



FAEE - Beschluss zur
Technischen Richtlinie
TR 4 Rev. 10

FGW e.V.

**Fördergesellschaft Windenergie
und andere Dezentrale Energien**

Oranienburger Straße 45
10117 Berlin

Tel. : +49 (0)30 / 3010 1505 0

info@wind-fgw.de
www.wind-fgw.de

Berlin, 18.03.2026

Fachausschuss Elektrische Eigenschaften (FAEE) – Beschluss vom 18.03.2026

Der Fachausschuss Elektrische Eigenschaften (FAEE) beschließt die Änderung der Revision 10 der Technischen Richtlinie Teil 4 (TR 4).

Dieses Beiblatt dient der kurzfristigen Umsetzung des FNN Hinweises „Technische Anforderungen an Netzbildende Eigenschaften inklusive der Bereitstellung von Momentanreserve“ in Version 2.1 von Januar 2026.

Die TR 4 Rev. 10 wird durch dieses Beiblatt optional ergänzt und kann nach wie vor eigenständig angewandt werden. Dieses Beiblatt ist anzuwenden auf EZE bzw. EZA mit netzbildenden Eigenschaften bzw. zur Bereitstellung von Momentanreserve.

i.A. des FA Elektrische Eigenschaften

Iyad Chami

Beiblatt 1 zur FGW TR 4 Rev. 10

Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und - anlagen, Speicher sowie deren Komponenten

18.03.2025

Herausgeber

FGW e.V.
Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien

Oranienburger Straße 45
10117 Berlin

Tel.	+49 (0)30 30101505-0
E-Mail	info@wind-fgw.de
Internet	www.wind-fgw.de

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.

Vorwort

Dieses Beiblatt dient der kurzfristigen Umsetzung des FNN Hinweises „Technische Anforderungen an Netzbildende Eigenschaften inklusive der Bereitstellung von Momentanreserve“ in Version 2.1 von Januar 2026 [1].

Die TR 4 Rev. 10 [2] wird durch dieses Beiblatt optional ergänzt und kann nach wie vor eigenständig angewandt werden. Dieses Beiblatt ist anzuwenden auf EZE bzw. EZA, die die Anforderungen des FNN Hinweises [1] erfüllen müssen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	4
Verwendete Abkürzungen	5
Symbole und Einheiten	6
Begriffe und Definitionen	7
1 Einleitung	8
2 Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen von EZE	9
3 Weitergehende Festlegungen	10
3.1 Einleitung	10
3.2 Erforderliche Anpassungen von Kapiteln der TR 4 Rev. 10 [2] (für Nachweis im Einzelnachweisverfahren)	13
3.2.1 Einleitung	13
3.2.2 Vorgehensweise bei der Modellierung (<i>E.4 in [2]</i>)	13
3.2.3 Validierung der EZE-/EZA-Modelle	14
3.2.4 Inhalt und Ausführung der Konformitätsstudie (<i>E.6 in [2]</i>)	15
3.3 Erforderliche Anpassungen von Plausibilitätstests nach TR 4 Rev. 10 [2]	16
3.3.1 Dynamische RMS Simulationsmodelle Nach 9.2 TR 4 Rev. 10 [2]	16
3.3.2 Plausibilitätsprüfung des Einzelmodells in Ergänzung zur Validierung nach 9.2.2.2 TR 4 Rev. 10 [2]	16
3.4 Ergänzende Plausibilitätstests (Typ-2-Einheiten)	20
3.4.1 Allgemeines	20
Literaturverzeichnis	21

Verwendete Abkürzungen

AWE	Automatische Wiedereinschaltung bei Freileitungen nach Netzfehlern
BHKW	Blockheizkraftwerk
EMT-Modell	Momentanwertmodell
EZA	Erzeugungsanlage
EZE	Erzeugungseinheit
EZSE	Netzbildende Erzeugungs- und Speichereinheiten
FGW	FGW e.V. - Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien
FNN	Forum für Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN)
FRT	Fault Ride-Through
GuD	Gas- und Dampfkraftwerk
NAR	Netzanschlussregeln
PRNB	Netzsicherheitsbasierte Primärregelung
RMS-Modell	Effektivwertmodell
TR	Technische Richtlinie
VDE	Verband der Elektrotechnik

Symbole und Einheiten

Symbol	Bedeutung	Einheit
P	Wirkleistung	W
P/P_{rE}	EZE-Vorfehler Wirkleistung	%
U_{II}/U_n	Spannungstiefe	%
$U_{I,12}/U_n$	Vorfehlerspannung	%
u_R	Ausgangssignal des Primärreglers	pu
y_{Ti}	Positionen der Stellglieder	pu
φ	Phasenwinkel	rad

Begriffe und Definitionen

Siehe Begriffe und Definitionen FAEE

1 Einleitung

An der Erstellung dieses Beiblattes 10.1 zur Technischen Richtlinie für Erzeugungseinheiten (EZE) und –anlagen Teil 4 Rev. 10 (TR 4) [2] haben Vertreter aus folgenden Gruppen mitgewirkt:

- Netzbetreiber.
- Hersteller von EZE und Komponenten.
- Anerkannte Institute und Hochschulen.
- Prüfinstitute.
- Zertifizierungsstellen.

Alle Beteiligten haben zum Ausdruck gebracht, dass dieses Beiblatt die TR 4 Rev. 10 [2] ergänzen soll.

Die in der TR 4 Rev. 10 [2] beschriebenen Anforderungen, Vorgaben und Erläuterungen gelten auch für dieses Beiblatt.

Ebenfalls gelten die in der TR 4 Rev. 10 [2] aufgeführten Abkürzungen, Symbole und Einheiten sowie Begriffe und Definitionen auch für dieses Beiblatt.

