

**Richtlinien für den Konformitätsnachweis von
bidirektionalen Energiesystemen in Österreich:
Nachweisteil**

**RKB-AT:
Typ B**
(Maximalkapazität ≥ 250 kW und < 35 MW und Nennspan-
nung < 110 kV)

Version 2.0
gültig ab 13.08.2026

Dokumenten-Historie

Version	Veröffentlichung	Inkrafttreten	verantwortlich	Anmerkungen
2.0	13.08.2026	13.08.2026	Oesterreichs Energie	Erstausgabe nach Dokumentenaufspaltung der bisherigen RKS-AT. Auf Basis der TOR Stromerzeugungsanlagen V1.4, TOR Verteilernetzanschluss V1.3.1, TOR Netze und Lasten mit Übertragungsnetzanschluss V1.1 und der derzeit vorliegenden Entwurfsversionen der geplanten Novellierungen der Verordnungen (EU) 2016/1388 und (EU) 2016/631

Die Richtlinien für den Konformitätsnachweis von bidirektionalen Energiesystemen in Österreich (RKB-AT) stehen auf der Website von Oesterreichs Energie (oesterreichsenergie.at) zur allgemeinen Verfügung. Verweise auf die RKB-AT verstehen sich somit immer auf die jeweils aktuell geltende Version. Anwendung, Verwendung und jedes Zitieren der RKB-AT haben unter diesen Prämissen zu erfolgen. Die sich auf der Website von Oesterreichs Energie befindliche Version gilt als authentische Fassung der RKB-AT.

Die mit [Platzhalter] gekennzeichneten Kapitel dienen der Platzhaltung der Kapitelnummern für die in Zukunft novellierte Auflagen der TOR Dokumente basierend auf die Novellierungen der Verordnungen (EU) 2016/1388 und (EU) 2016/631.

Für den Inhalt verantwortlich:

Österreichs E-Wirtschaft

Brahmsplatz 3

1040 Wien

E-Mail: RK@oesterreichsenergie.at

Inhaltsverzeichnis

Dokumenten-Historie	2
Inhaltsverzeichnis	3
A Vorschriften für Konformitätstests	6
A.1 Besondere Anforderungen an bidirektionalen Energiesystemen innerhalb von Mischanlagen	6
A.2 Messtechnik	6
A.3 Wirkleistungsanpassung bei Überfrequenz (LFSM-O)	7
A.3.1 Allgemeines	7
A.3.2 Prüfverfahren	8
A.3.3 Prüfungsdurchführung	9
A.3.4 Auswertung	12
A.3.5 Dokumentation	15
A.4 Wirkleistungsanpassung bei Unterfrequenz (LFSM-U)	15
A.4.1 Prüfverfahren	15
A.4.2 Prüfungsdurchführung	17
A.4.3 Auswertung	19
A.4.4 Dokumentation	23
A.5 FRT-Fähigkeit	23
A.5.1 Allgemeines	23
A.5.2 Prüfverfahren	24
A.5.3 Prüfungsdurchführung	26
A.5.4 Auswertung	28
A.5.5 Dokumentation	29
A.6 Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern	29
A.6.1 Verhalten im Fehlerfall	30
A.6.2 Wiederaufnahme der Leistungsabgabe nach Fehlerklärung	38
A.7 Blindleistungskapazität	39
A.7.1 Allgemeines	39
A.7.2 Prüfverfahren	40
A.7.3 Prüfungsdurchführung	42
A.7.4 Auswertung	47
A.7.5 Dokumentation	48
A.8 Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung	49
A.8.1 Allgemeines	49
A.8.2 Prüfverfahren	50
A.8.3 Prüfungsdurchführung	51

A.8.4	Auswertung	61
A.8.5	Dokumentation	63
A.9	Sollwertvorgabe und Umschaltung von $Q(U)$ -Kennlinien	63
A.9.1	Allgemeines	63
A.9.2	Prüfverfahren	63
A.9.3	Prüfdurchführung	64
A.9.4	Auswertung	66
A.9.5	Dokumentation	67
A.10	Systemschutz	67
A.10.1	Allgemeines	67
A.10.2	Prüfverfahren	67
A.10.3	Prüfdurchführung	68
A.10.4	Auswertung	68
A.10.5	Dokumentation	69
A.11	Rate of Change of Frequency - RoCoF	69
A.11.1	Allgemeines	69
A.11.2	Prüfverfahren	69
A.11.3	Prüfungsdurchführung	70
A.11.4	Auswertung	71
A.11.5	Dokumentation	72
A.12	Winkelsprünge	72
A.12.1	Allgemeines	72
A.12.2	Prüfverfahren	73
A.12.3	Prüfungsdurchführung	73
A.12.4	Auswertung	74
A.12.5	Dokumentation	74
A.13	Grid Forming Fähigkeit	74
A.13.1	Allgemeines	74
A.13.2	Prüfverfahren	75
A.13.3	Prüfungsdurchführung	75
A.13.4	Auswertung	76
A.13.5	Dokumentation	76
A.14	Dämpfung von Frequenzschwingungen	77
A.14.1	Allgemeines	77
A.14.2	Prüfverfahren	77
A.14.3	Prüfungsdurchführung	77
A.14.4	Auswertung	78

A.14.5	Dokumentation	78
B	Vorschriften für Konformitätssimulationen	79
B.1	Besondere Anforderungen an bidirektionale Einheiten bzw. bidirektionale Energiesysteme innerhalb von Mischanlagen	79
B.2	FRT-Fähigkeit	79
B.2.1	Allgemeines	79
B.2.2	Simulationsverfahren	80
B.2.3	Simulationsdurchführung	81
B.2.4	Auswertung	82
B.2.5	Dokumentation	82
B.3	Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern	83
B.3.1	Verhalten im Fehlerfall	83
B.3.2	Wiederaufnahme der Leistungsabgabe nach Fehlerklärung	84
B.4	Blindleistungskapazität	84
B.4.1	Allgemeines	84
B.4.2	Simulationsdurchführung	86
B.4.3	Auswertung	87
B.4.4	Dokumentation	87
B.5	Winkelsprünge	88
B.5.1	Allgemeines	88
B.5.2	Simulationsdurchführung	88
B.5.3	Auswertung	89
B.5.4	Dokumentation	89
B.6	Grid Forming Fähigkeit	89
B.6.1	Allgemeines	89
B.6.2	Simulationsdurchführung	90
B.6.3	Auswertung	90
B.6.4	Dokumentation	90
B.7	Dämpfung von Frequenzschwingungen	91
B.7.1	Allgemeines	91
B.7.2	Simulationsdurchführung	91
B.7.3	Auswertung	91
B.7.4	Dokumentation	91

A Vorschriften für Konformitätstests

Die Berechnungsvorschriften der relevanten Größen (Strom, Spannung, Wirkleistung und Blindleistung) sind im spezifischen Teil für bidirektionale Energiesysteme der „Richtlinien für den Konformitätsnachweis in Österreich: Bewertungs- und Akzeptanzkriterien“ erläutert.

A.1 Besondere Anforderungen an bidirektionalen Energiesystemen innerhalb von Mischanlagen

Die Erfüllung der Anforderungen gilt bei Mischanlagen oder Erweiterung des bidirektionalen Energiesystems generell am NAP. In begründeten Fällen kann die Erfüllung an einem abweichenden Punkt vereinbart werden. Vorzugweise ist dabei der physische Anschlusspunkt (siehe roter Punkt in Abbildung 1) zu wählen. Sofern der Messpunkt vom NAP abweicht, muss eine Hochrechnung auf den NAP erfolgen.

