



FAEE - Beschluss zur
Technischen Richtlinie
TR 3 Rev. 26

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, 16. Dezember 2025

Fachausschuss Elektrische Eigenschaften (FAEE) – Beschluss vom 16.12.2025

Der Fachausschuss Elektrische Eigenschaften (FAEE) beschließt die Änderung der Revision 26 der Technischen Richtlinie Teil 3 (TR 3).

Das Beiblatt 2 ergänzt die FGW TR 3 Rev. 26 um den messtechnischen Nachweis der elektrischen Eigenschaften von netzbildenden Einheiten zur Umsetzung des FNN-Hinweises "Technische Anforderungen an Netzbildende Eigenschaften inklusive der Bereitstellung von Momentanreserve". In diesem Beiblatt sind dazu die Anforderungen für ein Prüfverfahren zum messtechnischen Nachweis der netzbildenden Eigenschaften inklusive der Bereitstellung von Momentanreserve aufgeführt sowie weitergehende Festlegungen und Erläuterungen zu Verfahren genannt.

i.A. des FA Elektrische Eigenschaften

Simon Borsutzki

Beiblatt 2 zur FGW TR 3 Rev. 26

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

16.12.2025

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.

Beiblatt 2 zur FGW TR 3 Rev. 26

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Messtechnischer Nachweis der netzbildenden Eigenschaften von netzbildenden Einheiten.....	5
3	Weitergehende Festlegungen	6
3.1	Abstraten.....	6
3.2	Unsicherheitsbetrachtungen.....	7
4	Literaturverzeichnis.....	8
	Anhang A: Hinweise zu den Testverfahren (informativ)	9

1 Einleitung

An der Erstellung dieses Beiblattes 26.2 zur Technischen Richtlinie für Erzeugungseinheiten (EZE) und –anlagen Teil 3 Rev. 26 (TR 3) [1] 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 3 Rev. 26 [1] ergänzen soll.

Die in der TR 3 Rev. 26 [1] beschriebenen Anforderungen, Vorgaben und Erläuterungen, insbesondere auch die Kapitel 1 (Einleitung), Kapitel 2 (Anwendungsbereich) und Kapitel 3 (Anforderungen) gelten auch für dieses Beiblatt, soweit sie nicht durch den FNN-Hinweis "Technische Anforderungen an Netzbildende Eigenschaften inklusive der Bereitstellung von Momentanreserve" in der Version 2.0 [3], neuere Ausgaben dieses FNN-Hinweises oder durch dieses Beiblatt ersetzt oder ergänzt werden. Ebenfalls gelten die in der TR 3 Rev. 26 [1] aufgeführten Abkürzungen, Symbole und Einheiten sowie Begriffe und Definitionen auch für dieses Beiblatt.

Dieses Beiblatt ergänzt die TR 3 [1] um den messtechnischen Nachweis der elektrischen Eigenschaften von netzbildenden Einheiten. In Kapitel 2 dieses Beiblatts sind dazu die Anforderungen für ein Prüfverfahren zum messtechnischen Nachweis der netzbildenden Eigenschaften von netzbildenden Einheiten aufgeführt. Weitergehende Festlegungen werden in Kapitel 3 und Erläuterungen zu Verfahren im Anhang genannt.

2 Messtechnischer Nachweis der netzbildenden Eigenschaften von netzbildenden Einheiten

Die durchzuführenden messtechnischen Nachweise zur Ermittlung der elektrischen Eigenschaften von netzbildenden Einheiten sind in dem folgenden Dokument [3] festgelegt:

Technische Anforderungen an Netzbildende Eigenschaften inklusive der Bereitstellung von Momentanreserve, Anforderungen und Nachweise für Netzbildende Einheiten. VDE FNN Hinweis. Aktuelle Version 2.0, Mai 2025.

Die durchzuführenden messtechnischen Prüfungen, Auswertungen und Darstellungen sind in folgenden Abschnitten des VDE FNN Hinweises [3] beschrieben:

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

Das Dokument [3] ist im Ganzen zu berücksichtigen, inklusive etwaiger Anhänge und Ergänzungen.

Sobald eine neue Revision von [3] in Kraft tritt, so ist dieser neuen Revision bei der Ermittlung der messtechnischen Nachweise zu folgen.

Die Hinweise in Anhang A beziehen sich auf die Testverfahren nach Version 2.0 des FNN-Hinweises [3]. Sollte eine neuere Version des FNN-Hinweises in Kraft sein, so ist den Vorgaben dieser neuen Version zu folgen und nur zu den Punkten, wo die neue Version keine Angaben zu den Hinweisen enthält, können die Hinweise gemäß Anhang A sinngemäß angewendet werden.

3 Weitergehende Festlegungen

Für die messtechnischen Nachweise nach [3] oder einer aktuelleren Version sollen zusätzlich zu den dort genannten Vorgaben auch die in den folgenden Unterkapiteln beschriebenen Punkte berücksichtigt werden. Wenn diese Punkte im Widerspruch zu den Anforderungen aus [3] oder der neueren Version stehen, gelten die Vorgaben aus [3] bzw. der neueren Version.

