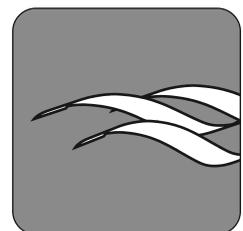
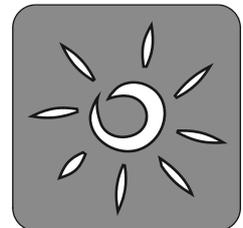
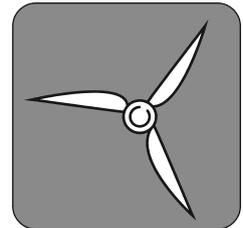


Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und -anlagen

TEIL 4 (TR 4)

**Anforderungen
an Modellierung und Validierung
von Simulationsmodellen
der elektrischen Eigenschaften
von Erzeugungseinheiten und -anlagen**

Revision 08
Stand 01.03.2016



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

Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen

Stand 01.03.2016

Herausgeber

FGW e.V.
Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien

Oranienburger Straße 45
10117 Berlin

Tel. +49 (0)30 30101505-0

Fax +49 (0) 30 30101505-1

E-Mail info@wind-fgw.de

Internet 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 Leistungskurven und standardisierten Energieerträgen
- Teil 3:** Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen am Mittel- Hoch- und Höchstspannungsnetz
- Teil 4:** Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen
- 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 B3:** Fachspezifische Anwendungserläuterung zur Überwachung und Überprüfung von Gründungs- und Tragstrukturen (GuT) 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 am Mittel- Hoch- und Höchstspannungsnetz
- Teil 9:** Bestimmung der Hochfrequenten Emission von regenerativen Energieerzeugungseinheiten

Vorwort

Die Technischen Richtlinien der FGW dienen dem Ziel, Mess- und Prüfverfahren anzugeben, mit denen verlässliche und vergleichbare Daten über Erzeugungseinheiten (EZE) und Erzeugungsanlagen (EZA) nach dem neuesten Stand der Technik ermittelt werden können.

Die vorliegende Richtlinie beschreibt Anforderungen an die Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen von EZE und EZA zur Beschreibung der elektrischen Eigenschaften am Netz.

Die Beschreibung der Verfahren zur Validierung und Modellierung des elektrischen Verhaltens von EZE und EZA entsprechend dieser Technischen Richtlinie dient dem Nachweis, dass die Simulationsmodelle ausreichend genau das elektrische Verhalten der EZE und EZA hinsichtlich der in der TR 3 aufgeführten Messungen abbilden können.

Hinweis: Kursive Textstellen müssen übergreifend in der TR 8 geklärt werden und können entfallen, sobald sie dort aufgenommen werden.

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Abkürzungen	vii
Symbole und Einheiten	x
Formelzeichen.....	x
Indizes	xi
Schreibweisen	xii
Kennzeichnungen	xii
Begriffe und Definitionen	xiv
1 Allgemeines	1
1.1 Anwendungsbereich.....	1
1.2 Normative Verweisungen	1
2 Zielsetzung der Richtlinie Modellierung/Validierung	2
2.1 Modell der Einheit für die Zertifizierung.....	2
2.2 Modell der Anlage für die Zertifizierung	3
2.3 Methodik und standardisiertes Modell für Netzberechnungen	3
2.4 Berechnungsmethoden/Gültigkeit der Modelle.....	3
3 EZE: Umfang der Modellierung und Validierung	7
3.1 Wirkleistungsabgabe.....	7
3.1.1 Wirkleistung	7
3.1.2 Leistungsbegrenzter Betrieb durch den Netzbetreiber (Sollwertvorgabe)	7
3.1.3 Leistungsbegrenzung bei Netzfrequenzerhöhung	7
3.2 Blindleistungsbereitstellung.....	7
3.2.1 PQ-Kennlinie	7
3.2.2 Blindleistung nach Sollwertvorgabe.....	8
3.2.3 Q-Übergangsfunktion	8
3.3 Verhalten bei Störungen im Netz	8
3.4 Fehlererkennung	8
3.5 Gültigkeitsbereich des Modells	8
3.6 Modelldokumentation	8
4 EZE: Grundlagen für die Modellbildung	9
4.1 Erforderliche Informationen aus Prüfberichten und Herstellererklärungen.....	9
4.2 Darstellung primäre Energiewandlung (Wind, Solar, Biomasse, Wasser, Geothermie).....	9
4.2.1 Darstellung primäre Energiewandlung Wind.....	9
4.2.2 Darstellung primäre Energiewandlung PV	9
4.3 Darstellung sekundäre Energiewandlung (Wind, Solar, Biomasse, Wasser, Geothermie).....	11