In Kapitel 2 dieses Beiblatts sind die Anforderungen an Modellierung und Validierung für Simulationsmodelle zum Nachweis der netzbildenden Eigenschaften von EZE aufgeführt. Weitergehende Festlegungen bezüglich Anpassungen der TR 4 Rev. 10 [2] auf Grundlage der Anforderungen des FNN Hinweises [1] werden in Kapitel 3 genannt. Darunter fallen insbesondere Ergänzungen bzw. Ersetzungen von Kapiteln zur Modellvalidierung, dem Einzelnachweisverfahren sowie der Plausibilisierung.

Ziel der Plausibilisierung ist es, das Modellverhalten für einen erweiterten Betriebsbereich innerhalb der Anforderungen der jeweils anzuwendenden Technischen Anschlussregeln zu überprüfen sowie sicherzustellen, dass das Modell funktionsfähig innerhalb der festgelegten Prüfbedingungen ist und in der Lage ist, nach einer Störung wieder in einen stabilen quasistationären Betriebszustand überzugehen. Ferner sollen numerische Instabilitäten (z. B. unerwartetes Aufschwingen) ausgeschlossen werden. Tests, die auf Anforderungen basieren, die außerhalb der jeweils anzuwendenden Technischen Anschlussregel liegen, sind lediglich hinsichtlich der Lauffähigkeit der Modelle zu bewerten. Beispielsweise wären TAR-konforme Schutzabschaltungen bei simulativen FRT-Tests in diesem Sinne zulässig. Bei gleichen Lastfluss-Ausgangszuständen müssen reproduzierbare Ergebnisse sichergestellt werden.

2 Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen von EZE

Die Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen von netzbildenden Einheiten sind in dem folgenden Dokument [1] festgelegt und zu befolgen:

Technische Anforderungen an Netzbildende Eigenschaften inklusive der Bereitstellung von Momentanreserve, Anforderungen und Nachweise für Netzbildende Einheiten. VDE FNN Hinweis. Aktuelle Version 2.1, Januar 2026.

Die Nachweisführung ist in den folgenden Abschnitten des VDE FNN Hinweises [1] beschrieben:

- Abschnitt 5.4: Nachweise netzbildende Typ 1 EZE
- Abschnitt 5.5: Nachweise netzbildende Einheiten (Typ 2 EZE, Speicher und regelbare Lasten)

Es sind aber auch die anderen Abschnitte von [1] sowie die Anhänge zu berücksichtigen.

Sobald eine neue Revision von [1] in Kraft tritt, so ist dieser zu folgen (Verweise auf den FNN Hinweis beziehen sich auf die Version 2.1 [1]).

3 Weitergehende Festlegungen

3.1 Einleitung

Für die Modellierung sowie die Durchführung der Modellvalidierung nach [1] sind in Ergänzung zu den Vorgaben und Anforderungen in [1] die in den folgenden Unterkapiteln genannten Vorgaben zu berücksichtigen. Sollten diese im Widerspruch zu Anforderungen und Vorgaben aus [3] stehen, so gelten die Vorgaben aus [1].

Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Kapitel der TR 4 Rev. 10 [2], die durch Vorgaben im FNN Hinweis Netzbildende Eigenschaften [1] ersetzt bzw. ergänzt werden. Alle Angaben beziehen sich ausschließlich auf **Typ 2 Einheiten/Anlagen** mit netzbildenden Eigenschaften (netzfolgende Typ-2-Einheiten/Anlagen im Anwendungsbereich der Technischen Anschlussregeln, sind von diesen Vorgaben nicht betroffen).

*Tabelle 1: Übersicht zu ergänzender bzw. zu ersetzender Vorgaben der TR 4 Rev. 10 für netzbildende Einheiten (**Typ-2-EZE, EZSE sowie Speicher**)*

TR 4 Rev. 10	Kriterium	FNN Hinweis [1]	Bemerkung
Kapitel 4	Anforderungen an die Modellierungssoftware/ Umgebung	5.5.3.7	Kapitel 4 der TR 4 Rev. 10 wird um die Vorgaben des FNN Hinweises in Abschnitt 5.5.3.7 (Anforderungen an die Simulationsumgebung und Toolunabhängigkeit) normativ ergänzt.
Kapitel 6	Aggregierte EZA-Modelle nach VDE-AR-N 4110/20		Kapitel 6 der TR 4 Rev. 10 kommt bei Anwendung des FNN Hinweises nicht zur Anwendung. ^{a)}
Kapitel 7	Bereitzustellender Lieferumfang	5.5.3.1 5.5.3.8 5.5.3.9	Kapitel 7 der TR 4 Rev. 10 wird um die Vorgaben des FNN Hinweises in Abschnitt 5.5.3.1 (Modellkategorien und Allgemeine Festlegungen) 5.5.3.8 (Herstellermodele zum Zweck der Zertifizierung) und 5.5.3.9 (Modelle zur Nutzung durch den Netzbetreiber) ergänzt.
Kapitel 7.2	Modelldokumentation	5.5.3.6.4	Kapitel 7.2 der TR 4 Rev. 10 wird um die Vorgaben des FNN Hinweises in Abschnitt 5.5.3.6.4 (Modelldokumentation) ergänzt.
Kapitel 8.2	Dynamische RMS-Simulationsmodelle	5.5.3.6.1 5.5.3.6.2	Kapitel 8.2 der TR 4 Rev. 10 kommt für netzbildende Einheiten nicht zur Anwendung. Stattdessen sind die Vorgaben nach Abschnitt 5.5.3.6.1 und 5.5.3.6.2 (Validierung der Simulationsmodelle) anzuwenden.
a) Aufgrund nicht vorliegender Erfahrungen bezüglich der unterschiedlichen Konstellationen aus netzbildenden und nicht netzbildenden Einheiten innerhalb einer Erzeugungsanlage werden über die Version 2.1 des FNN Hinweises keine aggregierten EZA-Modelle gefordert.			

