

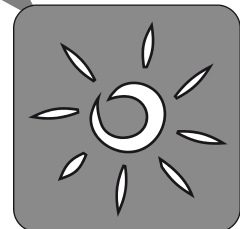
# Technischer Richtlinienentwurf für Erzeugungseinheiten und -anlagen

TEIL 3 (TR 3 ENTWURF)

**Bestimmung der elektrischen Eigenschaften  
von Erzeugungseinheiten und -anlagen,  
Speicher sowie für deren Komponenten am  
Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz**

Der Entwurf der Revision 26 stellt keine verbindliche  
Richtlinie dar. Vorbehaltlich der Notifizierung.

Stand 05.04.2022



FGW

Herausgeber:  
FGW e.V.  
Fördergesellschaft Windenergie  
und andere Dezentrale Energien

Diese Version ist Gegenstand des Notifizierungsverfahrens gemäß Richtlinie (EU) 2015/1535 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. September 2015 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft. Eine inhaltliche Änderung dieses Dokumentes kann aufgrund der Vorgabe der Richtlinie (EU) 2015/1535 nicht ausgeschlossen werden und ist daher hiermit ausdrücklich vorbehalten.

*Richtlinienentwurf*

# Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz

Stand 05.04.2022

## Herausgeber

FGW e.V.  
Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien

Oranienburger Straße 45  
10117 Berlin

Tel. +49 (0)30 30101505-0

Fax +49 (0) 30 30101505-1

E-Mail [info@wind-fgw.de](mailto:info@wind-fgw.de)

Internet [www.wind-fgw.de](http://www.wind-fgw.de)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliothek; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrecht zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Herausgebers. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird auf die geschlechtsneutrale Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für beide Geschlechter.

**Folgende Teile der Technischen Richtlinien der FGW sind erhältlich:**

- Teil 1:** Bestimmung der Schallemissionswerte
- Teil 2:** Bestimmung von Leistungskennlinien und standardisierten Energieerträgen
- Teil 3:** Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz
- Teil 4:** Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie deren Komponenten
- Teil 5:** Bestimmung und Anwendung des Referenzertrages
- Teil 6:** Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen
- Teil 7:** Betrieb und Instandhaltung von Kraftwerken für erneuerbare Energien
- Rubrik A:** Allgemeiner Teil
  - Rubrik A1:** Anlagenverantwortung
  - Rubrik B3:** Fachspezifische Anwendungserläuterung zur Überwachung und Überprüfung von Gründung und Tragstrukturen (GüT) bei Windenergieanlagen
  - Rubrik D2:** Zustands-Ereignis-Ursachen-Schlüssel für Erzeugungseinheiten (ZEUS)
  - Rubrik D3:** Globales Service Protokoll (GSP)
  - Rubrik D3 – Anhang A:** XML-Schemadokumentation
- Teil 8:** Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Stromnetz
- Teil 9:** Bestimmung der hochfrequenten Emission von regenerativen Energieerzeugungseinheiten
- Teil 10:** Bestimmung der Standortgüte nach Inbetriebnahme

## Vorwort

Die Erarbeitung der Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen (seit 1998 auch FGW-Richtlinien genannt) begann 1992 mit dem Ziel, Messverfahren anzugeben, mit denen verlässliche und vergleichbare Daten über Windenergieanlagen (WEA) nach dem neuesten Stand der Technik ermittelt werden können. Die Messungen aus den drei Bereichen - Leistungskurve, Schallemission und Elektrische Eigenschaften - sollten als Grundlage zur Beurteilung von WEA, z. B. in Genehmigungsfragen, bei der Beurteilung von Netzanschlussmöglichkeiten oder für verlässliche Ertragsberechnungen dienen.

Inzwischen haben die einzelnen Technischen Richtlinien sowie die von unabhängigen Prüflaboren erstellten Prüfberichte in ihren Bereichen Geltung erlangt. Leistungskurven sind Grundlage von Kaufverträgen und Finanzierungszusagen, vermessene Schallemissionswerte finden sowohl in Kaufverträgen als auch im Zuge der Genehmigung Anwendung. Die Vermessung der elektrischen Eigenschaften entsprechend dieser Technischen Richtlinie wird von den Übertragungs- und Verteilnetzbetreibern für Berechnungen zum Anschluss an deren Netze gefordert.

