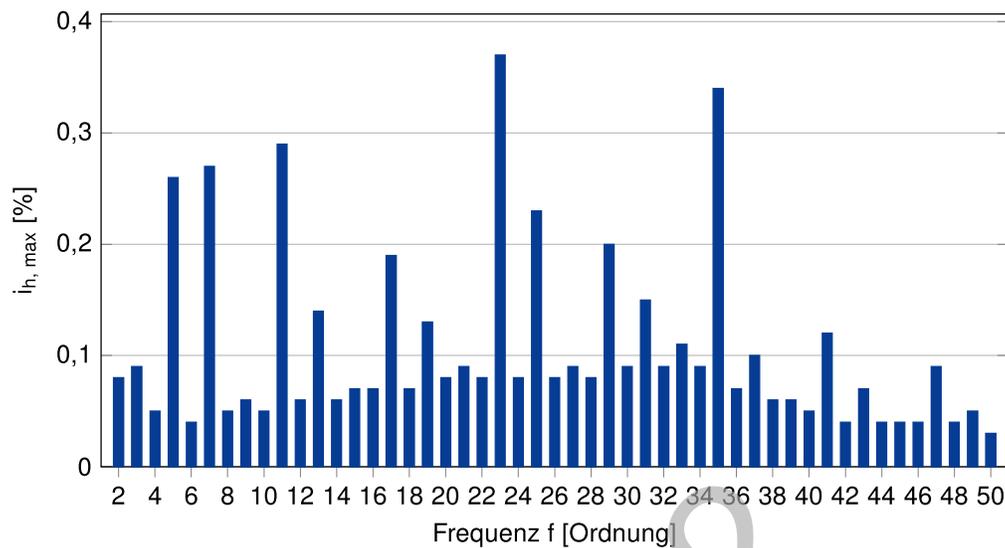


Abbildung 10: Maxima der harmonischen Oberschwingungsströme der EZE über alle Leistungsbins je Ordnung bezogen auf den Nennstrom I_N auf der Niederspannungsseite des Maschinentransformators
 (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

f [Hz]	$i_{h, max} [\%]$						
75	0,43	575	0,09	1075	0,12	1575	0,14
125	0,09	625	0,09	1125	0,12	1625	0,14
175	0,08	675	0,10	1175	0,12	1675	0,14
225	0,07	725	0,10	1225	0,12	1725	0,13
275	0,07	775	0,11	1275	0,13	1775	0,12
325	0,07	825	0,11	1325	0,13	1825	0,10
375	0,07	875	0,11	1375	0,13	1875	0,09
425	0,08	925	0,11	1425	0,13	1925	0,08
475	0,08	975	0,11	1475	0,14	1975	0,07
525	0,09	1025	0,11	1525	0,14	-	-

Tabelle 19: Maxima der Zwischenharmonischen der EZE über alle Leistungsbins bezogen auf den Nennstrom I_N auf der Niederspannungsseite des Maschinentransformators
 (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