Darüber hinaus sind einige nach TR 4 Rev. 10 [2] definierte Plausibilitätstests nicht für die nach [1] ausgeführten netzbildenden Typ-2-Einheiten anwendbar. Entsprechende Anpassungen der nach TR 4 Rev. 10 [2] definierten Plausibilitätstests sind in Kapitel 3.3 beschrieben. Zusätzlich für netzbildende Typ-2-Einheiten durchzuführende Plausibilitätstests sind in Kapitel 3.4 beschrieben.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht der Kapitel, die durch Vorgaben im FNN Hinweis Netzbildende Eigenschaften [1] bezogen auf die TR 4 Rev. 10 [2] ersetzt bzw. ergänzt werden. Alle Angaben beziehen sich ausschließlich auf **Typ-1-Einheiten/Anlagen (Einheiten mit Einheitenzertifikat)**, für welche der FNN Hinweis angewendet wird (Typ-1-Einheiten/Anlagen, die ausschließlich nach den VDE-Anwendungsregeln VDE-AR-N 41XX [3], [4], [5] angeschlossen werden, sind von diesen Vorgaben nicht betroffen).

*Tabelle 2: Übersicht zu ergänzender bzw. zu ersetzender Vorgaben der TR 4 Rev. 10 für netzbildende **Typ-1-Einheiten mit Einheitenzertifikat***

TR 4 Rev. 10	Kriterium	FNN Hinweis [1]	Bemerkung
Kapitel 6	Aggregierte EZA-Modelle nach VDE-AR-N 4110/20		Kapitel 6 kommt für Typ-1-Anlagen bei Anwendung des FNN Hinweises nicht zur Anwendung. ^{a)}
Kapitel 8.2.1.3	Dynamische RMS-Simulationsmodelle Validierung Über- & Unterfrequenzbereich (netz sicherheitsbasierte Primärregelung)	5.4.2.2	Kapitel 8.2.1.3 der TR 4 Rev. 10 kommt für die Validierung des Verhaltens bei Über- und Unterfrequenz für Typ-1-Einheiten bei Anwendung des FNN Hinweises [1] nicht zur Anwendung. Stattdessen sind die Vorgaben nach Abschnitt 5.4.2.2.2 [1] (Verhalten der PRNB entsprechend der Prüfung nach 5.4.3.3.2) anzuwenden.
a) Aufgrund nicht vorliegender Erfahrungen bezüglich der unterschiedlichen Konstellationen aus netzbildenden und nicht netzbildenden Einheiten innerhalb einer Erzeugungsanlage werden über die Version 2.1 des FNN Hinweises keine aggregierten EZA-Modelle gefordert.			

Darüber hinaus sind einige nach TR 4 Rev. 10 [2] definierte Plausibilitätstests nicht für die nach [1] ausgeführten netzbildenden Typ-1-Einheiten anwendbar. Entsprechende Anpassungen der nach TR 4 Rev. 10 [2] definierten Plausibilitätstests sind in Kapitel 3.3 beschrieben. Zusätzlich für netzbildende Typ-1-Einheiten durchzuführende Plausibilitätstests sind in Kapitel 3.4 beschrieben.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht der Kapitel, die durch Vorgaben im FNN Hinweis Netzbildende Eigenschaften [1] bezogen auf die TR 4 Rev. 10 [2] ersetzt bzw. ergänzt werden. Alle Angaben beziehen sich ausschließlich auf **Typ-1-Einheiten/Anlagen im Einzelnachweisverfahren**, für welche der FNN Hinweis angewendet wird (Typ-1-Einheiten/Anlagen, die ausschließlich nach den VDE-Anwendungsregeln VDE-AR-N 41XX [3], [4], [5] angeschlossen werden, sind von diesen Vorgaben nicht betroffen).

*Tabelle 3: Übersicht zu ergänzender bzw. zu ersetzender Vorgaben der TR 4 Rev. 10 für netzbildende **Typ-1-Einheiten im Einzelnachweisverfahren** nach diesem Beiblatt*

TR 4 Rev. 10	Kapitel	TR 4, Beiblatt	Bemerkung
E.4.1.2 (Einleitung)	Vorgehensweise bei der Modellierung	3.2.2.1.1.1	Die einleitenden Absätze des Kapitels E.4.1.2 werden ersetzt durch 3.2.2.1.1.1.

E.5 (Einleitung)	Validierung der EZE- /EZA-Modelle	3.2.3 (3.2.3.1)	Die einleitenden Absätze des Kapitels E.5 werden ersetzt durch 3.2.3.1.
E.5.1	Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Modellvalidierung	3.2.3.2	Kapitel E.5.1 wird ersetzt durch 3.2.3.2.
E.5.2.5	Dynamische Eigenschaften der Antriebseinheit	3.2.3.3.1	Kapitel E.5.2.5 wird ersetzt durch 3.2.3.3.1.
E.6.1	Umfang der Konformitätsstudien	3.2.4.1.1	Kapitel E.6.1 wird ergänzt um das Unterkapitel 3.2.4.1.1.
E.6.4.2.2	Nachweis der Wirkleistungs- Übergangsfunktion	3.2.4.2.1.1.1	Kapitel E.6.4.2.2 wird ergänzt um das Unterkapitel 3.2.4.2.1.1.1.

3.2 Erforderliche Anpassungen von Kapiteln der TR 4 Rev. 10 [2] (für Nachweis im Einzelnachweisverfahren)

3.2.1 Einleitung

Aus Gründen der Anwender- bzw. Leserfreundlichkeit, wurde für die von Ergänzungen bzw. Ersetzungen betroffenen Kapitel der TR 4 Rev. 10 [2] im Folgenden der Bestandtext übernommen und entsprechend ergänzt. Entsprechende Abweichungen sind in blauer Schrift gekennzeichnet.