3.1 ABTASTRATEN

Folgende Mindestabtastraten der Messwerte sind gefordert:

	Abschnitt nach [3]	Spannungen, Leiterströme	Soll-, Ist-wertsignale	Externe Signale ¹	Digitale Bussignale
Nachweise zur Anlaufzeitkonstante	5.4.4	Gemäß TR 3 Kapitel 7.1.4.2			
Nachweis der Netzsicherheitsbasierten Primärregelung	5.4.5	≥10 kHz	≥10 kHz	≥1 Hz	
Nachweise im Fiktiven Inselnetzbetrieb	5.5.4	≥10 kHz	≥10 kHz	≥1 Hz	20 Hz
Nachweis zur Winkelsprungleistung	5.5.5.3	≥10 kHz	≥10 kHz	≥1 Hz	
Nachweis der wirksamen Impedanz	5.5.5.4	≥3 kHz	≥3 kHz	≥1 Hz	
Nachweis der Robustheit und Spannungsregelung bei kurzzeitigen Über- und Unterspannungseignissen	5.5.5.6.3	≥10 kHz	≥10 kHz	≥1 Hz	
Nachweis der Dämpfung von Frequenz-Leistungspendelungen	5.5.5.8	≥3 kHz	≥3 kHz	≥1 Hz	
Nachweis der Anlaufzeitkonstanten T_A sowie der Momentanreserveleistung und -Energie	5.5.5.9	≥10 kHz	≥10 kHz	≥1 Hz	
Nachweis der Eigenschaften des Verhaltens bei Über- und Unterfrequenz im beschränkten Stellbereich	5.5.5.10	≥3 kHz	≥3 kHz	≥1 Hz	

Tbl. 3.1: Anforderungen an Mindestabtastraten

¹Die Abtastrate ist so zu wählen, dass eine ausreichende zeitliche Auflösung des Signals eine Auswertung ermöglicht.

3.2 UNSICHERHEITSBETRACHTUNGEN

Für die Mess- und Prüftechnik (ohne Strom- und Spannungswandler) einschließlich des verwendeten Auswerteverfahrens wird die Einhaltung der Unsicherheiten gemäß Tab. 3.2 bzw. Tab. 7.1 der TR 3 Rev. 26 gefordert. Zusätzlich werden folgende maximale Unsicherheiten (ohne Strom- und Spannungswandler) für den Erweiterungsfaktor $k = 2$ nach ISO 21748 [7] gefordert:

	Unsicherheit (Erweiterungsfaktor $k = 2$)
Anlaufzeitkonstante T_A	Typ 1: 10 % vom ermittelten Wert Typ 2: 5 % vom ermittelten Wert
Dämpfungsmaß D	Empfehlung: 10 % vom ermittelten Wert
Frequenz f (Messung)	10 mHz

Tbl. 3.2: Anforderungen an Unsicherheiten

Anmerkung: Die Unsicherheiten für Leistungen, Energie, Impedanzen leiten sich aus den Unsicherheiten der Strom- und Spannungsgrößen ab.

Anmerkung: Die angegebene Unsicherheit für die Frequenz f weicht von der bisherigen Anforderung an die Unsicherheit der Frequenz in der FGW TR 3 [1] ab, da nach dem FNN-Hinweis [3] die Frequenz mit höherer Dynamik und kürzerer Erfassungszeit bestimmt wird.

Anmerkung: Die angegebene Unsicherheit für das Dämpfungsmaß D ist als Empfehlung gegeben, weil noch Erfahrungswerte ausstehen, die z. B. in einem Ringversuch gewonnen werden sollen.

4 Literaturverzeichnis

- [1] 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, Rev. 26, 05.04.2022
- [2] Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten, -anlagen und Speicher sowie für deren Komponenten, Teil 8: Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Stromnetz, Rev. 10, 07.03.2025.
- [3] Technische Anforderungen an Netzbildende Eigenschaften inklusive der Bereitstellung von Momentanreserve, Anforderungen und Nachweise für Netzbildende Einheiten. VDE FNN Hinweis. Version 2.0, Mai 2025.
- [4] VDE (FNN), VDE AR-N 4130 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Höchstspannungsnetz und deren Betrieb (TAR-HÖS), Berlin, November 2018.
- [5] VDE (FNN), VDE AR-N 4120 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz und deren Betrieb (TAR-HS), Berlin, November 2018.
- [6] VDE (FNN), VDE AR-N 4110 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR-MS), Berlin, November 2023.
- [7] ISO, 21748:2017-04: Leitfaden zur Verwendung der Schätzwerte der Wiederholpräzision, der Vergleichpräzision und der Richtigkeit beim Schätzen der Messunsicherheit, April 2017.

Anhang A: Hinweise zu den Testverfahren (informativ)

Die im Folgenden mit * markierten Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise werden in der Version 2.1 des FNN-Hinweises berücksichtigt und werden nach Veröffentlichung der Version in diesem FGW-Beiblatt obsolet.