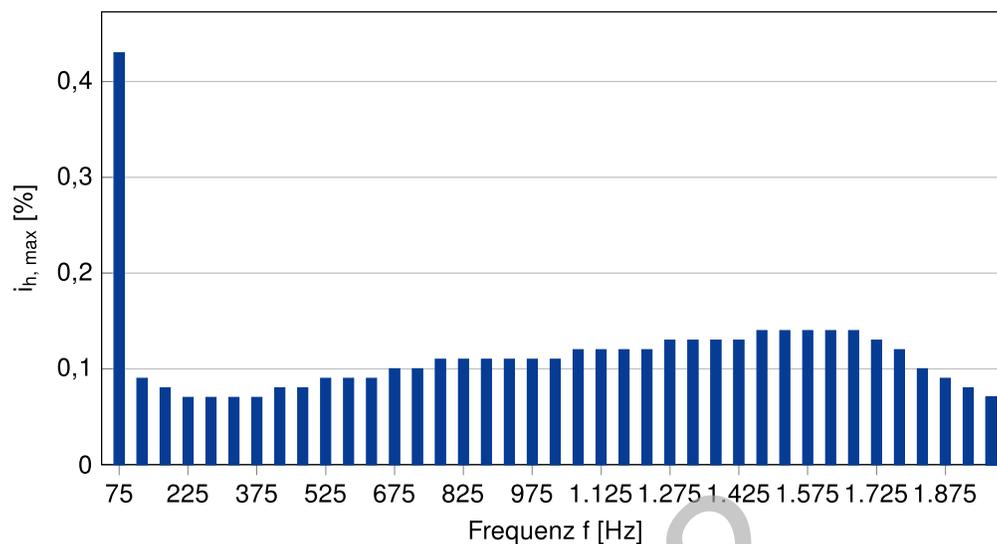


Abbildung 11: Maxima der Zwischenharmonischen der EZE über alle Leistungsbins bezogen auf den Nennstrom I_N auf der Niederspannungsseite des Maschinentransformators
 (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

f [kHz]	$i_{h, max}$ [%]						
2,1	0,19	4,1	0,04	6,1	0,04	8,1	0,06
2,3	0,15	4,3	0,03	6,3	0,04	8,3	0,06
2,5	0,12	4,5	0,03	6,5	0,04	8,5	0,06
2,7	0,10	4,7	0,03	6,7	0,04	8,7	0,06
2,9	0,09	4,9	0,03	6,9	0,05	8,9	0,06
3,1	0,06	5,1	0,03	7,1	0,05	-	-
3,3	0,06	5,3	0,03	7,3	0,06	-	-
3,5	0,06	5,5	0,03	7,5	0,06	-	-
3,7	0,05	5,7	0,03	7,7	0,06	-	-
3,9	0,04	5,9	0,04	7,9	0,06	-	-

Tabelle 20: Maxima der hochfrequenten Stromanteile der EZE über alle Leistungsbins bezogen auf den Nennstrom I_N auf der Niederspannungsseite des Maschinentransformators
 (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

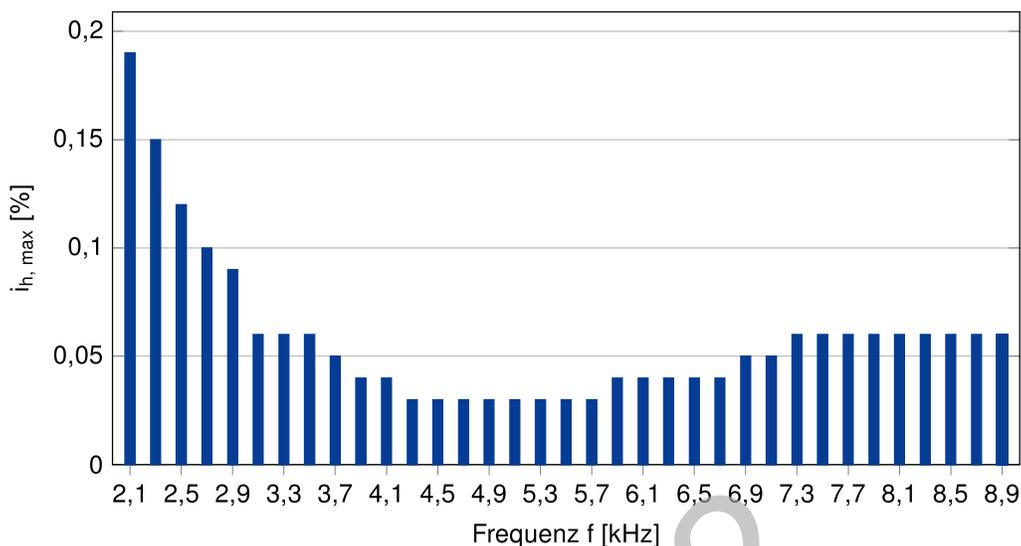


Abbildung 12: Maxima der hochfrequenten Stromanteile der EZE über alle Leistungsbins bezogen auf den Nennstrom I_N auf der Niederspannungsseite des Maschinentransformators
 (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

G.4 Unsymmetrie (Abschätzung)

Tabelle 21 weist die vom Hersteller abgeschätzten Werte der Stromunsymmetrien als Mittelwert aller 1-Minuten-Mittelwerte unter Berücksichtigung der Leistungsbin-Klassifizierung aus.