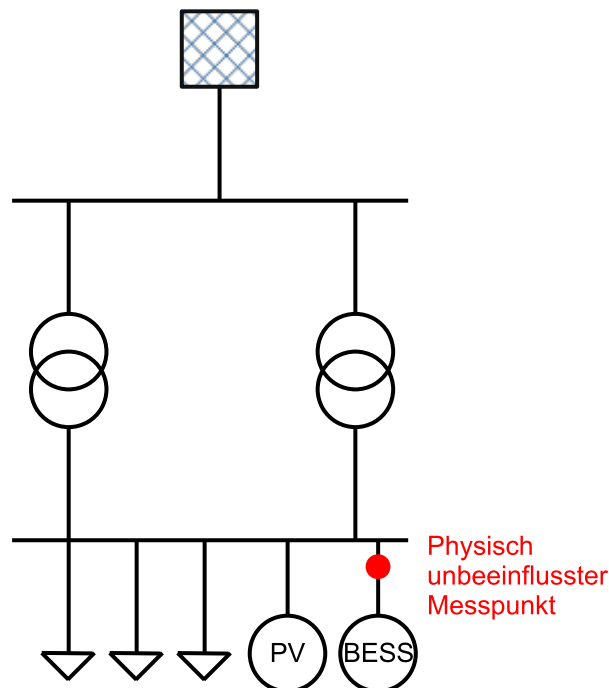


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung einer Mischanlage für Feldtests

A.2 Messtechnik

Die verwendeten Messgeräte (ohne Strom- und Spannungswandler) dürfen maximal eine Messunsicherheit von 1 % vom Messwert aufweisen.

Strom- und Spannungswandler müssen mindestens der Klasse 1 nach der EN IEC 61869 entsprechen.

Für die Ermittlung der relevanten Größen sind ebenfalls im Betrieb verbaute Messgeräte und -wandler zulässig, sofern diese den oben genannten Genauigkeitsklassen entsprechen. Der Einsatz von externem (temporärem) Messequipment während der Durchführung von Konformitätstests ist entsprechend zu dokumentieren. Insbesondere beim Einsatz von externem Messequipment muss beachtet werden, dass die Datenermittlung zeitsynchronisiert stattfindet.

Generell ist zu berücksichtigen, dass für die nachzuweisenden Anforderungen unterschiedliche Mindest-Abtastraten bzw. -auflösungen notwendig sind, um die erforderlichen Auswertungen durchführen zu können.

Tabelle 1: Abtastraten unterteilt nach Anforderungen

Anforderung	Abtastraten für Ströme und Spannungen
LFSM-O	≥ 3 kHz
LFSM-U	
FRT-Fähigkeit	≥ 10 kHz
Dynamische Blindstromstützung	
Wiederkehr der Wirkleistungsabgabe nach einem Fehler	
Rate of Change of Frequency (RoCoF)	
Winkelsprünge	
Grid Forming Capability	
Dämpfung von Frequenzschwingungen	
Blindleistungskapazität	≥ 3 kHz
Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung	
Sollwertvorgabe	

Für jedes verwendete Messgerät ist die Dokumentation folgender Informationen notwendig:

1. Marke und Typ
2. Angabe, ob es sich um ein im Betrieb verbautes oder externes Messgerät handelt
3. Messunsicherheit
4. Abtastrate
5. Auflösung

Die oben genannten Informationen (exklusive Punkt 2) können auch durch die Vorlage eines Datenblattes abgedeckt werden. Die aufgelisteten Informationen sind auf Anforderung des relevanten Netzbetreibers zu übermitteln.

A.3 Wirkleistungsanpassung bei Überfrequenz (LFSM-O)

A.3.1 Allgemeines

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.1.3 der TOR SEA und Kapitel 5.1.2 der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem

Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.1 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.3.2 Prüfverfahren

Für den Test der Wirkleistungsanpassung bei Überfrequenz (LFSM-O) sind folgende Prüfverfahren zulässig:

- **Sollwertänderung an der Steuerung vor Ort**

Es handelt sich dabei um die Verstellung der Sollwerte (Nennfrequenzwerte) an der Steuerung des bidirektionalen Energiesystems. Die Veränderung der eingestellten Nennfrequenz würde aufgrund der Differenz zur extern gemessenen Netzfrequenz eine Abweichung vom Sollwert bewirken. Dies lässt sich graphisch durch eine zusätzliche x-Achse darstellen, siehe Abbildung 2.

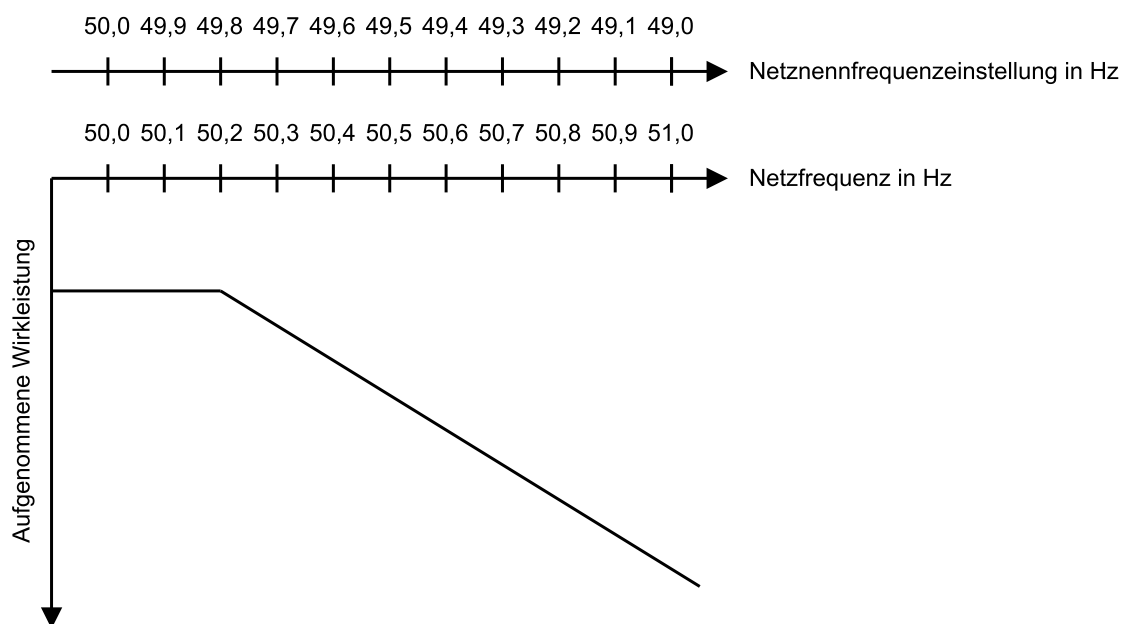


Abbildung 2: Beispielhafte Einstellung der Nennfrequenz, repräsentiert durch eine zusätzliche x-Achse

Dieses Prüfverfahren ist nur bei bidirektionalen Anlagen zulässig, welche die Veränderung der Nennfrequenz im laufenden Betrieb ermöglichen.

- **Verstellung der Eingangssignale¹ an der Steuerung vor Ort**

Dieses Prüfverfahren kann verwendet werden, wenn in der Steuerung des bidirektionalen Energiesystems ein dedizierter Eingangsslot bzw. eine Parametrier- oder

¹ Das Eingangssignal kann technologiebedingt von unterschiedlichen Signalquellen stammen. Somit versteht man als Eingangssignal beispielsweise sowohl einen Drehzahlwert (mit anschließender Umwandlung) als auch einen Frequenzwert.