Definitionen:

Zusätzlich zu den im FNN-Hinweis [3] angegebenen Definitionen können folgende Definitionen verwendet werden:

$U_{1,End}$	Stationärer Endwert der Mitsystemspannung nach Spannungswiederkehr
Netzbildende Einheit	Erzeugungseinheit (EZE), Speicher (EZSE) oder regelbare Bezugseinheit (rBE), die über netzbildende Eigenschaften verfügt
Index ref	Referenz
P_M	Eingefrorene Wert der Wirkleistung bei Überschreitung von 50,2 Hz oder Unterschreitung von 49,8 Hz
PRNB	Netzsicherheitsbasierte Primärregelung

Allgemein gilt:

Bei Vorgabe eines initialen $\cos \varphi$ oder einer Blindleistung sowie Betrachtung der netzbildenden Einheit sollte die Blindleistung der netzbildenden Einheit dieser Vorgabe entsprechen. Das bedeutet, die Sollwertvorgabe für die netzbildenden Einheit über z. B. U_{soll} bzw. U_{ref} ist so zu wählen, dass die Blindleistung am Ausgang der netzbildenden Einheit initial der Vorgabe entspricht.

* Wenn bei den messtechnischen Prüfungen ein stationärer Endwert zu ermitteln ist, aber kein Verfahren in dem spezifischen Prüfpunkt zur Ermittlung des stationären Endwertes gegeben ist, so kann die Definition des stationären Endwertes aus der TR 3 herangezogen werden, sofern diese im spezifischen Fall anwendbar ist. Generell gilt ein stationärer Zustand als erreicht, wenn die Amplituden der Schwankungen in der Tendenz nicht mehr zunehmen.

Zu 5.4 Netzbildende Typ-1-Einheiten

* Bei messtechnischen Untersuchungen sollten die in TR 3 Rev. 26 Kapitel 3 festgelegten allgemeinen Anforderungen an Messaufbau /-technik und Prüfbedingungen (Kapitel 3.2.1 - 3.2.3 bzw. Kapitel 7.1.3 bis 7.1.5) berücksichtigt werden.

Zu 5.4.5.2 Messtechnischer Nachweis (Typ-Prüfung) im Rahmen der Einheitenzertifizierung

* Es ist zu empfehlen, die Schalterstellung S_{Netz} (Bild 6 des FNN-Hinweises [3]) messtechnisch zu erfassen sowie einen zusätzlichen Messpunkt am Netzübergabepunkt oder an der Last vorzusehen.

* Eine eventuell vorhandene Regelung der Leistung der Lastbank darf die Regelung der netzbildenden Einheit nicht beeinflussen. Die Lastbank sollte sich während der Messdauer möglichst passiv verhalten. Bei einer passiven ohmschen Lastbank ist zu beachten, dass sich die Leistung der Lastbank quadratisch mit der Spannung ändert und auch durch die Temperatur beeinflusst wird.

* Hinweis: Die Wirkleistung wird in der Fiktiven Insel weitestgehend durch die Lastbank eingepreßt. Ein stationärer Zustand ist an den geringer werdenden Schwankungen in der Frequenz zu erkennen.

* Falls bei Messung 1 bzw. 2 ein nichtlineares Einschwingverhalten der netzbildenden Einheit auftritt, das zu einer Dämpfung führt, die nicht konstant ist, aber insgesamt der Einschwingvorgang eine Dämpfung aufweist, so kann das Dämpfungsmaß aus dem Mittelwert von mehreren Amplitudenverhältnissen bezogen auf die Differenz von zwei aufeinanderfolgenden Extrema (eines Maximums in Bezug auf das darauffolgende Minimum) bestimmt werden. Da in der Regel der Einfluss der Nichtlinearität beim ersten Frequenzminimum bzw. -maximum am stärksten auftritt, kann dieses erste Frequenzminimum oder -maximum bei der Ermittlung des Dämpfungsmaßes unberücksichtigt bleiben.

Messung 1:

* Die Messung sollte mindestens 10 s vor der Umschaltung vom Netzparallelbetrieb in den Inselbetrieb starten und frühestens 30 s nach Erreichen des stationären Arbeitspunkts (Einschwingvorgang abgeschlossen) enden.

Es ist zu berücksichtigen, dass bei der Dämpfung nichtlineare Effekte auftreten können, so dass das Dämpfungsverhalten im Zeitverlauf nicht konstant ist und damit vom Verlauf in Bild 13 des FNN-Hinweises [3] abweichen kann.

* Es wird empfohlen, die Auswahl der zu bewertenden Amplitudenmaxima mit dem Hersteller abzustimmen. Insgesamt muss ein dämpfendes Verhalten nachgewiesen werden, wobei eine temporäre Verletzung des Dämpfungskriteriums für einzelne Amplituden zugelassen sein sollte.

Messung 2:

* Die Messdauer pro Stufe sollte mindestens 30 s betragen, dabei muss sichergestellt sein, dass die Frequenz am Ende der Stufe einer der Statik entsprechenden Zielfrequenz entspricht.

* Der Test kann bei einer Frequenz oberhalb von 50 Hz gestartet werden, damit während des Tests eine Unterfrequenzabschaltung vermieden wird.

* Zu den Stufenhöhen sollte berücksichtigt werden, dass z. B. bei einer Stufenhöhe von 10 % P_{binst} die Leistung am Ende der letzten Stufe 90 % P_{binst} betragen soll, also z. B. bei Gasturbinen > 2 MW die folgenden Stufen: 55 %, 65 %, 75 %, 85 %, 90 % P_{binst} .

* Beim Durchfahren des Totbandes wird das P_M ggfs. neu bestimmt. Dadurch wird sich ggfs. die Frequenz / Leistungskennlinie ändern.