P_{bin} [%]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
u_i [%]	3,0	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Tabelle 21: Stromunsymmetrie der EZE ENERCON E-175 EP5 FT/FTS/FTQ/FTQS in Abhängigkeit der Bin-Mittel der Wirkleistung
 (1-Minuten-Mittelwerte)
 (Quelle: Herstellererklärung D02740944/0.0-de [5])

Literaturverzeichnis

- [1] VDE Verband der Elektrotechnik Informationstechnik e.V. „*Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Höchstspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Höchstspannung)*“, Dokument: VDE-AR-N 4130:2018-11. VDE e.V., November 2018.
- [2] VDE Verband der Elektrotechnik Informationstechnik e.V. „*Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Hochspannung)*“, Dokument: VDE-AR-N 4120:2018-11. VDE e.V., November 2018.
- [3] VDE Verband der Elektrotechnik Informationstechnik e.V. „*Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung)*“, Dokument: VDE-AR-N 4110:2018-11. VDE e.V., November 2018.
- [4] WRD GmbH. „*Technische Beschreibung Betriebsstrategien FACTS 2.0 ENERCON Windenergieanlagen EP1, EP2, EP3, EP4*“, Dokument D0368521-4a. ENERCON GmbH, 21. Oktober 2020.
- [5] WRD GmbH. „*Datenblatt Abschätzung der Netzverträglichkeit nach FGW TR 3 ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 E3 R1 / 6000 kW*“, Dokument D02740944/0.0-de. ENERCON GmbH, 28. Juli 2022.
- [6] WRD GmbH. „*Herstellererklärung Erklärung zur Prototypenbestätigung E-175 EP5 E3 R1*“, Dokument D02792388/0.0. ENERCON GmbH, 02. Dezember 2022.
- [7] WRD GmbH. „*Technisches Datenblatt - Netztechnische Leistungsmerkmale FACTS 2.0 ENERCON Control System PI-CS (EP5)*“, Dokument D02731630/2.0. ENERCON GmbH, 22. September 2022.
- [8] WRD GmbH. „*Technisches Datenblatt Netztechnische Leistungsmerkmale ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 E3 R1 / 6000 kW / FT*“, Dokument D02768313/0.1-de. ENERCON GmbH, 26. September 2022.
- [9] WRD GmbH. „*Technisches Datenblatt Netztechnische Leistungsmerkmale ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 E3 R1 / 6000 kW / FTQ*“, Dokument D02768315/0.1-de. ENERCON GmbH, 26. September 2022.
- [10] WRD GmbH. „*Technisches Datenblatt Netztechnische Leistungsmerkmale ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 E3 R1 / 6000 kW / FTQS*“, Dokument D02768320/0.1-de. ENERCON GmbH, 26. September 2022.
- [11] WRD GmbH. „*Technisches Datenblatt Netztechnische Leistungsmerkmale ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 E3 R1 / 6000 kW / FTS*“, Dokument D02768316/0.1-de. ENERCON GmbH, 26. September 2022.
- [12] WRD GmbH. „*Technisches Datenblatt Netztechnische Leistungsmerkmale FACTS 2.0 ENERCON Control System PI-CS (EP5)*“, Dokument D02731630/2.0-de. ENERCON GmbH, 22. September 2022.

Windenergie-Erzeugungseinheit
Prototypenbestätigung FGH-P-2023-001

Unterzeichnetes Exemplar Nr. 1, Seite 23 von 23



- [13] Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (FGW) e.V. *Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und -anlagen, Teil 3: Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz, Revision 25.* FGW e.V., 01. September 2018.
- [14] FGH Zertifizierungsstelle. *„Komponentenzertifikat FGH-K-2019-001-2“, EZA-Regler ENERCON FCU E2.* FGH Zertifizierungsstelle, 29. April 2022.

O-19542