### **Erstellung der Richtlinien**

Die inhaltliche Gestaltung der Technischen Richtlinien obliegt den entsprechenden Fachausschüssen und Arbeitskreisen. An der Erstellung dieser Richtlinien in den Arbeitskreisen waren beteiligt: Unabhängige Prüflabore, Immissionsschutzbehörden der Bundesrepublik Deutschland, Hersteller von Energieerzeugungseinheiten (EZE) und deren Komponenten, Netzbetreiber, Institute und Hochschulen, Ingenieurbüros, Forum Netztechnik / Netzbetrieb im VDE (FNN), Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien (FGW e.V.).

### **Durchführung und Anerkennung der Messungen**

Die Messungen nach den Technischen Richtlinien können von allen qualifizierten Prüflaboren durchgeführt werden. Über die Messung ist ein Prüfbericht unter Berücksichtigung der in dieser Richtlinie angegebenen Anforderungen zu erstellen. Auf Grundlage des Prüfberichts können die Ergebnisse auf den in dieser Richtlinie angegebenen Vorgaben in einem Auszug aus dem Prüfbericht (FGW-Stammblatt) zusammengefasst werden.

Es ist jedoch neben den in diesen Technischen Richtlinien beschriebenen Vorgaben zu beachten, dass die Stelle, die diese Messungen anerkennen soll, weitere Anforderungen an die Prüflabore stellen kann. So fordern Zertifizierungsstellen für EZE-Messungen, dass diese von nach DIN EN ISO/IEC 17025 [1] akkreditierten Prüflaboren durchgeführt werden.

### **FGW-Konformität**

Unabhängige Prüflabore können die Qualität ihrer Arbeit durch das Führen eines Konformitätssiegels hervorheben. Zu diesem Zweck wird das Siegel unter den Prüfbericht (bzw. Auszug aus dem Prüfbericht) gesetzt. Die Berechtigung zum Führen des Konformitätssiegels kann von unabhängigen Prüflaboren beim Nachweis entsprechender Qualitätsmerkmale beantragt werden. Diese sind auf der Internet-Seite der FGW veröffentlicht.

Richtlinienentwurf

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>i</b>
<b>Verwendete Abkürzungen</b> .....	<b>i</b>
<b>Symbole und Einheiten</b> .....	<b>iii</b>
<b>Begriffe und Definitionen</b> .....	<b>viii</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Anwendungsbereich</b> .....	<b>2</b>
<b>3 Anforderungen</b> .....	<b>3</b>
3.1 Allgemein .....	3
3.2 Messungen .....	3
3.2.1 Messaufbau .....	3
3.2.2 Messtechnik .....	4
3.2.3 Prüfbedingungen .....	7
3.2.4 Netzemulatoren .....	9
3.3 Auswertungen .....	10
3.4 Darstellung im Prüfbericht .....	10
3.4.1 Allgemeine Angaben .....	10
3.4.2 Angaben zur EZE bzw. EZA .....	11
3.4.3 Bezugswerte .....	11
3.4.4 Angaben zum Mess- und Testsystem .....	11
3.4.5 Prüfbedingungen .....	12
3.4.6 Messunsicherheiten .....	13
3.4.7 Auszug aus dem Prüfbericht .....	13
<b>4 Durchführung und Auswertung der Messungen an EZE</b> .....	<b>14</b>
4.1 Wirkleistungsabgabe .....	14
4.1.1 Wirkleistungsspitzen .....	14
4.1.1.1 Ziele .....	14
4.1.1.2 Prüfverfahren .....	14
4.1.1.3 Auswertungen .....	15
4.1.1.4 Darstellung im Prüfbericht .....	15
4.1.2 Wirkleistung nach Sollwertvorgabe .....	16
4.1.2.1 Ziel .....	16
4.1.2.2 Prüfverfahren .....	16
4.1.2.3 Auswertung .....	18
4.1.2.4 Darstellung im Prüfbericht .....	20
4.1.3 Wirkleistungseinspeisung in Abhängigkeit der Netzfrequenz .....	22
4.1.3.1 Ziele .....	22