Messung 3:

* Entsprechend des FNN-Hinweises ist der vorgegebene Sollwert der simulierten Frequenz mit einer Toleranz von ± 10 mHz einzuhalten. Zu beachten ist, dass auch die Netzfrequenz geringfügig schwanken kann. Diese Schwankung ist bei der Bewertung zu berücksichtigen und von der Toleranz des simulierten Signals zu unterscheiden. Neben der simulierten Frequenz sollte ebenfalls die Netzfrequenz während des gesamten Tests erfasst werden.

* Es wird empfohlen, bei der Rückkehr zur Nennfrequenz die identischen Frequenzstufen wie bei Typ-2 netzbildenden Einheiten (siehe: Zu 5.5.5.10 PRNB im beschränkten Stellbereich) vorzugeben.

Messung 4:

* Auch wenn im Abschnitt 5.4.5.3.4.1 des FNN-Hinweises [3] geschrieben steht, dass die Tests nach Abschnitt 5.4.5.2 im Einzelnachweisverfahren entfallen können, so gilt dieses nur für die Messungen 1

bis 3 in Abschnitt 5.4.5.2 des FNN-Hinweises. Die Messung 4 ist nicht nur im Rahmen der Einheitenzertifizierung, sondern auch im Einzelnachweisverfahren durchzuführen.

* Zur Ermittlung des wirksamen Totbandes kann das Verfahren in TR 3 Rev. 26, Kapitel 7.2.2.3.3 verwendet werden.

Zu 5.4.5.3.2 $P(f)$ -Verhalten für die Modellvalidierung im Rahmen des Einzelnachweisverfahrens

Hinweis zu den Definitionen für Δf (3.1.24.11 bis 3.1.24.14):

* Der Prüfling befindet sich am starren Netz mit entsprechend konstanter Netzfrequenz. Es liegt eine Regelungsstruktur wie im Bild FNN Hinweis Anhang A.II dargestellt vor.

* Zur Leistungserhöhung muss entsprechend das $\Delta f = f_{\text{soll}} - f_{\text{ist}}$ positiv werden, womit sich zwei Optionen ergeben:

- a) Der Sollwert f_{soll} wird erhöht, womit bei konstantem f_{ist} (mit $f_{\text{ist}} < f_{\text{soll}}$) Δf positiv größer wird
- b) Der Ist-Wert f_{ist} wird manipuliert und reduziert, womit bei konstantem f_{soll} (mit $f_{\text{ist}} < f_{\text{soll}}$) Δf positiv größer wird.

* Entsprechend umgekehrt ist es bei der Leistungsreduktion, wobei Δf negativ werden muss, zur Leistungsreduktion:

- a) Der Sollwert f_{soll} wird reduziert, womit bei konstantem f_{ist} (mit $f_{\text{ist}} > f_{\text{soll}}$) der Wert von Δf negativ größer wird
- b) Der Ist-Wert f_{ist} wird manipuliert und erhöht, womit bei konstantem f_{soll} (mit $f_{\text{ist}} > f_{\text{soll}}$) der Wert von Δf negativ größer wird.

Zu 5.5.2.1 Anforderungen an Messgrößen und Signale

* Ein Mit- und Gegensystem der Grundswingungsfrequenz gibt es so nicht. Die Grundswingungsfrequenz ist im Mit- und Gegensystem gleich, es gilt also $f_1 = f_2$.

Zu 5.5.4 Nachweise im Fiktiven Inselnetzbetrieb

* Es wird empfohlen, den Schaltzeitpunkt von S_{Netz} (Umschaltung auf das Fiktive Inselnetz) als Messsignal mit aufzunehmen.

* Der Start der Messung sollte mindestens 10 s vor Öffnen von S_{Netz} liegen.

* Eine eventuell vorhandene Regelung der Leistung der Lastbank darf die Regelung der netzbildenden Einheit nicht beeinflussen. Die Lastbank sollte sich während der Messdauer möglichst passiv verhalten. Bei einer passiven ohmschen Lastbank ist zu beachten, dass sich die Leistung der Lastbank quadratisch mit der Spannung ändert und auch durch die Temperatur beeinflusst wird.

* Hinweis: Die Wirkleistung wird in der Fiktiven Insel weitestgehend durch die Lastbank eingepreßt. Ein stationärer Zustand ist an den geringer werdenden Schwankungen in der Frequenz zu erkennen.

Zu 5.5.5.5 Nachweis des Dämpfungsverhaltens oberhalb von 5 Hz (Abschnitt 4.2.1.2)

* Bei dem Begriff "interne Oberschwingungsspannungsquelle" handelt es sich um $V_{\text{NBWR}}(f)$ in Bild 15 des FNN-Hinweises [3].

Hinweis: Die Bezeichnungen in den Formeln 38 bis 41 des FNN-Hinweises [3] sind nicht einheitlich.

Zu 5.5.5.6.1 Nachweis des Führungsverhaltens

Die zu ermittelnde Anschlagzeit ist üblicherweise definiert durch das Erreichen von 90 % des Sollwertsprungs. Da die Spannung am Ausgang aber nicht den Sollwert erreichen wird (P-Regelung), bezieht sich hier die Ermittlung der Anschlagzeit auf den stationären Endwert der Spannung. Es wird empfohlen, die Ermittlung der Anschlagzeit auf 90 % der Änderung der Spannung zu beziehen.