Eingabemöglichkeit vorgesehen ist. Es können folgende Verstellungen des Eingangssignals vorgenommen werden:

- Direkte Verstellung des Eingangssignals
- Überlagerung eines Offsets zum Eingangssignal

- **Verwendung eines Netzsimulators**

Bei diesem Prüfverfahren wird ein Netzsimulator verwendet, welcher durch Parametrierung verschiedene Netzkonditionen darstellt und somit eine Variation der gemessenen Netzfrequenz ermöglicht. Solch ein Prüfverfahren erfordert die Verwendung eines entsprechenden Hardware-In-the-Loop (HIL) Setups. Die Prüfung mittels Netzsimulator ist nicht ausreichend, sofern bei dem bidirektionalen Energiesystem vor Ort die entsprechenden LFSM-O Signale von einem übergeordneten Regler (z.B. Parkregler) an die einzelnen Einheit gesendet werden. In diesem Fall ist vor Ort zusätzlich eines der obenstehenden Prüfverfahren durchzuführen.

A.3.3 Prüfungsdurchführung

Als Messpunkt der zu ermittelnden Größen ist der Netzanschlusspunkt zu wählen. Sofern die Messung am Netzanschlusspunkt aufgrund von technischen Gegebenheiten nicht möglich ist, kann ein abweichender Messpunkt gewählt werden (z.B. auf Einheiten-ebene). Eine allfällige Abweichung des Messpunktes vom Netzanschlusspunkt ist zu dokumentieren.

Leistung bei Beginn der Messungen für elektrische Batteriespeicher

- Für BESS gilt $P_{\text{ref,LFSMO}} = P_{\text{max}}$
- $20 \% P_{\text{ref,LFSMO}} \leq P_{\text{Beginn,LFSMO}} \leq 25 \% P_{\text{ref,LFSMO}}$ (Lieferleistung)

Es werden die in Abbildung 4 und Tabelle 2 dargestellten Frequenz-Sollwerte nacheinander durchgefahren. Die Haltezeit jeder Sollwertvorgabe soll mindestens 1 Minute, nach Verbleiben der Wirkleistung innerhalb des Toleranzbandes (Erreichen der Einschwingzeit), betragen.

Es muss sowohl die vorgegebene Frequenz als auch die Wirkleistung als Momentanwert aufgezeichnet werden.

Die Auflösung der Frequenzmessung muss ≤ 10 mHz sein. Die Auflösung für die Strom-Spannungsmessungen muss mindestens $1 \cdot 10^{-3}$ sein.

Bis zum Zeitpunkt der Sollwertsetzung der Frequenz ist eine Auflösung der Wirkleistungsmessung in 1-s-Mittelwerten ausreichend. In Abbildung 3 ist zusätzlich eine graphische Darstellung gegeben.

Nach Sollwertsetzung der Frequenz wird bis zum Erreichen der Einschwingzeit eine Auflösung der Wirkleistungsmessung in 0,2-s-Mittelwerten gefordert. Damit soll eine präzise Auswertung der Verzögerungszeit, Anschwingzeit und Einschwingzeit gewährleistet werden.

Nach Erreichen der Einschwingzeit und bis zu einer neuen Sollwertsetzung der Frequenz ist eine Auflösung der Wirkleistungsmessung in 1-s-Mittelwerten ausreichend.

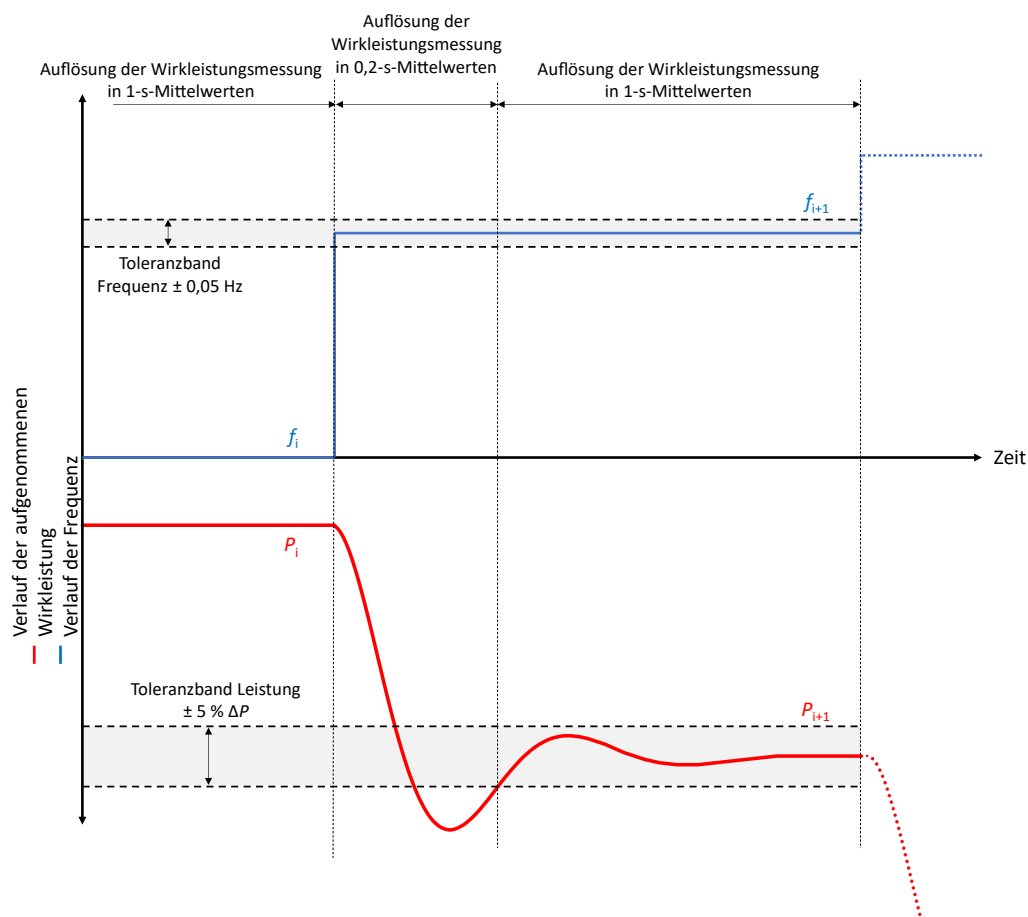


Abbildung 3: Beispielhafter Verlauf eines Frequenzsprunges mit Erläuterungen zur Auflösung der Wirkleistungsmessung

In Abbildung 4 und Tabelle 2 sind die einzustellenden Frequenzwerte mit den jeweiligen Toleranzbändern von $\pm 0,05 \text{ Hz}$ angegeben. Die Frequenztoleranzbänder sind vorgesehen, wenn die Frequenz mittels Sollwertänderung an der Steuerung vor Ort oder Netzsimulator vorgegeben wird.

Die Haltezeit von $t_{\min} \geq 1$ Minute ist vorgesehen, nachdem die Wirkleistung innerhalb des neuen Toleranzbandes von $\pm 5 \% \Delta P$ verblieben ist (nach Erreichen der Einschwingzeit).

Sofern ein Wirkleistungsgrenzwert für einen stabilen Betrieb bei einem Sprung (Messpunkt 1 bis Messpunkt 5) erreicht wird, muss das bidirektionale Energiesystem in der Lage sein, für die weiterführenden Punkte (bis inklusive Messpunkt 5) diesen Wirkleistungsgrenzwert halten zu können.