3.2.2 Vorgehensweise bei der Modellierung (E.4 in [2])

3.2.2.1 MODELLABGRENZUNGEN (E.4.1 in [2])

3.2.2.1.1 MODELL DER ANTRIEBS- BZW. TURBINENEINHEIT (E.4.1.2 in [2])

3.2.2.1.1.1 Allgemeines (Ersetzt E.4.1.2 [2] (Einleitung))

Das Simulationsmodell der Antriebseinheit (Prime Mover/Turbine, Motor) muss folgenden, grundsätzlichen Kriterien folgen:

Für das regelkonforme dynamische Verhalten gemäß Netzanschlussbedingungen ist das Verhalten der Drehzahl auf Basis der Drehzahl- bzw. (markt- und netzsicherheitsbasierten) Primärregelung maßgeblich. Darzustellen ist ein Gesamtmodell, das die Stör- bzw. Führungsgrößen der Anlage, ausgehend von einem stationären Zustand, nach Abklingen der Einschwingvorgänge in einen erneuten stationären Zustand mit der geforderten Genauigkeit wiedergibt. Die Gültigkeit des Modells für die Betrachtung der Sekundärregelung ist damit auf diejenigen Fälle begrenzt, bei denen der Sekundärregler direkt auf den Primärregler wirkt. Nicht betrachtet werden somit die für die Netzstabilität weniger wichtigen Aspekte der langsam wirkenden Regelung von Dampfkesseln, innerhalb von thermischen Kraftwerken oder kombinierten Dampf- und Stromerzeugungsanlagen (BHKW, Industriekraftwerke, etc.).

Für den simulativen Nachweis der netzsicherheitsbasierten Primärregelung nach Abschnitt 4.1.2 [1] für Typ-1-EZE ist ein Simulationsmodell ggf. inkl. EZA-Regler für den Wirkleistungspfad einer EZE, sowie falls erforderlich für die EZA zu erstellen (z.B. bei GuD-Anlagen). Eingangsgrößen sind dabei Leistungs- und Drehzahlabweichungen. Die Ausgangsgröße des geregelten Stellglieds, d.h. der gesamten geregelten Antriebseinheit ist die mechanische Antriebsleistung.

Der grundsätzliche Prüfaufbau ist in Bild 7 [1] dargestellt. Hierbei ist die Last des Fiktiven Inselnetzes als konstant, d.h. frequenz- und spannungsunabhängig anzunehmen. Die Detailtiefe des Simulationsmodells ist dabei auf die Anforderungen der netzsicherheitsbasierten Primärregelung und der dabei einzuhaltenden Toleranzen nach FGW TR4, Rev. 10 E.5.2.1.1 [2] (Festlegungen für die Wirkleistungsabgabe) und FGW TR 8 Rev. 10 [6] im geschlossenen Regelkreis des Fiktiven Inselnetzes abzustellen. Dies gilt insbesondere auch für die Ausgangsgröße des Primärreglers. Falls für die Einhaltung der Modellgenauigkeit erforderlich, können ergänzend weitere Größen, wie Reglerausgang, Ventilstellung, Massenstrom, etc., in den Modellvergleich mit einbezogen werden.

Dieser Grundsatz ist für die jeweils betrachteten Erzeugertypen wie in den folgenden Kapiteln beschrieben umzusetzen.

Hinweis: Die Phrase „wie in den folgenden Kapiteln beschrieben ...“ bezieht sich auf die dem Kapitel E.4.1.2 der TR 4 Rev. 10 [2] untergeordneten Kapitel.

3.2.3 Validierung der EZE-/EZA-Modelle

3.2.3.1 ALLGEMEINES (ersetzt E.5 [2] (Einleitung))

Ersetze die Absätze 1 und 2 wie folgt:

Innerhalb des Verfahrens zum Nachweis der technischen Eigenschaften einer Typ-1-EZE bzw. EZA ist die vom Anlagenerrichter zur Verfügung gestellte Modelldarstellung anhand der gemäß Kapitel 7 zur TR 3 [7] sowie Abschnitt 5.4.3.3.3.2 im FNN Hinweis [1] ausgeführten Messungen an der betriebsbereiten Anlage durch Vergleich von Messung und Rechnung zu validieren und damit die ausreichende Modellgültigkeit zu bestätigen.

Der Umfang des Modells bestimmt sich durch die innerhalb der Konformitätsstudien festgelegten Nachweise. Dementsprechend sind die in diesem Kapitel beschriebenen Validierungsschritte zu wählen und anzuwenden.

Hinweis: Die Phrase „die in diesem Kapitel beschriebenen ...“ bezieht sich auf die in diesem Beiblatt aufgeführten Kapitel, wie auch die Kapitel (welche nicht durch dieses Beiblatt ersetzt wurden) der TR 4 Rev. 10 [2].

3.2.3.2 GRUNDSÄTZLICHE VORGEHENSWEISE BEI DER MODELLVALIDIERUNG (ersetzt E.5.1 [2])

Gemäß Kapitel 7 zur TR 3 [7] sowie Abschnitt 5.4.3.3.3.2 im FNN Hinweis [1] sind der zugelassenen Zertifizierungsstelle zum Zweck der Plausibilisierung des validierten Simulationsmodells folgende Modellunterlagen und zugehörige Messergebnisse zu übergeben:

- 1 Vollständiger Bericht über die per Messungen an der betriebsbereiten Anlage durchgeführten Nachweise gemäß anzuwendender Netzanschlussregeln. Dieser Bericht hat sich insbesondere auf die Durchführung und Auswertung der Messungen nach Kapitel 7 zur TR 3 [7] Kapitel 7.2.1 zu beziehen.
- 2 Übergabe der nach Kapitel 7 zur TR 3 [7], Kapitel 7.2.2 durchgeführten Messungen „Verhalten bei Störungen am Netz“ sowie der Vermessung nach Abschnitt 5.4.3.3.3.2 im FNN Hinweis [1] (Messtechnische Ermittlung des $P(f)$ -Verhaltens) in Berichtsform einschließlich der entsprechenden Messdateien. Hierbei ersetzt der Abschnitt 5.4.3.3.3.2 [1] das Kapitel 7.2.2.3.4 (Ermittlung der dynamischen Eigenschaften der Antriebseinheit) der TR 3 [7].
- 3 Bericht mit der auf Basis der unter Pkt. 2 genannten Messungen durchgeführten Validierung des Simulationsmodells als Bestandteil der Konformitätsstudie.
- 4 Alle notwendigen Unterlagen (wie Modelle, Parameter, usw.), die eine Prüfung durch die Zertifizierungsstelle ermöglichen.