Zu 5.5.5.6.2 Nachweis des Störverhaltens und der Linearität der effektiven Impedanz

* Die Netzspannung liegt im normalen Bereich, also 100 % ±10 % der Nennspannung.

* Bild 9 im FNN-Hinweis [3] gilt nur zur Ermittlung der Dämpfung, aber nicht zur Ermittlung der Einschwingzeit.

* Die Anschlagzeit des Stromes (Scheinstrom) wird ermittelt aus $\alpha\beta$ -Komponenten ($i_{\alpha\beta,5ms}$) vom Startzeitpunkt (10 % der Spannungsänderung) bis 90 % der Änderung des Stromes (ermittelt aus dem stationären Endwert des Stromes).

Zur Ermittlung des stationären Endwertes des Stromes siehe Text unterhalb Formel 10 Abschnitt 5.5.5.4.3.

Die in Bild 9 im FNN-Hinweis [3] angegebene rote Hüllkurve ist unabhängig von einer gemessenen Einschwingzeit.

Dämpfung: $D = 0,3$ ist die Mindestanforderung für die Dämpfung. Die roten Grenzen in Bild 9 im FNN-Hinweis [3] gelten für alle Fälle, sind also auch als feste Anforderung zu sehen, auch wenn die tatsächliche Dämpfung $> 0,3$ ist.

* Formel 11 im FNN-Hinweis [3] muss folgendermaßen korrekt lauten:

$$\Delta x_M = e^{-\frac{D \cdot \pi}{\sqrt{1-D^2}}} \cdot \Delta i_{Q,End} = 0,3723 \cdot \Delta i_{Q,End}$$

* In der Formel 12 im FNN-Hinweis [3] ist T_M korrekterweise t_M .

Zur Ermittlung der Linearität, Formel 17 bis 19: siehe auch Formel 10 für Blindstrom vor und nach dem Sprung.

* Der Begriff „effektive Impedanz“ ist mit dem Begriff „wirksame Impedanz“ entsprechend Bild 1 des FNN-Hinweises [3] gleichzusetzen.

Zu 5.5.5.6.3 Nachweis der Robustheit und Spannungsregelung bei kurzzeitigen Über- und Unterspannungsereignissen (O-/UVRT-Robustheit)(Abschnitt 4.2.1.5)

Es sollen mindestens zwei aufeinanderfolgende Tests für jede Einbruchtiefe und -höhe durchgeführt werden.

Es wird empfohlen, die Tests bei einer Vorfehlerblindleistung im Bereich von $\pm 10\% P_n$ durchzuführen.

Empfehlung: Die Vorgaben der TR 3 Rev. 26 Kapitel 4.6.1.2 sollten eingehalten werden.

Hinweis zur Anschlagzeit des Stromes (Scheinstrom ($i_{\alpha\beta,5ms}$): Bei einer netzbildenden Einheit ist davon auszugehen, dass sich der Strom auf Basis der internen Spannung und der Impedanz (netzbildenden Einheit + Netz) ausbildet und nicht geregelt wird, d. h. auch keinen Sollwert hat. Die Anschlagzeit kann demzufolge auf Basis des stationären Scheinstromes am Ende der Fehlerdauer ermittelt werden.

Es wird empfohlen, die Ermittlung der Anschwingzeit auf 90 % der Änderung des Stromes gegenüber dem Vorfehlerstrom zu beziehen.

* Für Tests mit einem Spannungseinbruch $<0,05$ pu kann kein Blindstrom ermittelt werden. Deshalb sollte für diese Tests die Einschwingzeit des Scheinstroms statt der Einschwingzeit des Blindstroms ermittelt werden.

Zu 5.5.5.6.5 Nachweis des Verhaltens bei Rückkehr in das Spannungsband von $U_c \pm 10 \% U_c$ (Abschnitt 4.2.1.4.5)

* Empfehlung: Vorfehlerwerte sollten über einen Zeitraum von 10 s vor Fehlereintritt ermittelt werden.

Hinweis: Der Maximalwert der Mitsystemspannung errechnet sich gleitend über eine Netzperiode.

* Hinweis: der stationäre Endwert der Mitsystemspannung nach Spannungswiederkehr ist $U_{1,End}$.

Zu 5.5.5.8 Nachweis der Dämpfung von Frequenz-Leistungspendelungen (Abschnitt 4.2.1.11)

Hinweis: Die Tabelle 5 im FNN-Hinweis [3] ist folgendermaßen zu verstehen:

- * bei z. B. Speicher sind die Tests von Tabelle 5 sowohl im Ladebetrieb als auch im Entladebetrieb durchzuführen,
- Bei Verfahren 2 bedeuten „naR“ bzw. „aR“, dass der Winkel $\Delta\theta$ einmal positiv und einmal negativ ist.