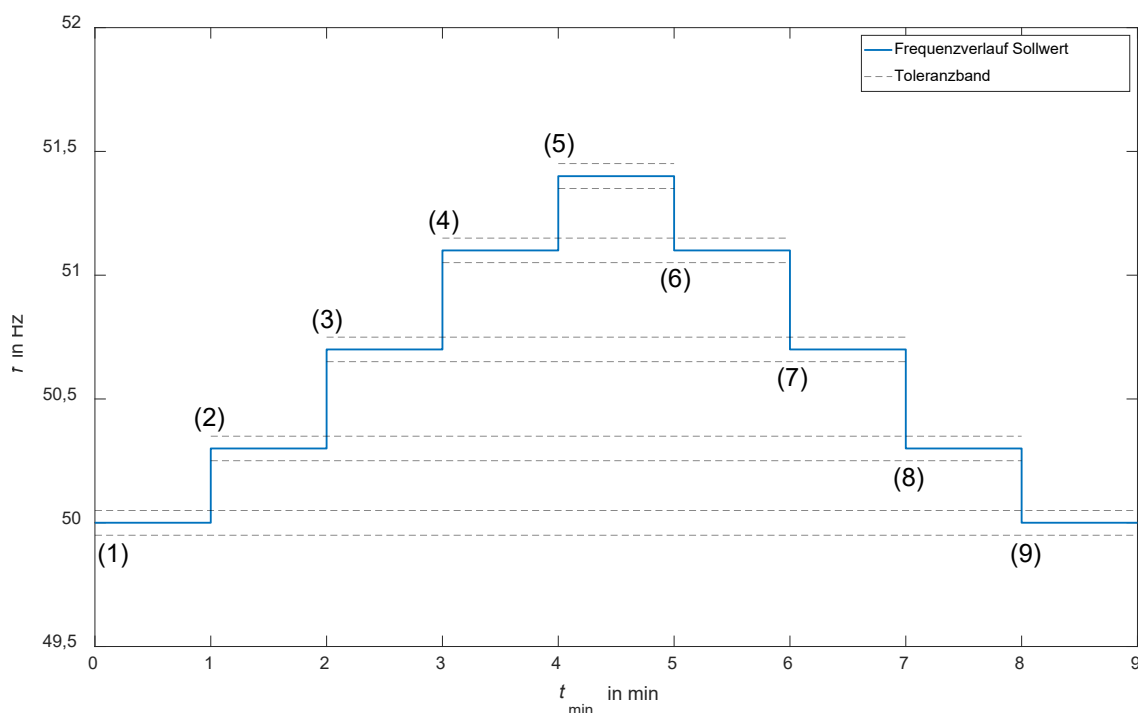


Abbildung 4: Frequenzverlauf für die Überprüfung der LFSM-O Fähigkeit

Zusätzlich sind in Tabelle 2 die einzustellenden Sollwerte der Frequenz mit den dazugehörigen Toleranzbändern angegeben.

Tabelle 2: Sollwerte für die Durchführung der LFSM-O-Überprüfung

Messpunkt	Frequenz (Sollwert)	Toleranzband
---	Hz	$\pm$ Hz
1	50,00	0,05
2	50,30	
3	50,70	
4	51,10	
5	51,40	
6	51,10	
7	50,70	
8	50,30	
9	50,00	

A.3.4 Auswertung

In den folgenden Textpassagen wird als „Sprung“ eine Änderung vom Messpunkt n zum Messpunkt $n+1$ gemäß Tabelle 2 verstanden.

Die Ermittlung der Verzögerungszeiten bzw. An- und Einschwingzeiten erfolgt wie in Abbildung 5 dargestellt.

- **Verzögerungszeit**

Die Verzögerungszeit soll wie folgt beim Sprung von 2 auf 3, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8 ermittelt werden:

$$T_{\text{Verzögerung,LFSMO}} = t_1 - t_0$$

Beträgt die Verzögerungszeit $T_{\text{Verzögerung,LFSMO}} > 2$ s, so ist dies unter Vorlage entsprechender Nachweise zu dokumentieren und begründen. Der Netzbenutzer kann sich in diesem Fall auch auf weitere Messsignale stützen, welche für die Ermittlung der Verzögerungszeit berücksichtigt werden können

- **Anschwingzeit**

Unter der Anschwingzeit wird die verstrichene Zeit nach Vorgabe des neuen Sollwertes der Frequenz bis zum Erreichen des Toleranzbandes von $\pm 5\% \Delta P$ des neu einzuregelnden Wirkleistungswertes für die Sprünge von 2 auf 3, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8 verstanden.

$$T_{\text{A,LFSMO}} = t_2 - t_0$$

- **Einschwingzeit**

Unter der Einschwingzeit wird die verstrichene Zeit nach Vorgabe des neuen Sollwertes der Frequenz bis zum stationären Verbleiben der Wirkleistung innerhalb des Toleranzbandes von $\pm 5\% \Delta P$ des neu einzuregelnden Wirkleistungswertes für die Sprünge von 2 auf 3, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8 verstanden.

$$T_{\text{E,LFSMO}} = t_3 - t_0$$

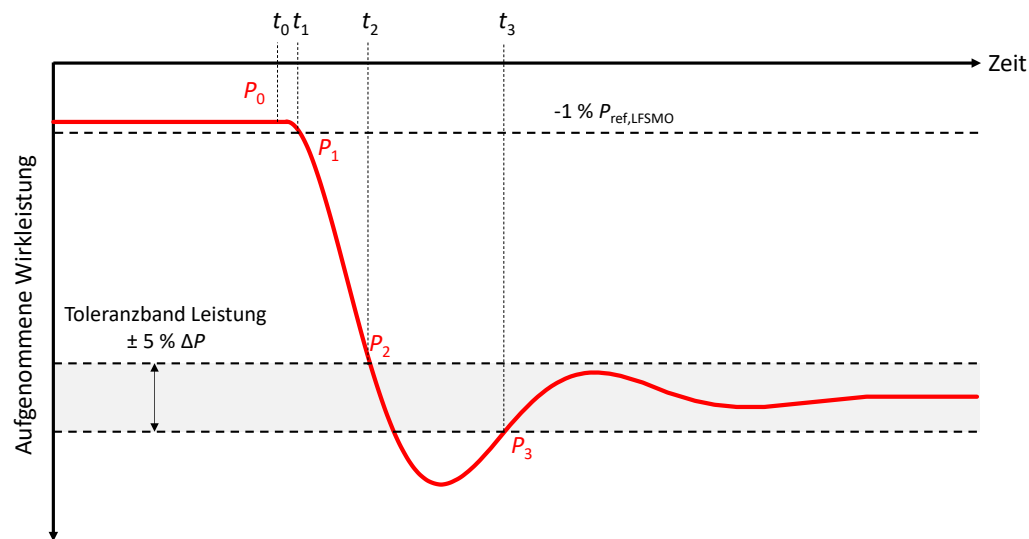


Abbildung 5: Beispielhafter Verlauf der Wirkleistung nach Frequenz-Sollwertänderung zur Ermittlung der Dynamik

t_0 ... Zeitpunkt der Aktivierung der Frequenzsollwertvorgabe, nachdem mindestens 1 min an Haltezeit nach Erreichen der Einschwingzeit eingehalten wurde

t_1 ... Unterschreitungszeitpunkt von $-1 \% P_{\text{ref,LFSMO}}$ von der stationären Leistung P_0

t_2 ... Zeitpunkt der Erreichung des „neuen“ Leistungstoleranzbandes

t_3 ... Zeitpunkt des Verbleibens innerhalb des „neuen“ Leistungstoleranzbandes

In Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber kann statt der Ermittlung der An- und Einschwingzeit auch die Bewertung des zeitlichen Leistungsgradienten herangezogen werden:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{P_{\text{Soll}} - P_1}{t(P_{\text{Ist}} = P_{\text{Soll}}) - t_1}$$

Die Ermittlung der Übergangszeit von Entladen zu Laden bzw. von Laden zu Entladen findet anhand der Leistungsnulldurchgänge und einem Erreichen des Schwellwertes von $\pm 1 \% P_{\text{max}}$ um die Wirkleistung $0 \% P_{\text{max}}$ statt. Diese Zeit wird zusätzlich zu den anderen Zeiten beim Übergang ermittelt.