4.1.3.2	Prüfverfahren .....	23
4.1.3.3	Auswertungen .....	29
4.1.3.4	Darstellungen im Prüfbericht.....	32
4.1.4	Bereitstellung von Primärregelleistung .....	36
4.1.4.1	Ziele.....	36
4.1.4.2	Prüfverfahren .....	36
4.1.4.3	Auswertungen .....	40
4.1.4.4	Darstellung im Prüfbericht.....	40
4.1.5	Wirkleistungsgradient nach Spannungslosigkeit .....	43
4.1.5.1	Ziele.....	43
4.1.5.2	Prüfverfahren .....	43
4.1.5.3	Auswertungen .....	44
4.1.5.4	Darstellung im Prüfbericht.....	45
4.2	Blindleistungsbereitstellung.....	46
4.2.1	Blindleistungsverhalten bei Sollwertvorgabe $Q = 0$ .....	46
4.2.1.1	Ziel .....	46
4.2.1.2	Prüfverfahren .....	46
4.2.1.3	Auswerteverfahren.....	47
4.2.1.4	Darstellung im Prüfbericht.....	47
4.2.2	Vermessung des maximalen Blindleistungsstellbereichs (P-Q-Diagramm).....	49
4.2.2.1	Ziel .....	49
4.2.2.2	Prüfverfahren .....	49
4.2.2.3	Auswerteverfahren.....	50
4.2.2.4	Darstellung im Prüfbericht.....	50
4.2.3	Vermessung einzelner Arbeitspunkte des spannungsabhängigen P-Q-Diagramms.....	52
4.2.3.1	Ziel .....	52
4.2.3.2	Prüfverfahren .....	52
4.2.3.3	Auswerteverfahren.....	53
4.2.3.4	Darstellung im Prüfbericht.....	53
4.2.4	Blindleistung nach Sollwertvorgabe.....	54
4.2.4.1	Ziel .....	54
4.2.4.2	Prüfverfahren .....	54
4.2.4.3	Auswerteverfahren.....	55
4.2.4.4	Darstellung im Prüfbericht.....	56
4.2.5	Q(U)-Regelung .....	57
4.2.5.1	Ziel .....	57
4.2.5.2	Prüfverfahren .....	57
4.2.5.3	Auswerteverfahren.....	58
4.2.5.4	Darstellung im Prüfbericht.....	59



4.2.6	Q(P)-Regelung .....	61
4.2.6.1	Ziel .....	61
4.2.6.2	Prüfverfahren .....	61
4.2.6.3	Auswerteverfahren .....	62
4.2.6.4	Darstellung im Prüfbericht .....	62
4.2.7	Blindleistung Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion .....	63
4.2.7.1	Ziel .....	63
4.2.7.2	Prüfverfahren .....	63
4.2.7.3	Auswerteverfahren .....	64
4.2.7.4	Darstellung im Prüfbericht .....	64
4.3	Netzurückwirkungen .....	67
4.3.1	Flicker im Dauerbetrieb .....	67
4.3.1.1	Ziel .....	67
4.3.1.2	Prüfverfahren .....	67
4.3.1.3	Auswerteverfahren .....	68
4.3.1.4	Darstellung im Prüfbericht .....	70
4.3.2	Spannungsänderungen und Flicker während Schalthandlungen .....	71
4.3.2.1	Ziel .....	71
4.3.2.2	Prüfverfahren .....	71
4.3.2.3	Auswerteverfahren .....	72
4.3.2.4	Darstellung im Prüfbericht .....	74
4.3.3	Oberschwingungen .....	76
4.3.3.1	Ziel .....	76
4.3.3.2	Prüfverfahren .....	76
4.3.3.3	Auswerteverfahren .....	77
4.3.3.4	Darstellung im Prüfbericht .....	79
4.3.4	Unsymmetrien des Stroms .....	82
4.3.4.1	Ziel .....	82
4.3.4.2	Prüfverfahren .....	82
4.3.4.3	Auswerteverfahren .....	82
4.3.4.4	Darstellung im Prüfbericht .....	83
4.4	Trennung der EZE vom Netz .....	84
4.4.1	Ziel .....	84
4.4.2	Prüfverfahren .....	85
4.4.2.1	Allgemeine Anforderungen .....	85
4.4.2.2	Verdrahtungstest .....	85
4.4.2.3	Prüfung der Stern- oder Dreiecksspannung .....	85
4.4.2.4	Spannungs- und Frequenzschutz .....	85
4.4.2.5	Prüfung zum Ausfall der Hilfsenergie .....	85
4.4.2.6	Gesamtwirkungskette .....	85