Als Basis der gemäß Pkt. 3 durchgeführten Modellvalidierung sind die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Validierungsläufe durch Vergleich von Messung und Simulation einschließlich Bewertung der Modellgenauigkeit vorzulegen.

3.2.3.3 NACHWEIS DER MODELLEIGENSCHAFTEN (E.5.2 in [2])

3.2.3.3.1 DYNAMISCHE EIGENSCHAFTEN DER ANTRIEBSEINHEIT (ersetzt E.5.2.5 [2])

Die Validierung der dynamischen Eigenschaften der Antriebseinheit in Bezug auf das Verhalten bei Änderung von Führungsgrößen nach FNN Hinweis Abschnitt 5.4.3.3.3.2 [1] umfasst folgende Schritte:

- 1 Das Simulationsmodell der EZE bzw. EZA wird bzgl. der Wirkleistungsabgabe, der Drehzahl, der Blindleistungseinspeisung und der Generatorspannung auf den Startpunkt der Messungen initialisiert. Dabei ist zu bestätigen, dass die jeweiligen Zwischengrößen wie Ausgangssignal des

Primärreglers u_R und Positionen der Stellglieder y_{Ti} innerhalb der zulässigen Toleranzen liegen. Der Betriebsmodus der Generatorregelung wie auch der Regelung der Antriebseinheit werden entsprechend der Messbedingungen nach [FNN Hinweis Abschnitt 5.4.3.3.3.2.2 \[1\]](#) gewählt.

- 2 Ausgehend von dem stationären Zustand des Modells sind gemäß [FNN Hinweis Abschnitt 5.4.3.3.3.2.2 \[1\]](#) die Sprungantworten des Simulationsmodells bei Änderung der Sollwerte von Drehzahl bzw. Frequenz und Leistung zu ermitteln.
- 3 Die Simulation ist gemäß [FNN Hinweis Abschnitt 5.4.3.3.3.2.3 \[1\]](#) auszuwerten und entsprechend [Abschnitt 5.4.3.3.3.2.4 \[1\]](#) gemeinsam mit den Messungen und dem Toleranzband innerhalb von Diagrammen darzustellen.
- 4 Es ist zu prüfen, dass die gemessenen und mit dem Simulationsmodell erzielten Sprungantworten innerhalb der geforderten Toleranzen liegen. Hierbei wird der Betriebsbereich der Leistung auf den vermessenen Sprung beschränkt (wurde z.B. ein Leistungssprung von 5 % gemessen, so beträgt die Bezugsleistung 5 % von der Nennscheinleistung), die prozentualen Abweichungen sind hierauf zu beziehen. Ebenso ist dies für transiente Kenngrößen wie Eigenfrequenzen und Dämpfungen zu prüfen. [Die Bewertung der Abweichungen der Wirkleistungsabgabe zwischen Messung und Modellsimulation erfolgt auf Basis der Festlegungen nach FGW TR 4 Rev. 10, Kapitel E.5.2.1.1 \[2\] bzw. der jeweiligen aktualisierten Festlegungen in nachfolgenden Revisionen der TR 4.](#) Sollten einzelne Messpunkte oder größere Messbereiche außerhalb der geforderten Toleranzen liegen, so ist dieser Sachverhalt dahingehend zu bewerten, ob diese Abweichungen ggf. begründet zulässig sind, z. B. durch Änderungen der Prozesszustände vor bzw. nach der Turbine. Insbesondere sind auch die zu erwartenden Einflüsse der Ersatznetzdarstellung zu bewerten. [Es ist zu beachten, dass ggfls. verbleibende Abweichungen zwischen Messung und Simulationsmodell dahingehend zu bewerten sind, inwieweit sie für die Einhaltung der Anforderungen an die EZE innerhalb der vorgegebenen Toleranzen relevant sind.](#) Ferner muss die stationäre Beziehung der Wirkleistungsabgabe in Abhängigkeit der wirksamen Frequenzabweichung oder des effektiven Leistungssollwerts durch das Simulationsmodell mit einer Genauigkeit von 3 % bezogen auf den Nennwert der Wirkleistung P_{rE} abgebildet werden. Kommt ein PI-Leistungsregler zum Einsatz, so bezieht sich diese Anforderung auf das Ausgangssignal des Leistungsreglers.
- 5 Für den Fall, dass nicht nachvollziehbare Abweichungen verbleiben, kann durch eine Sensitivitätsbetrachtung bzgl. der wesentlichen Eigenschaften der EZE bzw. EZA unter Einbeziehung des Führungs- und Störverhaltens eine Validierung dahingehend erfolgen, dass die Auswirkungen auf das Gesamtverhalten der EZE bzw. EZA in Bezug auf die Anforderungen der NAR bewertet werden.