Gemäß TOR SEA und TOR VNA sind folgende Zeiten für elektrische Batteriespeicher empfohlen:

- $T_{\text{A,LFSMO}} \leq 2 \text{ s}$ für eine Wirkleistungsverringerung von 50% von P_{max}
- $T_{\text{E,LFSMO}} \leq 20 \text{ s}$

- $T_{\text{Verzögerung,LFSMO}} \ll T_A$

Der Wirkleistungsgradient in Abhängigkeit der Frequenz, $\frac{\Delta P}{\Delta f}$, ist bei den Sollwertsprüngen von 2 auf 3, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8 wie folgt zu bestimmen. Eine zusätzliche graphische Erläuterung ist in Abbildung 6 gegeben.

$$\frac{\Delta P}{\Delta f} = \frac{P_{i+1} - P_i}{f_{i+1} - f_i}$$

Die Umrechnung vom Wirkleistungsgradienten in Abhängigkeit der Frequenz $\frac{\Delta P}{\Delta f}$ zur Statik s erfolgt folgendermaßen:

$$s = 100 \cdot \frac{|\Delta f|}{f_n} \cdot \frac{P_{\text{ref,LFSMO}}}{|\Delta P|} \quad \text{mit} \quad [s] = \%$$

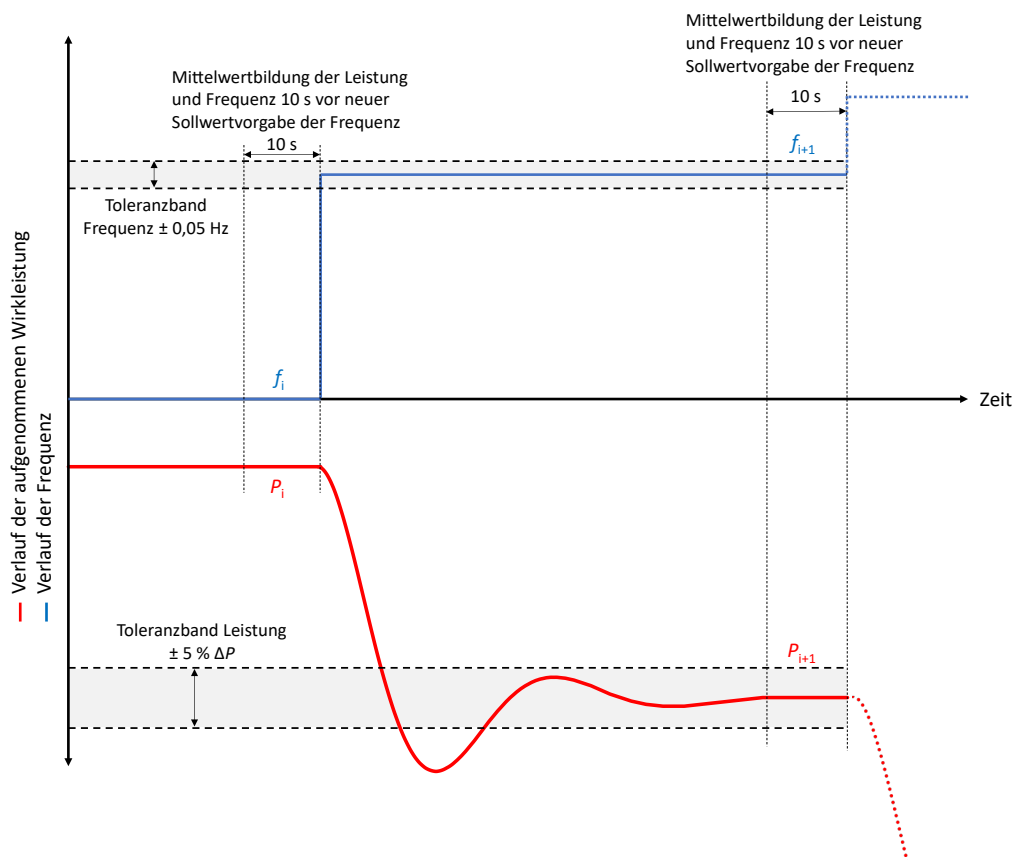


Abbildung 6: Beispielhafter Verlauf der Wirkleistung nach Frequenz-Sollwertänderung zur Ermittlung der Leistungs-Frequenzgradienten

P_i ... 10-s-Mittelwert der Wirkleistung, welche am Ende der Frequenzstufe i berechnet wird

- P_{i+1} ... 10-s-Mittelwert der Wirkleistung, welche am Ende der Frequenzstufe i+1 berechnet wird
- f_i ... 10-s-Mittelwert der Netzfrequenz, welche am Ende der Frequenzstufe i berechnet wird
- f_{i+1} ... 10-s-Mittelwert der Netzfrequenz, welche am Ende der Frequenzstufe i+1 berechnet wird

A.3.5 Dokumentation

Folgende Punkte müssen bei der Durchführung der Prüfung dokumentiert werden:

- Beschreibung des verwendeten Prüfverfahrens
- Messschrieb für den gesamten Zeitraum der Überprüfung
- Datum, Uhrzeit und Messzeit (alle Zeiten sowohl für den Beginn als auch für das Ende)
- Die in der Steuerung eingestellte Statik
- Referenzwirkleistung $P_{\text{ref,LFSMO}}$
- Leistung zu Beginn des Tests $P_{\text{Beginn,LFSMO}}$
- Frequenzsollwerte zu den einzelnen Messpunkten
- Theoretischer Sollwert der Wirkleistung (ermittelt durch die LFSM-O Kennlinie) zu den einzelnen Messpunkten
- Istwert der Wirkleistung zu den einzelnen Messpunkten
- Statik für die Sprünge 2 auf 3, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8
- Dynamikzeiten (Verzögerungszeit, Anschwingzeit, Einschwingzeit) für die Sprünge 2 auf 3, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8
- Übergangszeit für den Zustandswechsel Laden <-> Entladen und umgekehrt

Als Vorlagenbeispiel dienen die in Kapitel 8.3.1 gemäß Anhangsdokument vorgegebenen Beispieltabellen zur Dokumentation der zu messenden bzw. auszuwertenden Größen.

A.4 Wirkleistungsanpassung bei Unterfrequenz (LFSM-U)

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.1.6 der TOR SEA und Kapitel 5.1.2 der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 8.3.2 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.4.1 Prüfverfahren

Für den Test der Wirkleistungsanpassung bei Unterfrequenz (LFSM-U) sind folgende Prüfverfahren zulässig:

- **Sollwertänderung an der Steuerung vor Ort**
Es handelt sich dabei um die Verstellung der Sollwerte (Nennfrequenzwerte) an der Steuerung des bidirektionalen Energiesystems. Die Veränderung der

eingestellten Nennfrequenz würde aufgrund der Differenz zur extern gemessenen Netzfrequenz eine Abweichung vom Sollwert bewirken. Dies lässt sich graphisch durch eine zusätzliche x-Achse darstellen, siehe Abbildung 7.