4.4.3	Auswerteverfahren .....	86
4.4.4	Darstellung im Prüfbericht .....	86
4.5	Nachweis der Zuschaltbedingungen .....	88
4.5.1	Zuschalten ohne vorherige Schutzauslösung .....	88
4.5.1.1	Ziel .....	88
4.5.1.2	Prüfverfahren .....	88
4.5.1.3	Auswerteverfahren .....	89
4.5.1.4	Darstellung im Prüfbericht .....	89
4.5.2	Zuschalten nach Auslösung des Entkupplungsschutzes .....	91
4.5.2.1	Ziel .....	91
4.5.2.2	Prüfverfahren .....	92
4.5.2.3	Auswerteverfahren .....	93
4.5.2.4	Darstellung im Prüfbericht .....	94
4.6	Verhalten bei Störungen im Netz (FRT) .....	95
4.6.1	Allgemein .....	95
4.6.1.1	Ziel .....	95
4.6.1.2	Allgemeines Prüfverfahren .....	95
4.6.2	EZE vom Typ 1 .....	99
4.6.2.1	Prüfverfahren .....	99
4.6.2.2	Auswerteverfahren (Typ 1) .....	103
4.6.2.3	Darstellung (Typ 1) .....	104
4.6.3	EZE vom Typ 2 .....	108
4.6.3.1	Prüfverfahren .....	108
4.6.3.2	Auswerteverfahren (Typ 2) .....	112
4.6.3.3	Darstellung im Prüfbericht .....	116
4.7	Nachweis des Arbeitsbereiches hinsichtlich Spannung und Frequenz .....	122
4.7.1	Ziel .....	122
4.7.2	Prüfverfahren .....	122
4.7.3	Auswerteverfahren .....	123
4.7.4	Darstellung im Prüfbericht .....	124
<b>5</b>	<b>Durchführung und Auswertung der Messungen an EZA .....</b>	<b>125</b>
5.1	Oberschwingungsmessungen an der EZA .....	125
5.1.1	Ziel .....	125
5.1.2	Prüfverfahren .....	125
5.1.3	Auswerteverfahren .....	126
5.1.4	Darstellung im Prüfbericht .....	126
5.2	Trennung der EZA vom Netz .....	126
5.2.1	Ziel .....	126
5.2.2	Prüfverfahren .....	126

5.2.2.1	Verdrahtungsprüfung .....	128
5.2.2.2	Prüfung des Zählpeilsystems.....	128
5.2.2.3	Spannungs- und Frequenzschutz.....	128
5.2.2.4	Q-U-Schutz .....	128
5.2.2.5	UMZ-Schutz .....	128
5.2.2.6	Ausfall der Hilfsenergie .....	128
5.2.2.7	Gesamtwirkungskette .....	128
5.2.3	Auswerteverfahren .....	128
5.2.4	Darstellung im Prüfbericht .....	129
<b>6</b>	<b>Durchführung und Auswertung der Messungen an Komponenten .....</b>	<b>131</b>
6.1	EZA-Regler .....	131
6.1.1	Allgemeine Festlegungen .....	131
6.1.2	Messaufbau .....	132
6.1.3	Ermittlung der Einstellgenauigkeit .....	134
6.1.3.1	Allgemein.....	134
6.1.3.2	Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ .....	135
6.1.3.3	Blindleistung Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion.....	135
6.1.3.4	Kennlinie Q(U).....	138
6.1.3.5	Kennlinie Q(P) (nur für VDE-AR-N 4110).....	141
6.1.3.6	Wirkleistung P.....	142
6.1.4	Ermittlung der Einschwingzeit.....	142
6.1.4.1	Allgemein.....	142
6.1.4.2	Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ .....	144
6.1.4.3	Blindleistung Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion.....	145
6.1.4.4	Kennlinie Q(U).....	147
6.1.4.5	Kennlinie Q(P).....	148
6.1.4.6	Wirkleistung P.....	149
6.1.5	Ermittlung Des Umschaltverhaltens .....	150
6.1.5.1	Ziel .....	150
6.1.5.2	Prüfverfahren .....	150
6.1.5.3	Auswerteverfahren.....	151
6.1.5.4	Darstellung im Prüfbericht.....	151
6.1.6	Wirkleistungseinspeisung in Abhängigkeit der Netzfrequenz.....	151
6.1.6.1	Ziel .....	151
6.1.6.2	Prüfverfahren .....	152
6.1.6.3	Auswerteverfahren.....	154
6.1.6.4	Darstellung im Prüfbericht.....	154
6.1.7	Bereitstellung vom Primärregelleistung .....	157
6.1.7.1	Ziele.....	157