4.3.1	Darstellung sekundäre Energiewandlung Wind (ASM, ASM-Schlupfregelung, DASM, ASM/SM+Vollumrichter, SM)	11
4.3.1.1	Direkt gekoppelte Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer.....	11
4.3.1.2	Direkt gekoppelte Asynchronmaschine mit Schlupfregelung	12
4.3.1.3	Doppeltgespeiste Asynchronmaschine mit Frequenzumrichter im Läuferkreis.....	12
4.3.1.4	Synchron-/Asynchronmaschine mit Frequenzumrichter	13
4.3.1.5	Direkte Netzkopplung einer Synchronmaschine	14
4.3.2	Photovoltaik-Erzeugungseinheiten mit Wechselrichter	14
4.4	Zusatzkomponenten (Transformator, passive Kompensation, FACTS...).....	14
4.4.1	Transformator	14
4.4.2	Kabel.....	15
4.4.3	Passive Kompensation	16
4.4.4	Aktive Kompensation	16
4.5	Anforderungen für Standardmodelle (siehe Anhang B).....	16
5	Validierung von Simulationsmodellen (EZE)	17
5.1	Verfahren	17
5.2	Ergebnis	18
5.3	Bewertung.....	19
5.3.1	Bewertung für Typ 2 EZE.....	19
5.3.2	Bewertung für Typ 1 EZE	20
5.4	Modellvalidierung für nach TR 3 typgeprüfte EZE des Typ 1.....	21
5.4.1	Zusätzliches notwendiges Bewertungskriterium der Modellgüte in Bezug auf die LVRT-Stabilität.....	21
5.4.2	Übertragung von Modellen auf nicht nach TR 3 typgeprüfte EZE des Typ 1	22
5.5	Weitergehende Plausibilitätsprüfungen	22
5.5.1	Plausibilitätsprüfung EZE.....	22
5.5.2	Tauglichkeitsnachweis von EZE-Modellen für die Verwendung im Rahmen der Anlagenberechnung/-zertifizierung	23
5.6	Nachweis der Kraftwerkseigenschaften: Teststandort.....	23
5.7	Kraftwerkseigenschaften: Test und Messung.....	24
5.7.1	Tests	24
5.7.2	Sollwertvorgaben	24
5.7.3	Abtastrate, Genauigkeit, Anzahl der Phasen bei Strom & Spannungsmessung:	24
5.7.4	Messzeitraum.....	24
5.7.5	Vergleichszeitraum für die Validierung	24
5.8	Kraftwerkseigenschaften: Vergleichsverfahren.....	25
5.9	Übertragbarkeit der Validierung von EZE-Modellen.....	25
5.9.1	Vereinfachter Nachweis der Validierung des EZE-Modells.....	26

5.9.2	Übertragung auf andere EZE	26
5.9.3	Übertragung auf andere Netzverhältnisse	27
5.9.4	Übertragung in eine andere Simulationssprache	27
5.9.5	Übertragung in eine andere Abtaste	27
5.9.6	Übertragung von Modellteilen aus dem Peripherie-Teil	28
6	EZA: Grundlagen für die Modellierung	29
6.1	Komponenten zur EZA-Modellierung	29
6.1.1	EZE-Modell	29
6.1.2	EZA-Transformatoren	29
6.1.3	Kabel	29
6.1.4	Kompensationsanlagen	29
6.1.5	Externes Netz	30
6.1.6	EZA-Regelung	30
6.2	EZA-Regler	30
6.2.1	Umfang und Dokumentation des Modells des EZA-Reglers	30
6.2.2	Eingänge des Modells des EZA-Reglers	30
6.2.3	Ausgänge des Modells des EZA-Regler	31
6.2.4	Parameter des Modells des EZA-Reglers	31
6.2.5	Regelfunktionen des EZA-Modells	31
6.3	Anforderungen an die Validierung und Plausibilisierung des EZA-Reglers	31
6.4	Anforderungen an die Validierung für einen vereinfachten Nachweis für EZA mit EZA-Regler	31
6.4.1	Anforderungen an die stationäre Abweichung zwischen Simulation und Messung des EZA-Reglers für Wirk- und Blindleistung	32
6.4.2	Anforderungen an die Regeldynamik des Modells des EZA-Reglers für Wirk- und Blindleistung	33
6.4.3	Anforderungen an die stationäre Genauigkeit der Sollwerte des EZA-Reglers an die EZE bzw. für unterlagerte EZA	33
6.5	Schutzeinrichtungen der EZA	34
6.6	Beispielkonfigurationen von EZA	34
7	Erforderliche Nachweise der EZA	35
7.1	Wirkleistungsabgabe	35
7.1.1	Wirkleistung	35
7.1.2	Leistungsbegrenzter Betrieb durch den Netzbetreiber (Sollwertvorgabe)	35
7.1.3	Leistungsbegrenzung bei Netzfrequenzerhöhung	35
7.2	Blindleistungsbereitstellung	35
7.2.1	PQ-Diagramm	35
7.2.2	Blindleistung nach Sollwertvorgabe	36
7.2.3	Q-Übergangsfunktion	36
7.2.4	Q(U)-Regelung	37