3.2.4 Inhalt und Ausführung der Konformitätsstudie ([E.6 in \[2\]](#))

3.2.4.1 UMFANG DER KONFORMITÄTSSTUDIE ([E.6.1 in \[2\]](#))

3.2.4.1.1 ANSCHLUSS NACH FNN HINWEIS NETZBILDENDE EIGENSCHAFTEN [1] ([neu als E.6.1.4 in \[2\]](#))

Bei Anschluss einer Typ-1-EZE/EZA im Einzelnachweisverfahren nach dem FNN Hinweis Netzbildende Eigenschaften [1], ist der Umfang der Konformitätsstudien, welcher sich grundsätzlich nach der jeweils anzuschließenden Technischen Anschlussregel, bzw. der Spannungsebene des Netzanschlusspunktes der EZE/EZA richtet, um den Nachweis der Netzsicherheitsbasierten Primärregelung (PRNB) gemäß den Anforderungen nach [Abschnitt 4.1.2 \[1\]](#) zu erweitern. Die Anforderungen an die PRNB ersetzen die Anforderungen an das Wirkleistungsverhalten bei Über- und Unterfrequenz sowie der Teilnetzbetriebsfähigkeit (der Begriff Teilnetzbetriebsfähigkeit wird derzeit in der TR 4 Rev. 10 nicht verwendet) entsprechend der jeweils anzuwendenden Technischen Anschlussregel vollumfänglich.

3.2.4.2 NACHWEIS DER EZE- /EZA-EIGENSCHAFTEN (*E.6.4 in [2]*)

3.2.4.2.1 NACHWEIS DER EZE- /EZA-REGLERFUNKTIONEN (*E.6.4.2 in [2]*)

3.2.4.2.1.1 Nachweis der Wirkleistungs-Übertragungsfunktion (*E.6.4.2.2 in [2]*)

3.2.4.2.1.1.1 Nachweis der Netzsicherheitsbasierten Primärregelung (neu als *E.6.4.2.2.6 in [2]*)

Bei Anschluss einer Typ-1-EZE/EZA im Einzelnachweisverfahren nach dem FNN Hinweis Netzbildende Eigenschaften [1], ersetzt dieses Kapitel den Nachweis nach Kapitel E.6.4.2.2.5 [2].

Der Nachweis der netzsicherheitsbasierten Primärregelung entsprechend der Anforderungen nach Abschnitt 4.1.2 [1] erfolgt grundsätzlich im Fiktiven Inselnetz. Der grundsätzliche Prüfaufbau ist in Bild 7 [1] dargestellt. Hierbei ist die Last des Fiktiven Inselnetzes als konstant, d.h. frequenz- und spannungsunabhängig anzunehmen. Der Nachweis erfolgt nach Abschnitt 5.4.3.3.3 [1].

3.3 Erforderliche Anpassungen von Plausibilitätstests nach TR 4 Rev. 10 [2]

3.3.1 Dynamische RMS Simulationsmodelle Nach 9.2 TR 4 Rev. 10 [2]

3.3.1.1 ALLGEMEINES

Die im Folgenden für dynamische RMS-Simulationsmodelle beschriebenen Plausibilisierungstests sind für das nach FNN Hinweis Netzbildende Eigenschaften [1] geforderte detaillierte RMS-Modell und das RMS-Typ-Modell durchzuführen.

3.3.2 Plausibilitätsprüfung des Einzelmodells in Ergänzung zur Validierung nach 9.2.2.2 TR 4 Rev. 10 [2]

Die im Kapitel 9.2.2.2 TR 4 Rev. 10 [2] beschriebenen Plausibilisierungstests (Nachweis des k-Faktors gemäß Tbl. 9-1) entfallen. Nicht davon betroffen sind die Kapitel 9.2.2.2.1 und 9.2.2.2.2 sowie die Tests P5.01-10, P1.06, P1.06.a, P4.06, P4.06.a, P4.09, P4.09.a, P5.09 und P5.09.a der Tbl. 9-1 (Überprüfung der korrekten Programmierung bei Erdschluss, zweiphasigen Einbrüchen und der Unabhängigkeit vom Spannungsphasenwinkel).

3.3.2.1 EINMALIGE SPANNUNGSEINBRÜCHE NACH 9.2.2.3.1 TR 4 REV. 10 [2] (TYP-2-EINHEITEN)

Zur Beurteilung der numerischen Stabilität des EZE-Modells und zur Abschätzung benötigter Rechenzeiten im Rahmen von EZA-Zertifizierungen sind einmalige Spannungseinbrüche entsprechend Tabelle 4 durchzuführen. Die Prüfungen nach Tabelle 4 sind für verschiedene Netzimpedanz-Werte durchzuführen. Die Netzimpedanzen sind dabei jeweils aus einer Netzkurzschlusscheinleistung in Höhe der dreifachen und zwölffachen Bemessungsscheinleistung der EZE bei einem R/X -Verhältnis von 0,1 zu ermitteln.

Tabelle 4: Einmalige Spannungseinbrüche für typische EZA mit kleinem Kurzschlussleistungsverhältnis (Ersetzt Tbl. 9-6 nach TR 4 Rev. 10 [2])

Test-Szenario (Leerlauffall, Fehlerstelle)					Testobjekteinstellungen (Simulationsmodell)	
Test-Nr.	Fehlerart	Spannungstiefe U_{II}/U_n in %	Vorfehler-Spannung $U_{I,12}/U_n$ in %	EZE-Vorfehler-Wirkleistung P/P_{rE} in %	EZE-Vorfehler-Blindleistung $\cos\varphi$ (berechnet)	SCR
P9.1	3-phasig	75	100	100	1	3
P9.2	3-phasig	30				3
P9.3	3-phasig	0				3
P10.1	3-phasig	75	90	100	0,95 kap.	12
P10.2	3-phasig	30				12
P10.3	3-phasig	0				12
P11.1	3-phasig	75	100	20	1	3
P11.2	3-phasig	30				3
P11.3	3-phasig	0				3
P12.1	3-phasig	75	110	20	0,95 ind.	12
P12.2	3-phasig	30				12
P12.3	3-phasig	0				12
P13.1	2-phasig	75	90	100	0,95 kap.	3
P13.2	2-phasig	30				3
P13.3	2-phasig	0				3
P14.1	2-phasig	75	100	100	1	12
P14.2	2-phasig	30				12
P14.3	2-phasig	0				12
P15.1	2-phasig	75	110	20	0,95 ind.	3
P15.2	2-phasig	30				3
P15.3	2-phasig	0				3
P16.1	2-phasig	75	100	20	1	12
P16.2	2-phasig	30				12
P16.3	2-phasig	0				12