Das Bild 10 zeigt Abweichungen der elektrischen Leistung ausgehend von einem stationären Arbeitspunkt. Nach Messverfahren 2 ist der stationäre Arbeitspunkt zu Beginn und am Ende der Messung bei allen 4 Prüfungen identisch. Dies gilt auch für die Prüfungen 1 und 2 nach dem Messverfahren 1. Nur bei den Prüfungen 3 und 4 (Messverfahren 1 bei aktiver PRNB (Netzsicherheitsbasierte Primärregelung)) wird sich stationär ein anderer Arbeitspunkt einstellen. In diesem Fall ist die Ermittlung der Dämpfung erschwert aufgrund der überlagerten PRNB. Allerdings kann je nach Primärenergieangebot auch eine Rückführung des Sollwerts stattfinden. Dies wäre im Einzelfall im Detail zu betrachten.

Es kann erwartet werden, dass sich das Messverfahren 2 als vorteilhafter herausstellt, zumal der Einfluss der PRNB auf die Dämpfung leichter zu identifizieren ist.

* Das ΔP ist so zu verstehen, dass es die Differenz zwischen aktuellem Wirkleistungswert und dem Wert der Wirkleistung zu Beginn der Messung zeigt.

Zu 5.5.5.9 Nachweis der Anlaufzeitkonstanten T_A sowie Momentanreserveleistung und -Energie (Abschnitt 4.2.1.12 und 4.2.1.13)

Hinweis: Bei netzbildenden Einheiten, die die Momentanreserveenergie aus einem Kurzzeitspeicher, z. B. dem Rotor bei einer WEA entnehmen, wird ggfs. nach Ende des Segments 3 dieser Speicher wieder gefüllt, sprich die Drehzahl des Rotors wird erhöht. In den Abschnitten [3] zu den Auswertungen von Messverfahren 1 und 2 wird jeweils überprüft, ob diese Energie den 1,5-fachen Wert der zur Verfügung gestellten Momentanreserveenergie überschreitet.

* Gleichungen 29 bis 32 sind im FNN-Hinweis [3] falsch. In Gleichung 29 bis 32 muss $P_{r,E}$ wie folgt im Zähler stehen:

$$\Delta P = -T_A \cdot P_{r,E} \cdot \left(\frac{\Delta f / f_n}{\Delta t} \right) \quad (29)$$

$$\Delta P_1 = -T_A \cdot P_{r,E} \cdot \left(\frac{-2 \text{ Hz/s}}{50 \text{ Hz}} \right) \quad (30)$$

$$\Delta P_2 = -T_A \cdot P_{r,E} \cdot \left(\frac{-1/3 \text{ Hz/s}}{50 \text{ Hz}} \right) \quad (31)$$

$$\Delta P_3 = -T_A \cdot P_{r,E} \cdot \left(\frac{+1 \text{ Hz/s}}{50 \text{ Hz}} \right) \quad (32)$$

Hinweis zu den Bildern 11 und 12 des FNN-Hinweises [3]: Der Verlauf der Frequenz sollte während des Tests gemäß Bild 4 a) und b) eingepreßt werden. Für ein $T_A > 10$ s wird empfohlen, in Segment 1 ein Toleranzband von $\pm 15 \% \Delta P_{o1}$ nach spätestens 1 s einzuhalten. Die Frequenzänderung in Segment 1 beträgt 2 Hz / s. Es wird empfohlen, den zuletzt ermittelten Leistungswert p_1 in Segment 1 auf die Einhaltung des genannten Toleranzbandes auszuwerten.

Zu 5.5.5.10 Nachweis der Eigenschaften des Verhaltens bei Über- und Unterfrequenz (Netzsicherheitsbasierte Primärregelung) im beschränkten Stellbereich (Abschnitt 4.2.2)

Hinweis: Ziel der Messung ist der Nachweis des beschränkten Stellbereichs. Trotzdem ist bei der Versuchsdurchführung auch das Verhalten der netzbildenden Einheit im unbeschränkten Stellbereich zu beachten. Ursache ist der Übergang vom unbeschränkten in den beschränkten Stellbereich bei den geforderten Frequenzstufen.

Es wird empfohlen, den Test für alle EZE-Typen durchzuführen, auch für jene Typen, deren Stellbereich nach Tabelle 10 des FNN-Hinweises [3] nicht eingeschränkt ist.

Um das Verhalten der netzbildenden Einheit im beschränkten Stellbereich eindeutig bewerten zu können, wird empfohlen, eine zusätzliche Frequenzstufe vor der Rückkehr in das Frequenzband 50 Hz $\pm 0,2$ Hz vorzugeben.

Die folgende Abbildung zeigt qualitativ die Abschnitte des unbeschränkten und beschränkten Stellbereichs am Beispiel der EZA-Technologie „Windenergieanlage“.