6.1.7.2	Prüfverfahren .....	157
6.1.7.3	Auswerteverfahren .....	160
6.1.7.4	Darstellung im Prüfbericht .....	160
6.1.8	Verhalten bei technischen Störungen .....	162
6.1.8.1	Ausfall der Versorgungsspannung .....	162
6.1.8.2	Kommunikationsleitungen .....	163
6.1.9	Reglerüberbrückung (slave-mode) .....	164
6.1.9.1	Ziel .....	164
6.1.9.2	Prüfverfahren .....	164
6.1.9.3	Auswerteverfahren .....	164
6.1.9.4	Darstellung im Prüfbericht .....	164
6.1.10	Priorisierung der Vorgabe des Sollwerts .....	165
6.1.10.1	Ziel .....	165
6.1.10.2	Prüfverfahren .....	165
6.1.10.3	Auswertungsverfahren .....	165
6.1.10.4	Darstellung im Prüfbericht .....	165
6.1.11	Ermittlung des Wirkleistungsgradienten nach Spannungslosigkeit .....	166
6.1.11.1	Ziel .....	166
6.1.11.2	Prüfverfahren .....	166
6.1.11.3	Auswertungsverfahren .....	166
6.1.11.4	Darstellung im Prüfbericht .....	166
6.1.12	Zuschalten nach Auslösung des Entkopplungsschutzes .....	166
6.1.12.1	Ziel .....	166
6.1.12.2	Prüfverfahren .....	167
6.1.12.3	Auswerteverfahren .....	168
6.1.12.4	Darstellung im Prüfbericht .....	168
6.2	Prüfung der FRT-Fähigkeit von Hilfsaggregaten .....	169
6.2.1	Ziel .....	169
6.2.2	Prüfverfahren .....	169
6.2.3	Auswertung .....	170
6.2.4	Darstellung im Prüfbericht .....	170
6.3	Synchrongenerator .....	170
6.4	Spannungsregler .....	171
6.5	Primärregler .....	171
6.6	Blindleistungsbereitstellung aktive statische Kompensationsanlage .....	171
6.6.1	Vermessung des maximalen Blindleistungsstellbereichs .....	171
6.6.1.1	Ziel .....	171
6.6.1.2	Prüfverfahren .....	171
6.6.1.3	Auswerteverfahren .....	172
6.6.1.4	Darstellung im Prüfbericht .....	172

6.6.2	Vermessung einzelner Arbeitspunkte des spannungsabhängigen Blindleistungsstellbereichs .....	172
6.6.2.1	Ziel .....	172
6.6.2.2	Prüfverfahren .....	172
6.6.2.3	Auswerteverfahren .....	173
6.6.2.4	Darstellung im Prüfbericht .....	173
6.6.3	Blindleistung nach Vorgabe des Sollwerts .....	173
6.6.3.1	Ziel .....	173
6.6.3.2	Prüfverfahren .....	173
6.6.3.3	Auswerteverfahren .....	175
6.6.3.4	Darstellung im Prüfbericht .....	175
6.7	Prüfungen von Schutzeinrichtungen .....	176
6.7.1	Ziel .....	176
6.7.2	Prüfverfahren .....	176
6.7.2.1	Allgemeine Anforderungen zur Prüfung .....	176
6.7.2.2	Verdrahtungsprüfung .....	177
6.7.2.3	Zählpeilsystem .....	177
6.7.2.4	Prüfung der Auswertung Stern- oder Dreieckspannung .....	177
6.7.2.5	Spannungs- und Frequenzschutz .....	177
6.7.2.6	Q-U-Schutz .....	183
6.7.2.7	UMZ-Schutz .....	190
6.7.2.8	Prüfung zum Ausfall der Hilfsenergie .....	192
6.7.3	Auswerteverfahren .....	193
6.7.4	Darstellung im Prüfbericht .....	193
6.8	Ermittlung der Oberschwingungen eines Synchrongenerators .....	196
6.8.1	Ziel .....	196
6.8.2	Prüfverfahren .....	196
6.8.3	Auswerteverfahren .....	197
6.8.4	Darstellung im Prüfbericht .....	198
<b>7</b>	<b>Einzelnachweisverfahren für EZE / EZA mit direkt gekoppeltem Synchrongenerator .....</b>	<b>200</b>
7.1	Allgemeines .....	200
7.1.1	Ort der Messungen .....	200
7.1.2	Erforderliche Dokumentation .....	200
7.1.2.1	Synchrongenerator mit Regel- und Schutzeinrichtungen .....	200
7.1.2.2	Antriebseinheiten mit Regel- und Schutzeinrichtungen .....	201
7.1.3	Messaufbau .....	202
7.1.3.1	Synchrongenerator mit Regeleinrichtungen .....	202
7.1.3.2	Antriebseinheiten mit Schutzeinrichtungen .....	203
7.1.4	Messtechnik .....	204