Bewertungskriterien: Ein positives Ergebnis liegt vor, wenn jede Simulation ohne Fehlermeldungen (Abbruch der Simulation) durchläuft und keine Instabilitäten zeigt. Ferner müssen die Wirk- und Blindleistungsverläufe aller EZE nach dem Kurzschluss wieder auf ihre stationären Ausgangswerte zurückkehren. Das korrekte Modellverhalten sollte generell qualitativ sowie stichprobenartig quantitativ an einzelnen EZE für einzelne Versuche geprüft werden.

3.3.2.2 NACHBILDUNG EINER ERFOLGLOSEN AWE NACH 9.2.2.3.2 TR 4 REV. 10 [2] (TYP-2-EINHEITEN)

Die Nachbildung einer erfolglosen AWE orientiert sich am Spannungsverlauf wie in Abbildung 1 dargestellt.

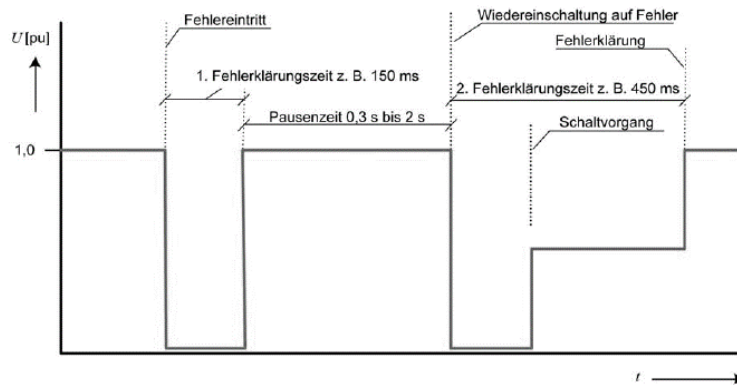


Abbildung 1: Zeitverlauf der Spannung zur Nachbildung einer erfolglosen AWE (Bild B.6 [3])

Sofern in der jeweils anzuwendenden Netzanschlussregel gefordert, sind erfolglose AWE entsprechend Tabelle 5 durchzuführen. Die Netzimpedanz ergibt sich aus einer Netzkurzschlussleistung in Höhe der dreifachen Bemessungsscheinleistung der EZA bei einem R/X -Verhältnis von 0,1.

Tabelle 5: Nachbildung einer erfolglosen AWE für typische EZA mit kleinem Kurzschlussleistungsverhältnis (Ersetzt Tbl. 9-7 nach TR 4 Rev. 10 [2])

Test-Szenario (Leerlauf, Fehlerstelle)					Testobjekteinstellungen (Simulationsmodell)
Test-Nr.	Fehlerart	Spannungstiefe U_{ll}/U_n in %	Vorfehler-Spannung $U_{l,12}/U_n$ in %	EZE-Vorfehler-Wirkleistung P/P_{rE} in %	EZE-Vorfehler-Blindleistung $\cos\varphi$ (berechnet)
P17.1	3-phasig	50,0 50,0 75,0	100	100	1
P17.2	3-phasig	30,0 30,0 50,0	100	100	1
P17.3	3-phasig	0 0 20,0	100	100	1
P18.1	2-phasig	30,0 30,0 50,0	100	100	1
P18.2	2-phasig	0 0 30,0	100	100	1

Bewertungskriterien: Ein positives Ergebnis liegt vor, wenn jede Simulation ohne Fehlermeldungen (Abbruch der Simulation) durchläuft und keine Instabilitäten zeigt. Ferner müssen die Wirk- und Blindleistungsverläufe aller EZE nach dem Kurzschluss wieder auf ihre stationären Ausgangswerte zurückkehren. Die korrekte Umsetzung der jeweils anzuwendenden Netzanschlussregel sowie des FNN Hinweises Netzbildende Eigenschaften [1] muss zu erkennen sein und diese muss im Einklang mit den übrigen Herstellererklärungen stehen.

3.3.2.3 WIRKLEISTUNGSREDUKTION BEI ÜBERFREQUENZ NACH 9.2.2.4 TR 4 REV. 10 [2]

Plausibilisierung des unbeschränkten Stellbereichs (Fiktives Inselnetz)

Es sind Plausibilisierungstests in der Fiktiven Insel (siehe hierzu Abschnitt 5.5.4.2 [1]) durchzuführen. Es sind unter Berücksichtigung der nach Tabelle 14 [1] definierten Arbeitsbereiche verschiedene Arbeitspunkte zu überprüfen. Für diese sind jeweils Lastsprünge unter Berücksichtigung der Amplitude des unbeschränkten Stellbereichs nach Tabelle 14 [1] zu simulieren.

Plausibilisierung des beschränkten Stellbereichs (Netzparallelbetrieb)

Die Plausibilisierung des Verhaltens bei Überfrequenz nach Kapitel 9.2.2.4 TR 4 Rev. 10 [2] ist verpflichtend für Einheiten im Anwendungsbereich der VDE-AR-N 4110, 4120 und 4130 und hat nach Kapitel 9.2.2.4.1 TR 4 Rev. 10 [2] zu erfolgen. Hierbei ist das Verhalten im beschränkten Stellbereich der netzsicherheitsbasierten Primärregelung auszuwerten insbesondere in Bezug auf die Kennwerte nach Tabelle 15 [1]. Es sind unter Berücksichtigung der nach Tabellen 14 und 15 [1] definierten Arbeitsbereiche verschiedene Arbeitspunkte zu überprüfen.