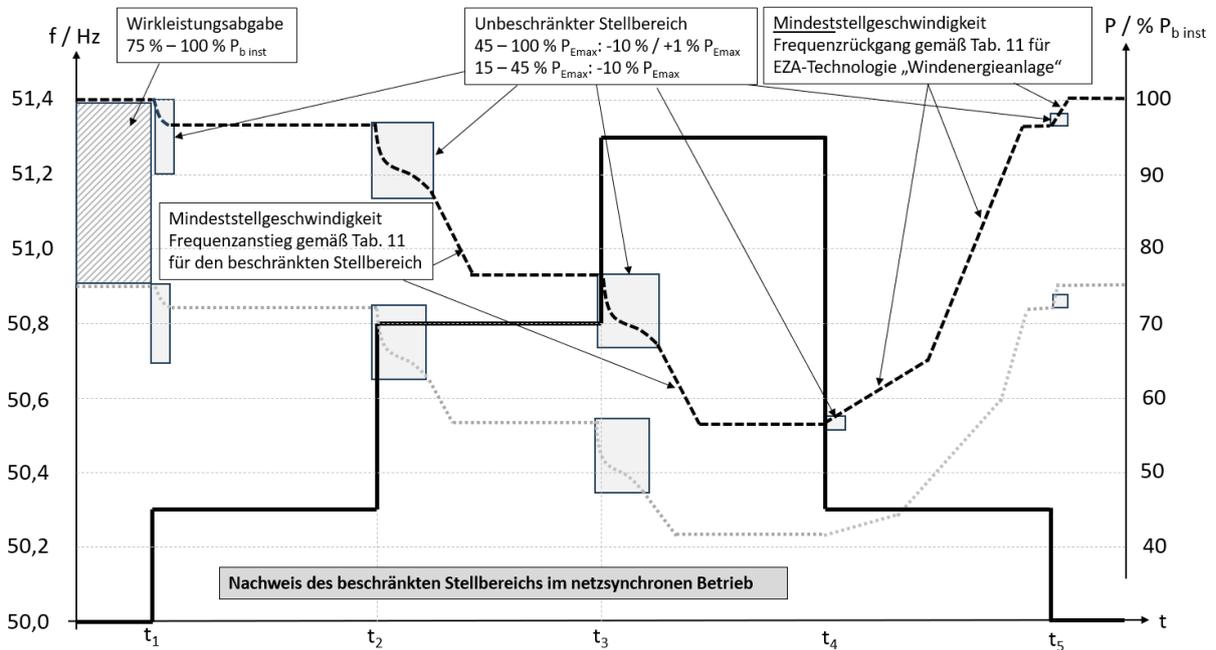


Abb. A-1: Nachweis des beschränkten Stellbereichs im Netzparallelbetrieb für die EZA-Technologie „Windenergieanlage“ (Messverfahren 1; Frequenzvorgabe: durchgezogene Linie; Wirkleistung: gestrichelte Linie).

Für die Versuchsdurchführung sind folgende initiale Einstellungen zu wählen:

- Einstellung des Totbandes und der Verstärkung gemäß Abschnitt 4 des FNN-Hinweises [3] (4.2.2).
- 5.5.5.10.2: Mindestleistung für Messverfahren 2 entspricht der in Tab. 11 im FNN-Hinweis [3] angegebenen minimalen Wirkleistung des Stellbereichs.

Anmerkung: Tabelle 11 in Abschnitt B.I. im FNN-Hinweis [3] ist bezüglich der dynamischen Anforderungen im beschränkten Stellbereich zu beachten.

Die Vorgabe der Frequenzstufen hat mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05$ Hz zu erfolgen.

Ziel der Prüfung ist der Nachweis von Stellgeschwindigkeit und Statik im beschränkten Stellbereich der PRNB. Durch den Übergang vom unbeschränkten in den beschränkten Stellbereich werden bei Messverfahren 1 für die vier Frequenzstufen folgende Auswertungen empfohlen:

Stufe	Frequenzänderung	Auswertung
1	50,3 Hz	Keine, da die Wirkleistungsänderung im unbeschränkten Stellbereich stattfindet.
2	50,8 Hz	Trotzdem zunächst der unbeschränkte Stellbereich durchfahren wird, erfolgt die Ermittlung der Anschlagzeit zur Berechnung der Stellgeschwindigkeit ab dem Zeitpunkt der Frequenzänderung.
3	51,3 Hz	
4	50,3 Hz	
5	50,0 Hz	Keine

Tbl. A-1: Frequenzstufen

Die folgende Abbildung verdeutlicht das Vorgehen am Beispiel der EZA-Technologie "Windenergieanlage":