7.1.4.1	Anforderungen an die Hardware .....	204
7.1.4.2	Anforderungen an die Aufzeichnung der Messsignale .....	205
7.1.5	Messbedingungen.....	207
7.1.6	Darstellung im Prüf- und Messbericht.....	208
7.1.6.1	Allgemeine Angaben .....	208
7.1.6.2	Angaben zur Erzeugungseinheit und Erzeugungsanlage .....	208
7.1.6.3	Bezugs- und Maximalgrößen der Erzeugungseinheit und Erzeugungsanlage .....	209
7.1.6.4	Angaben zum Mess- und Prüfsystem.....	210
7.1.6.5	Mess- und Prüfbedingungen .....	210
7.1.6.6	Messunsicherheiten .....	210
7.2	Durchführung und Auswertung der Messungen .....	210
7.2.1	Durchführung und Auswertung der Messungen an der EZA .....	210
7.2.1.1	Wirkleistungsabgabe der Erzeugungsanlage.....	211
7.2.1.2	Blindleistungsbereitstellung der Erzeugungsanlage.....	217
7.2.1.3	Netzurückwirkungen.....	223
7.2.1.4	Trennung der EZE vom Netz.....	227
7.2.1.5	Nachweis der Zuschaltbedingungen .....	227
7.2.1.6	Fähigkeit zur Bereitstellung von Primärregelleistung .....	227
7.2.1.7	Abfangen auf Eigenbedarf .....	229
7.2.1.8	Nachweis der Schwarzstartfähigkeit.....	229
7.2.2	Messungen zur Validierung VON EZE / EZA-Modellen .....	230
7.2.2.1	Umfang der Messungen.....	230
7.2.2.2	Verhalten der Blindleistungsabgabe .....	230
7.2.2.3	Verhalten der Wirkleistungsabgabe.....	236
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>240</b>
	<b>Inhaltsverzeichnis Anhänge .....</b>	<b>244</b>

## Verwendete Abkürzungen

AC	Wechselstrom bzw. Wechselspannung AC (Alternating Current)
AVE	Average bzw. Mittelwert
AVR	Automatic Voltage Regulator (Spannungsregler)
AWE	Automatische Wiedereinschaltung
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BDEW-MSR	BDEW Mittelspannungsrichtlinie „Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“
BHKW	Blockheizkraftwerk
CHP	Combined Heat and Power
DASM	Doppeltgespeiste Asynchronmaschine
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EMC	Electromagnetic compatibility
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
EZA	Erzeugungsanlage
EZE	Erzeugungseinheit, einzelne Einheit zur Erzeugung von elektrischer Energie
FACTS	Flexible Alternating Current Transmission System
FGW	FGW e.V. Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien
FNN	Forum für Netzbetrieb / Netztechnik im VDE
FRT	Fault-Ride-Through
GuD	Gas- und Dampfkraftwerk
HöS-Netz	Höchstspannungsnetz
HS-Netz	Hochspannungsnetz
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	Internationale Organisation für Normung
MP1	Messpunkt 1. Der netzseitige Messpunkt an einer Prüfeinrichtung. (Meistens an der Mittelspannungsebene)
MP2	Messpunkt 2. Der EZE-seitige Messpunkt an einer Prüfeinrichtung. (Meistens an der Oberspannungsseite (Mittelspannung) des EZE-Transformators)
MP3	Messpunkt 3. Der EZE-seitige Messpunkt. (Meistens an der Unterspannungsseite (Niederspannung) des EZE-Transformators)
MPP	Maxium Power Point (Arbeitspunkt maximaler Leistungsabgabe z.B. von PV-Modulen)
MS-Netz	Mittelspannungsnetz
NAP	Netzanschlusspunkt

---

NAR	Netzanschlussregeln
NB	Netzbetreiber
OEL	Over-Excitation-Limiter (Übererregungsbegrenzung des AVR)
OS	Oberschwingung
OVRT	Over-Voltage-Ride-Through bzw. Durchfahren der Überspannung
p.u.	Hilfsmaßeinheit bezogen auf einen Bezugswert. In vorliegender Richtlinie werden die Nennspannung, Nennscheinleistung und Nennstrom als Bezugswerte herangezogen.
PSG	Parallelschaltgerät
PV	Photovoltaik
STATCOM	Static Synchronous Compensator
SVC	Static Var Compensator
TAB	Technische Anschlussbedingungen
TAR-HöS	Technische Anschlussregeln Höchstspannung (VDE-AR-N 4130 [2])
TAR-HS	Technische Anschlussregeln Hochspannung (VDE-AR-N 4120 [3])
TAR-MS	Technische Anschlussregeln Mittelspannungspannung (VDE-AR-N 4110 [4])
TR	Technische Richtlinie
UEL	Under-Excitation-Limiter (Untererregungsbegrenzung des AVR)
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
UVRT	Under-Voltage-Ride-Through bzw. Durchfahren des Spannungseinbruchs
UW	Umspannwerk
VDN	Verband der Netzbetreiber e.V. beim VDEW
VKM	Verbrennungskraftmaschine
WEA	Windenergieanlage