Plausibilisierung bei Übergang vom unbeschränkten in den beschränkten Stellbereich und umgekehrt (Fiktives Inselnetz)

Es ist das Verhalten beim Übergang vom unbeschränkten in den beschränkten Stellbereich und umgekehrt zu plausibilisieren. Hierbei ist der Prüfling mit einer Störleistung zu beaufschlagen, die die Amplitude des unbeschränkten Stellbereichs nach Tabelle 14 [1] leicht überschreitet aber im Fiktiven Inselnetz stabilisiert werden kann (Aufgrund der Störleistung darf hierbei die Frequenz im Fiktiven Inselnetz nicht aus den definierten Frequenzgrenzen hinauslaufen).

Bewertungskriterien: Ein positives Ergebnis liegt vor, wenn das Modellverhalten dem geforderten Verhalten entspricht. Ferner muss jede Simulation ohne Fehlermeldungen (Abbruch der Simulation) durchlaufen werden, es dürfen keine Instabilitäten auftreten und der Frequenzverlauf muss ein gedämpftes Verhalten aufweisen.

3.3.2.4 WIRKLEISTUNGSREDUKTION BEI ÜBERFREQUENZ NACH 9.2.3.4 TR 4 REV. 10 [2] (TYP-1-EINHEITEN)

Es gelten die Vorgaben des Kapitels 3.3.2.3.

3.3.2.5 DYNAMISCHE EMT SIMULATIONSMODELLE FÜR ELEKTROMAGNETISCHE VORGÄNGE NACH 9.3 TR 4 REV. 10 [2]

3.3.2.5.1 PLAUSIBILISIERUNGSPRÜFUNG DES EINZELMODELLS IN ERGÄNZUNG ZUR VALIDIERUNG NACH 9.3.1.1 TR 4 REV. 10 [2] (TYP-2-EINHEITEN)

Die Prüfungen nach Kapitel 9.2 der TR 4 Rev. 10 [2] sind - unter Berücksichtigung der in diesem Beiblatt für Kapitel 9.2 definierten Ergänzungen/Abweichungen nach Kapitel 3.3.1 - vollständig durchzuführen.

3.3.2.5.2 PLAUSIBILITÄTSTEST FÜR EZA-KONFIGURATIONEN (UNABHÄNGIGKEITEN) NACH 9.3.1.2 TR 4 REV. 10 [2]

Dieser Test erfolgte bereits im Rahmen des Nachweises der Netzparallelbetriebsfähigkeit nach [1].

Bewertungskriterien: Ein positives Ergebnis liegt vor, wenn im Rahmen des Nachweises der Netzparallelbetriebsfähigkeit nach [1] das Modellverhalten der jeweiligen EZE entsprechend der Vorfehlereinstellungen unterschiedlich ist. Ferner muss jede Simulation ohne Fehlermeldungen (Abbruch der Simulation) durchlaufen werden. Weitere über den FNN Hinweis hinaus gehende Bewertungen entfallen.

3.3.2.5.3 WIRKLEISTUNGSREDUKTION BEI ÜBERFREQUENZ NACH 9.3.1.4 TR 4 REV. 10 [2] (TYP-2-EINHEITEN)

Es gelten die Vorgaben des Kapitels 3.3.2.3.

3.4 Ergänzende Plausibilitätstests (Typ-2-Einheiten)

3.4.1 Allgemeines

Die im Folgenden beschriebenen Plausibilisierungstests sind für das nach FNN Hinweis Netzbildende Eigenschaften [1] geforderte detaillierte RMS-Modell, das RMS-Typ-Modell wie auch das EMT-Modell der netzbildenden Typ-2-Einheiten durchzuführen.

3.4.1.1 PLAUSIBILISIERUNG DER MEHRFACHINSTANZIERBARKEIT UND INTEROPERABILITÄT

Es ist durch Plausibilisierungstests nach diesem Kapitel nachzuweisen, dass beliebig viele Instanzen des Modells derselben Einheit unabhängig voneinander parallel ausführbar sind, und dass Einheiten-Modelle (auch DLL-basierte) mehrfach instanzierbar sind.

Die Plausibilisierung dessen erfolgt auf Basis der Prüfung 2 des Abschnitts 5.5.7.10 des FNN Hinweises Netzbildende Eigenschaften [1] unter Verwendung von mindestens zwei Instanzen des detaillierten RMS-Modells.

Bewertungskriterien: Ein positives Ergebnis liegt vor, wenn alle Modellinstanzen stabil und fehlerfrei parallel betrieben werden können. Ferner muss jede Simulation ohne Fehlermeldungen (Abbruch der Simulation) durchlaufen werden, es dürfen keine numerischen Instabilitäten auftreten.

Literaturverzeichnis

- [1] VDE FNN, „Technische Anforderungen an Netzbildende Eigenschaften inklusive der Bereitstellung von Momentanreserve, Anforderungen und Nachweise für Netzbildende Einheiten,“ *VDE FNN Hinweis*, Version 2.1, Januar 2026.
- [2] FGW e.V., „Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten und -anlagen, Teil 4: Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie deren Komponenten,“ Rev. 10, 05.04.2022.
- [3] VDE (FNN), „VDE-AR-N 4110 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung),“ Berlin, November 2023.
- [4] VDE (FNN), „VDE-AR-N 4120 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Hochspannung),“ Berlin, November 2018.
- [5] VDE (FNN), „VDE-AR-N 4130 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Höchstspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Höchstspannung),“ Berlin, November 2018.
- [6] FGW e.V., Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten und – anlagen, Teil 8: Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Stromnetz, Berlin, Rev. 10, 07.03.2025.
- [7] FGW e.V., Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten und -anlagen, Teil 3: Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz, Berlin, Rev. 26, 05.04.2022.