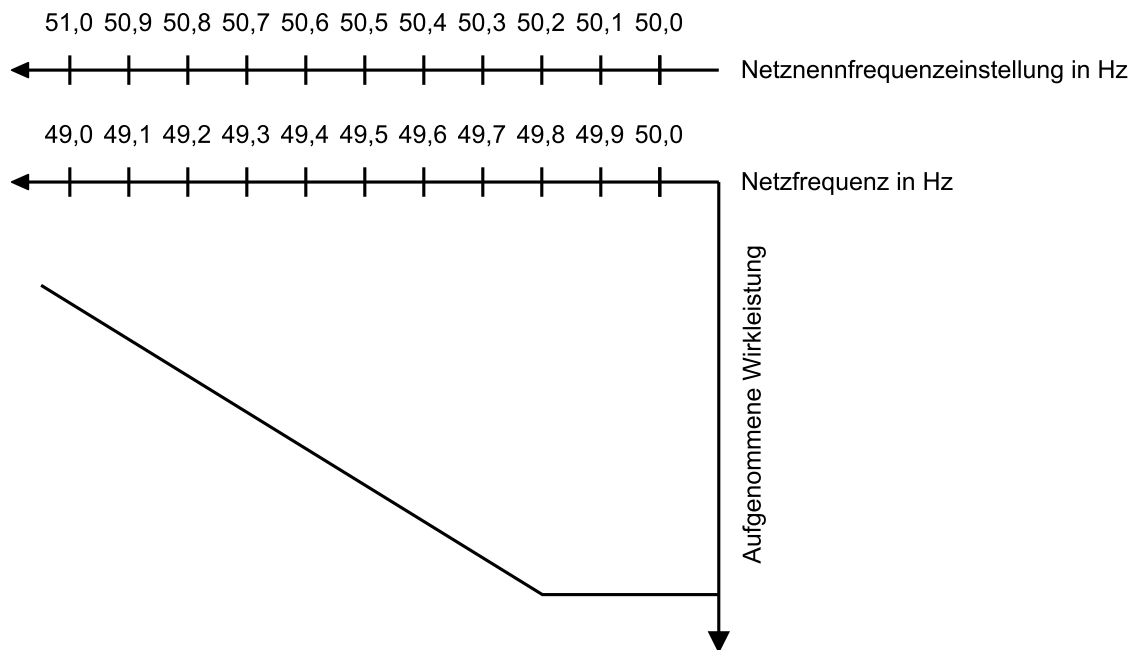


Abbildung 7: Beispielhafte Einstellung der Nennfrequenz, repräsentiert durch eine zusätzliche x-Achse für den LFSM-U Modus

Dieses Prüfverfahren ist nur bei bidirektionalen Energiesystemen zulässig, welche die Veränderung der Nennfrequenz im laufenden Betrieb ermöglichen.

- **Verstellung der Eingangssignale² der Steuerung**

Dieses Prüfverfahren kann verwendet werden, wenn in der Steuerung des bidirektionalen Energiesystems ein dedizierter Eingangsslot bzw. eine Parametrier- oder Eingabemöglichkeit vorgesehen ist. Es können folgende Verstellungen des Eingangssignals vorgenommen werden:

- Direkte Verstellung des Eingangssignals
- Überlagerung eines Offsets zum Eingangssignal

- **Verwendung eines Netzsimulators**

Bei diesem Prüfverfahren wird ein Netzsimulator verwendet, welcher durch Parametrierung verschiedene Netzkonditionen darstellt und somit eine Variation der gemessenen Netzfrequenz ermöglicht. Solch ein Prüfverfahren erfordert die Verwendung eines entsprechenden Hardware-In-the-Loop (HIL) Setups. Die Prüfung mittels Netzsimulator ist nicht ausreichend, sofern bei dem bidirektionalen

² Das Eingangssignal kann technologiebedingt von unterschiedlichen Signalquellen stammen. Somit versteht man als Eingangssignal beispielsweise sowohl einen Drehzahlwert (mit anschließender Umwandlung) als auch einen Frequenzwert.

Energiesystem vor Ort die entsprechenden LFSM-O Signale von einem übergeordneten Regler (z.B. Parkregler) an die einzelnen Einheit gesendet werden. In diesem Fall ist vor Ort zusätzlich eines der obenstehenden Prüfverfahren durchzuführen.

A.4.2 Prüfungsdurchführung

Als Messpunkt der zu ermittelnden Größen ist der Netzanschlusspunkt zu wählen. Ist die Messung am Netzanschlusspunkt aufgrund von technischen Gegebenheiten nicht möglich, so kann auch ein abweichender Messpunkt gewählt werden (z.B. auf Einheiten-ebene). Eine allfällige Abweichung des Messpunktes vom Netzanschlusspunkt ist zu dokumentieren.

Leistung bei Beginn der Messungen für elektrische Batteriespeicher

- $P_{\text{ref,LFSMU}} = P_{\text{max}}$
- $P_{\text{Beginn,LFSMU}} \leq - 90 \% P_{\text{ref,LFSMU}}$ (Bezugsleistung)

Es werden die in Abbildung 9 und Tabelle 3 dargestellten Frequenz-Sollwerte nacheinander durchgeführt. Die Haltezeit jeder Sollwertvorgabe soll mindestens 1 Minute, nach Verbleiben der Wirkleistung innerhalb des Toleranzbandes (Erreichen der Einschwingzeit), betragen.

Es muss sowohl die vorgegebene Frequenz als auch die Wirkleistung als Momentanwert aufgezeichnet werden.

Die Auflösung der Frequenzmessung muss $\leq 10 \text{ mHz}$ sein. Die Auflösung für die Strom-Spannungsmessungen muss mindestens $1 \cdot 10^{-3}$ sein.

Bis zum Zeitpunkt der Sollwertsetzung der Frequenz ist eine Auflösung der Wirkleistungsmessung in 1-s-Mittelwerten ausreichend. In Abbildung 8 ist zusätzliche eine graphische Darstellung gegeben.

Nach Sollwertsetzung der Frequenz wird bis zum Erreichen der Einschwingzeit ist eine Auflösung der Wirkleistungsmessung in 0,2-s-Mittelwerten gefordert. Damit soll eine präzise Auswertung der Verzögerungszeit, Anschwingzeit und Einschwingzeit gewährleistet werden.

Nach Erreichen der Einschwingzeit und bis zu einer neuen Sollwertsetzung der Frequenz ist eine Auflösung der Wirkleistungsmessung in 1-s-Mittelwerten ausreichend.