## Symbole und Einheiten

Symbol	Bedeutung	Einheit
$v$	Ordnungszahl einer Oberschwingung	-
$\Delta I_B$	Blindstromabweichung	A
$\Delta U_r$	Relevante Spannungsabweichung	V
$\mu$	Ordnungszahl einer Zwischenharmonischen (Index)	-
$A$	Amplitude	-
$a_r$	Stellquerschnitt des Mediums der Antriebsmaschine	pu
$b$	Anteil höherer Frequenzen (Mittelfrequenz)	-
$b_p$	P-Grad des Drehzahl-Reglers	%
$b_{p\ddot{o}}$	örtlicher P_grad des Drehzahlregler	%
$c(\psi_k)$	Flickerbeiwert	-
$c_D$	Dämpfungskonstante	pu
$f$	Frequenz	pu
$f<$	Frequenzrückgangsschutz	Hz
$f>$	Frequenzsteigerungsschutz	Hz
$f_n$	Nennfrequenz	Hz
$G(s)$	Übertragungsfunktion	-
$I$	Strom	A
$I_B$	Blindstrom	A
$I_f$	Erregerstrom	A
$I_{f0}$	Leerlauferregerstrom	A
$I_{fk}$	Kurzschlusserregerstrom	A
$I_k''$	Anfangskurzschlusswechselstrom	A
$I_{max}$	Maximaler Strom	A
$I_n$	Nennstrom	A
$I_{n\_sw}$	Wandler-Nennstrom (sekundärseitig)	A
$I_r$	Bemessungsstrom	A
$K$	Proportionalitätskonstante (k-Faktor)( $k_{set}$ und $k_{meas}$ )	-
$k_f(\psi_k)$	Flickerformfaktor	-
$K_L$	Verstärkung des Leistungsreglers	pu
$k_u(\psi_k)$	Spannungsänderungsfaktor	-
$M$	Moment	Nm
$N$	Nenner	-
$N_{10}$	Maximale Anzahl von Schaltvorgängen innerhalb eines Zeitabschnittes von 10 Minuten	-

$N_{120}$	Maximale Anzahl von Schaltvorgängen innerhalb eines Zeitabschnittes von 120 Minuten	-
$P$	Wirkleistung	W
$P_0$	Startwert der Wirkleistung für einen Wirkleistungssprung	W
$P_{0,2}$	Maximaler Wirkleistungs-Spitzenwert des Gesamtsystems (Mittelungszeitraum 0,2 Sekunde)	W
$P_{10}$	Wirkleistung des Gesamtsystems als 10-Sekunden-Mittelwert	W
$P_{60}$	Maximaler Wirkleistungs-Spitzenwert des Gesamtsystems (Mittelungszeitraum 1 Minute)	W
$P_{600}$	Maximaler Wirkleistungs-Spitzenwert des Gesamtsystems (Mittelungszeitraum 10 Minuten)	W
$P_{AV}$	Vereinbarte Anschlusswirkleistung der Kundenanlage	W
$P_{binst}$	Die in Betrieb befindliche installierte Wirkleistung	W
$P_{min DC Output}$	Minimale Wirkleistung der DC-Quelle	W
$P_{mom}$	Momentaner Wert der Wirkleistung	W
$P_n$	Nennwirkleistung	W
$P_{rE}$	Bemessungswirkleistung	W
$P_{ref}$	Referenzwirkleistung	W
$P_{st}$	Kurzzeitflickerstörfaktor	-
$P_{st, fic}$	Kurzzeitflickerstärke am fiktiven Verbundnetz	-
$P_{verfügbar}$	Verfügbare Wirkleistung	W
$Q$	Blindleistung	VA
$R$	Ohm'scher Widerstand	$\Omega$
$R_1$	Ständerwiderstands	$\Omega$
$S_k$	Kurzschlussleistung	VA
$S_{k, fic}$	Kurzschlussleistung am fiktiven Verbundnetz	VA
$S_n$	Nennscheinleistung	VA
$T$	Zeitkonstante	s
$T_A$	Turbosatzanlaufzeitkonstante	s
THC	Total Harmonic Current Distortion	
THDS <sub>U</sub>	Subgroup Total Harmonic Distortion	
$T_p$	Dauer des Auswertebereichs einer Schalthandlung	s
$T_v$	Anfängliche Zeitverzögerung	s
$U$	Spannung	V
$U<$ und $U<<$	Spannungsrückgangsschutz	V
$U>$ und $U>>$	Spannungssteigerungsschutz	V
$u_0$	Ideale Spannungsquelle	V