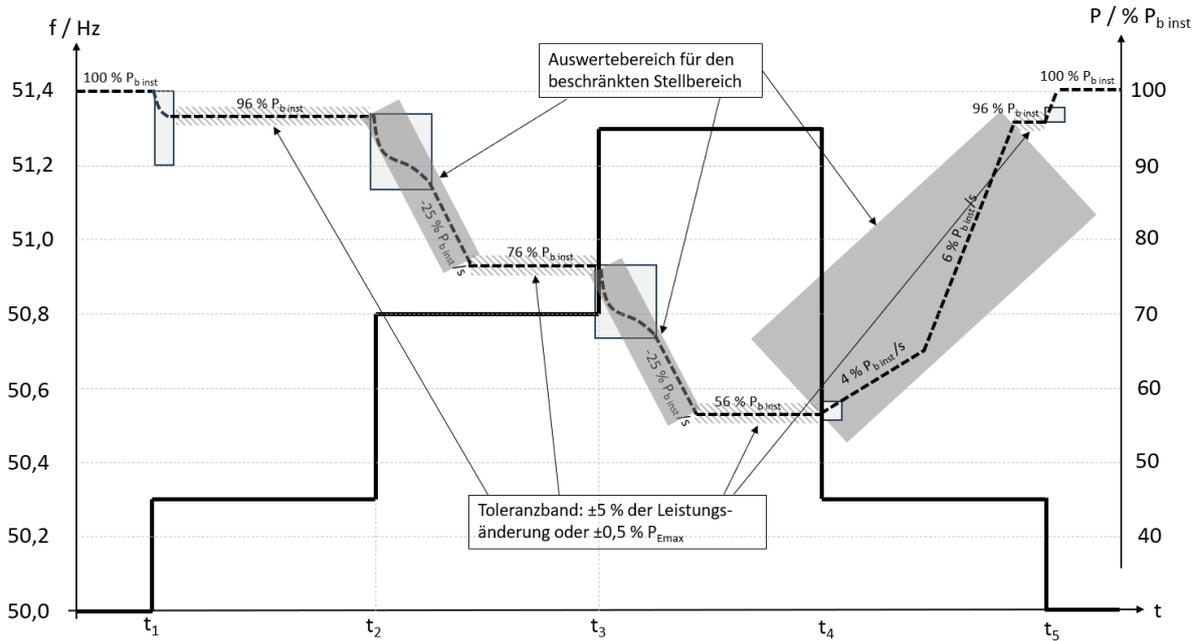


Abb. A-2: Auswertung des beschränkten Stellbereichs für die EZA-Technologie "Windenergieanlage" (Messverfahren 1; Frequenzvorgabe: durchgezogene Linie; Wirkleistung: gestrichelte Linie)

Beim Messverfahren 2 (negative Frequenzabweichungen) wird ebenfalls eine zusätzliche Frequenzstufe empfohlen, so dass insgesamt fünf Frequenzstufen vorgegeben werden. Für die EZA-Technologie "Windenergieanlage" ergeben sich folgende Frequenz- und Wirkleistungsverläufe.

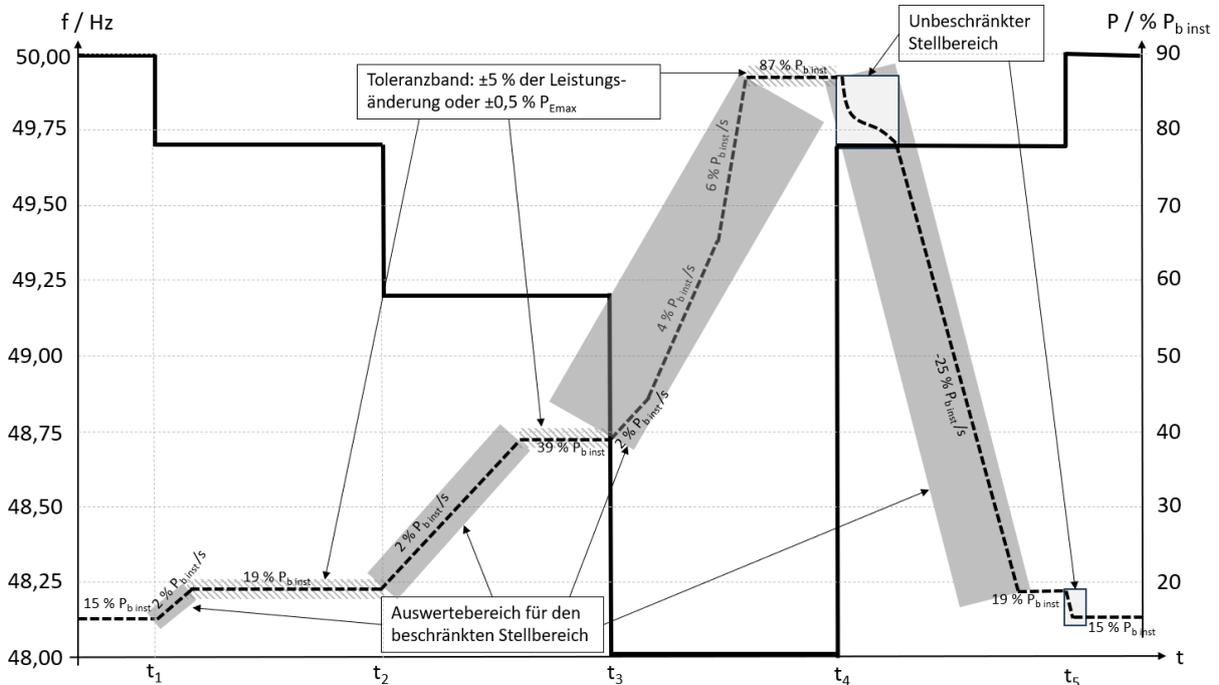


Abb. A-3: Auswertung des beschränkten Stellbereichs für die EZA-Technologie "Windenergieanlage" (Messverfahren 2; Frequenzvorgabe: durchgezogene Linie; Wirkleistung: gestrichelte Linie)

Die Auswertung erfolgt analog zu Messverfahren 1.



Zu A.I, Bild 13 [3]

Die Ermittlung der Amplituden-Maxima entsprechend Bild 13 im FNN-Hinweis [3] sollte nicht aufgrund der Differenz zwischen dem jeweiligen Maximum der Regelgröße zu dem Sollwert der Regelgröße, sondern zwischen dem jeweiligen Maximum und dem stationären Endwert der Regelgröße erfolgen, vergleiche hierzu auch die Definition des Dämpfungsmaßes in Abschnitt 3.1.14 des FNN-Hinweises [3].