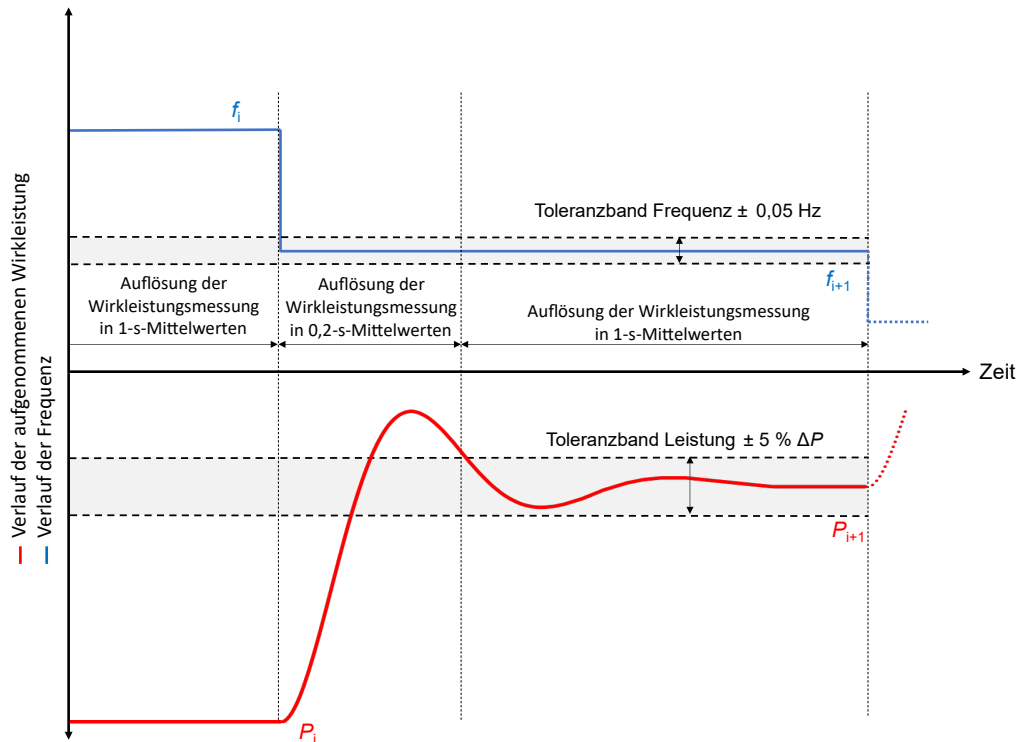


Abbildung 8: Beispielhafter Verlauf eines Frequenzsprunges im LFSM-U Modus mit Erläuterungen zur Auflösung der Wirkleistungsmessung

In Abbildung 9 und Tabelle 3 sind die einzustellenden Frequenzwerte mit den jeweiligen Toleranzbändern angegeben. Die Frequenztoleranzbänder sind vorgesehen, wenn die Frequenz mittels Sollwertänderung an der Steuerung vor Ort oder Netzsimulator vorgegeben wird.

Die Haltezeit von $t_{\min} \geq 1$ Minute ist vorgesehen, nachdem die Wirkleistung innerhalb des neuen Toleranzbandes von $\pm 5 \% \Delta P$ verblieben ist (nach Erreichen der Einschwingzeit).

Sofern ein Wirkleistungsgrenzwert bei einem Sprung (Messpunkt 1 bis Messpunkt 5) erreicht wird, muss das bidirektionale Energiesystem in der Lage sein, für die weiterführenden Punkte (bis inklusive Messpunkt 5) diesen Wirkleistungsgrenzwert halten zu können.

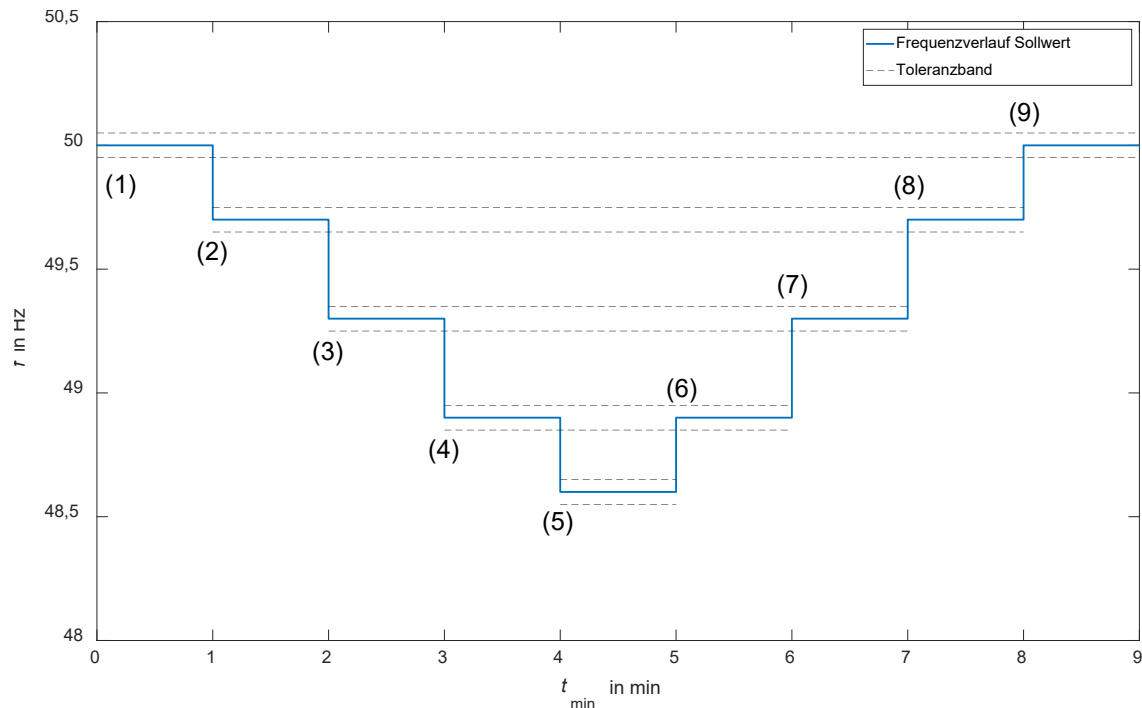


Abbildung 9: Frequenzverlauf für die Überprüfung der LFSM-U Fähigkeit

Zusätzlich sind in Tabelle 3 die einzustellenden Sollwerte der Frequenz mit den dazugehörigen Toleranzbändern angegeben.

Tabelle 3: Sollwerte für die Durchführung der LFSM-U-Überprüfung

Messpunkt	Frequenz (Sollwert)	Toleranzband
---	Hz	± Hz
1	50,00	0,05
2	49,70	
3	49,30	
4	48,90	
5	48,60	
6	48,90	
7	49,30	
8	49,70	
9	50,00	

A.4.3 Auswertung

In den folgenden Textpassagen wird als „Sprung“ eine Änderung vom Messpunkt n zum Messpunkt n+1 gemäß Tabelle 3 verstanden.

Die Ermittlung der Verzögerungszeiten bzw. An- und Einschwingzeiten erfolgt wie in Abbildung 10 dargestellt.

- **Verzögerungszeit**

Die Verzögerungszeit soll wie folgt beim Sprung von 2 auf, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8 ermittelt werden:

$$T_{\text{Verzögerung,LFSMU}} = t_1 - t_0$$

Beträgt die Verzögerungszeit $T_{\text{Verzögerung,LFSMU}} > 2$ s, so ist dies unter Vorlage entsprechender Nachweise zu dokumentieren und begründen. Der Netzbenutzer kann sich in diesem Fall auch auf weitere Messsignale stützen, welche für die Ermittlung der Verzögerungszeit berücksichtigt werden können (z.B. Stellpositionen von Ventilen).