$U_c$	Zwischen dem Netzbetreiber und dem Anschlussnehmer vereinbarte Versorgungsspannung	V
$U_{fic,max}$	Größter Effektivwert einer Netzperiode am fiktiven Verbundnetz beim Schaltvorgang	V
$U_{fic,min}$	Kleinster Effektivwert einer Netzperiode am fiktiven Verbundnetz beim Schaltvorgang	V
$U_{MPPmax}$	Obere Spannungsgrenze des Maximum-Power-Point (MPP)	V
$U_{MPPmin}$	Untere Spannungsgrenze des Maximum-Power-Point (MPP)	V
$U_n$	Nennspannung ( $U_c$ wird in der VDE-AR-N 4110 [4] verwendet und in der Regel der Nennspannung gleichgesetzt.)	V
$U_{n,sw}$	Wandler-Nennspannung (sekundärseitig)	V
$U_{P,v}$	Harmonische der Polradspannung	V
$U_{PO,v}$	Gemessene Oberschwingungsspannung eines Synchrongenerators bei Leerlauf	V
$U_{pre}$	Vorfehlerspannung	V
$u_R$	Regler-Ausgangssignal	[pu]
$U_{rück}$	Rückfallwert eines Schutzrelais, ab dem die vorherige Anregung des Schutzrelais wieder zurückgenommen wird.	V
$U_t$	Spannungstotband	V
$v$	Windgeschwindigkeit	m/s
$v_n$	Nennwindgeschwindigkeit	m/s
$X$	Zustandsgröße	-
$X_v$	Maschinenreaktanz	$\Omega$
$y_T$	Position des Stellorgans zur Leistungsentbindung der Antriebsmaschine	pu
$Z$	Zähler	-
$\alpha$	Synchronisierziffer	pu
$\delta_p$	Generatorlastwinkel (äußerer Polradwinkel)	rad
$\varepsilon$	Fehlersignal (Regler)	pu
$\varepsilon$	Abweichung zwischen gemessenem und simuliertem Signal	pu
$\eta$	Wirkungsgrad	-
$\theta$	Massenträgheitsmoment	kgm <sup>2</sup>
$\vartheta$	Temperatur	°C
$\lambda$	Eigenwert	-
$\sigma$	Eigenwertrealteil	-
$\varphi_p$	Polradwinkel (innerer Polradwinkel)	rad
$\varphi_u$	Spannungswinkel	rad

---

$\Psi_k$	Netzimpedanzwinkel am Knoten k	°
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit	rad/s

### Indizes

CFCT	Critical Fault Clearing Time
D	Dämpfung
D	Dampf
HD	Hochdruck
N	Nennwert
ND	Niederdruck
R	Regler
S	Regelstrecke
SE	Stelleinrichtung
T	Turbine
ä	äußerer
d	Längsachse
e, err	Erreger, Erregung
el	elektrisch
f	Erreger
i	Nummer der EZE innerhalb einer EZA
i	Zustandsgröße i
i	innerer
Ist	Istwert
L	Last
m	gemessen
max	maximaler Wert
min	Minimaler Wert
mom	momentaner Wert
O	stationär, Anfangswert
P	Polrad
Q	Querachse
S	simuliert
S	Stator
soll	Sollwert
Z	Störung
_xMin	über x Minuten gemittelter Wert
_xSec	über x Sekunden gemittelter Wert

---

$\_123$	Betriebswert = 123
$\infty$	eingeschwungener Zustand
$+$	Mitsystem
$-$	Gegensystem
$0$	Leerlauf

**Schreibweisen**

$I, i$	Absolutwerte sind groß geschrieben. Auf den Nennwert bezogene Größen sind klein geschrieben
$I'$	Transiente Werte haben einen Strich
$I''$	Subtransiente Werte haben zwei Striche
$\infty$	unendlich

**Kennzeichnungen**

a, b, c	Leiterstränge der Betriebsmittel
AVR	Spannungsregler (Automatic Voltage Regulator)
D	Dämpfungswicklung in der Längsachse
E	Erregereinrichtung
G	Generator
L1, L2, L3	Leiter des Drehstromsystems
N	Netz
PI	Proportional-Integral (Regler)
PID	Proportional-Integral-Differential (Regler)
Q	Dämpferwicklung in der Querachse
R	Regler
TR	Transformator
U, V, W	Leiterstränge der Betriebsmittel
V	Verbraucher
w	Führungsgröße

## **Begriffe und Definitionen**

**Siehe Begriffe und Definitionen FAEE**

**Richtlinienentwurf**