7.3	Verhalten bei Störungen im Netz	37
7.4	Plausibilitätsprüfung der EZA	37
	Literaturverzeichnis	38
	Inhaltsverzeichnis Anhänge	40
Anhang A	Validierungsbericht (normativ)	45
Anhang B	Beispielmodelle und Anforderungen an Standardmodelle	47
Anhang C	Anmerkungen zur Simulation und Validierung	61
Anhang D	(Informativ): Mindestanforderungen an die Modelldokumentation und Vorschlag zur Gliederung (Anwendungsbeschreibung für den Zertifizierer)	64
Anhang E	(Informativ): Plausibilisierung der EZE-Modelle hinsichtlich EZA- Simulationstauglichkeit	66
Anhang F	Bestimmung des Beginns von transienten Bereichen	68
Anhang G	Modellierung, Validierung und Konformitätsnachweis netzgekoppelter Stromerzeugungsanlagen mit Synchrongenerator	69

Verwendete Abkürzungen

AC	Wechselstrom bzw. Wechselspannung AC (Alternating Current)
ADC	Analog-nach-Digital Converter
ASM	Asynchronmaschine
AVR	Automatic Voltage Regulator (Spannungsregler)
AWE	Automatische Wieder-Einschaltung bei Freileitungen nach Netzfehlern
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BDEW-MSR	BDEW Mittelspannungsrichtlinie „Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ [1]
BHKW	Blockheizkraftwerk: EZE mit Verbrennungsmotor, bei dem neben der elektrischen auch die thermische Energie genutzt wird.
BNetzA	Bundesnetzagentur
CISPR	Comité International Spécial Des Perturbations Radioélectriques
DASM	Doppeltgespeiste Asynchronmaschine
DC	Direct Current: Gleichstrom
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DKW	Dampfkraftwerk
DT	Dampfturbine
EB	Eigenbedarf
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
END	Ersatznetzdarstellung
EZA	Erzeugungsanlage: Eine oder mehrere EZE einschließlich aller zum Anschluss und Betrieb erforderlichen elektrischen Einrichtungen, entsprechend BDEW-MSR
EZE	Erzeugungseinheit, einzelne Einheit zur Erzeugung von elektrischer Energie, entsprechend BDEW-MSR
EZS	Erzeuger-Zählpeilsystem
FACTS	Flexible Alternating Current Transmission System
FGW	FGW e.V. - Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien
FLR	Frequenzgeführter Leistungsregler
FNN	Forum für Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN)
GENSET	Kombination von Generator und Antriebseinheit
GT	Gasturbine
GuD	Gas- und Dampfkraftwerk

HS-Netz	Hochspannungsnetz
HSS-Netz	Höchstspannungsnetz
IBN	Inbetriebnahme
IEC	International Electrotechnical Commission
IGBT	Insolated Gate Bipolar Transistors
ISO	International Organization for Standardization
LR	Leistungsregler
LVRT	Low-Voltage-Ride-Through bzw. Durchfahren des Spannungseinbruchs
MOSFET	MetalOxide Semiconductor Field-Effect Transistor
MPP	Maximum Power Point (Solarmodule werden normalerweise im Punkt der maximalen Leistungsabgabe betrieben).
MS	Mittelspannung
MS-Netz	Mittelspannungsnetz
MAE	mean absolute error between simulation and measurement [2]
ME	mean error between simulation and measurement [2]
MXE	maximum error between simulation and measurement [2]
NAP	Netzanschlusspunkt: Punkt an dem die Anlage an das Netz des Netzbetreibers angeschlossen ist
NAR	Netzanschlussregeln
NB	Netzbetreiber
NS	Niederspannung
NVP	Netzverknüpfungspunkt: Punkt an dem die Anlage an das Netz des Netzbetreibers angeschlossen ist (Definition gemäß SDL-WindV)
OEL	Over-Excitation-Limiter (Übererregungsbegrenzung des AVR)
OS	Oberschwingung
PSS	Power-System-Stabilizer
PVA	Photovoltaikanlage: Die PVA besteht aus Modulen, die in Abhängigkeit von der solaren Einstrahlung DC-Spannung liefern, sowie den Balance of System (BoS)- Komponenten, zu denen auch der Wechselrichter zählt. Die Einspeisung erfolgt immer über einen Wechselrichter. Der Wechselrichter prägt die elektrischen Eigenschaften der PVA ein. Für die Vermessung ist der Wechselrichter maßgeblich
SDLWindV	Verordnung zu Systemdienstleistungen durch Windenergieanlagen
SS	Sammelschiene
STATCOM	Static Synchronous Compensator
STBR	Stabilitätsreserve der Primärregelung
SVC	Static VAR Compensator
TAB	Technische Anschlussbedingungen
TC 2007	Transmission Code 2007 [3]

THC	Total Harmonic Current Distortion
TR	Technische Richtlinie
TR 3	Technische Richtlinie 3 der FGW [4]
TR 8	Technische Richtlinie 8 der FGW [5]
UEL	Under-Excitation-Limiter (Untererregungsbegrenzung des AVR)
UW	Umspannwerk
VDE FNN	Verband der Elektrotechnik Forum Netztechnik/ Netzbetrieb
VDN	Verband der Netzbetreiber
VKM	Verbrennungskraftmaschinen
VZS	Verbraucher-Zählpeilsystem
WEA	Windenergieanlage
WK	Wasserkraftwerk
WT	Wasserturbine
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.