- **Anschwingzeit**

Unter der Anschwingzeit wird die verstrichene Zeit nach Vorgabe des neuen Sollwertes der Frequenz bis zum Erreichen des Toleranzbandes von $\pm 5 \% \Delta P$ des neu einzuregelnden Wirkleistungswertes für die Sprünge von 2 auf, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8 verstanden.

$$T_{\text{A,LFSMU}} = t_2 - t_0$$

- **Einschwingzeit**

Unter der Einschwingzeit wird die verstrichene Zeit nach Vorgabe des neuen Sollwertes der Frequenz bis zum stationären Verbleiben der Wirkleistung innerhalb des Toleranzbandes von $\pm 5 \% \Delta P$ des neu einzuregelnden Wirkleistungswertes für die Sprünge von 2 auf, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8 verstanden.

$$T_{\text{E,LFSMU}} = t_3 - t_0$$

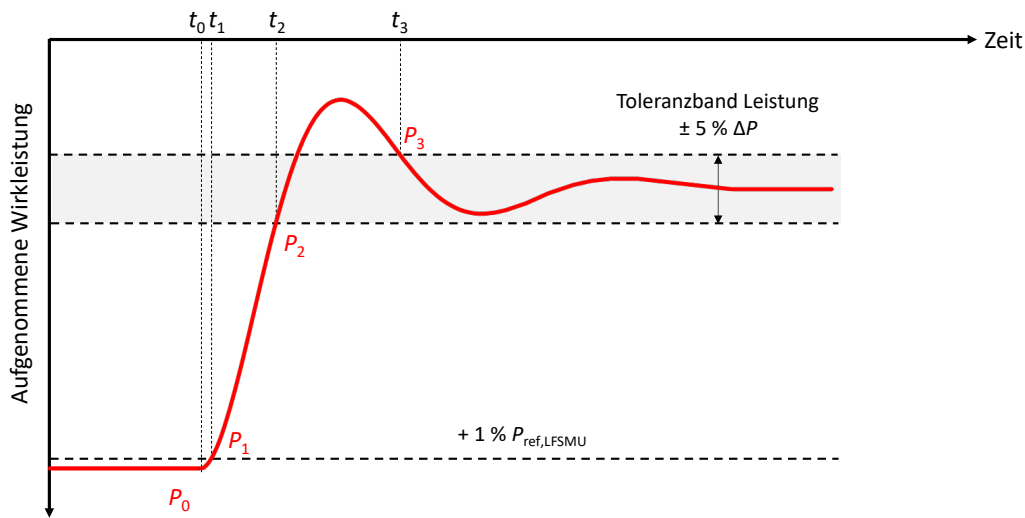


Abbildung 10: Beispielhafter Verlauf der Wirkleistung nach Frequenz-Sollwertänderung zur Ermittlung der Dynamik

t_0 ... Zeitpunkt der Aktivierung der Frequenzwertvorgabe, nachdem mindestens 1 min an Haltezeit nach Erreichen der Einschwingzeit eingehalten wurde

t_1 ... Überschreitungszeitpunkt von $+ 1 \% P_{\text{ref,LFSMU}}$ von der stationären Leistung P_0

t_2 ... Zeitpunkt der Erreichung des „neuen“ Leistungstoleranzbandes

t_3 ... Zeitpunkt des Verbleibens innerhalb des „neuen“ Leistungstoleranzbandes

Die Ermittlung der Übergangszeit von Entladen zu Laden bzw. von Laden zu Entladen findet anhand der Leistungsnulldurchgänge und einem Erreichen des Schwellwertes von $\pm 1 \% P_{\text{max}}$ um die Wirkleistung $0 \% P_{\text{max}}$ statt. Diese Zeit wird zusätzlich zu den anderen Zeiten beim Übergang ermittelt.

In Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber kann statt der Ermittlung der An- und Einschwingzeit auch die Bewertung des zeitlichen Leistungsgradienten herangezogen werden:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{P_{\text{Soll}} - P_1}{t(P_{\text{Ist}} = P_{\text{Soll}}) - t_1}$$

Gemäß TOR SEA und TOR VNA sind folgende Zeiten für elektrische Batteriespeicher empfohlen:

- $T_{\text{A,LFSMU}} \leq 0,5 \text{ s}$ für eine Wirkleistungsänderung von 100 % von P_{max}
- $T_{\text{E,LFSMU}} \leq 20 \text{ s}$

- $T_{\text{Verzögerung,LFSMU}} \ll T_A$

Der Wirkleistungsgradient in Abhängigkeit der Frequenz ist bei den Sollwertsprüngen von 2 auf 3, 3 auf 4 und 4 auf 5 wie folgt zu bestimmen. Eine zusätzliche graphische Erläuterung ist in Abbildung 11 gegeben.

$$\frac{\Delta P}{\Delta f} = \frac{P_{i+1} - P_i}{f_{i+1} - f_i}$$

Die Umrechnung vom Wirkleistungsgradienten in Abhängigkeit der Frequenz $\frac{\Delta P}{\Delta f}$ zur Statiks erfolgt folgendermaßen:

$$s = 100 \cdot \frac{|\Delta f|}{f_n} \cdot \frac{P_{\text{ref,LFSMU}}}{|\Delta P|} \quad \text{mit} \quad [s] = \%$$

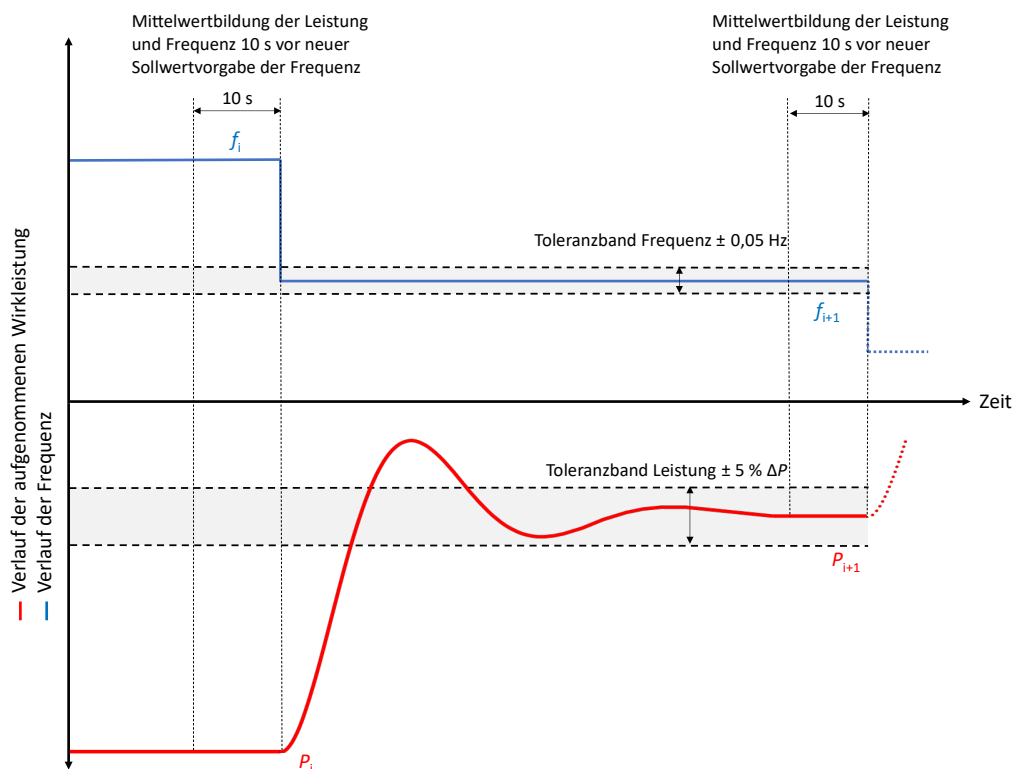


Abbildung 11: Beispielhafter Verlauf der Wirkleistung nach Frequenz-Sollwertänderung zur Ermittlung der Dynamik

P_i ... 10-s-Mittelwert der Wirkleistung, welche am Ende der Frequenzstufe i berechnet wird

P_{i+1} ... 10-s-Mittelwert der Wirkleistung, welche am Ende der Frequenzstufe $i+1$ berechnet wird
 f_i ... 10-s-Mittelwert der Netzfrequenz, welche am Ende der Frequenzstufe i berechnet wird
 f_{i+1} ... 10-s-Mittelwert der Netzfrequenz, welche am Ende der Frequenzstufe $i+1$ berechnet wird

A.4.4 Dokumentation

Folgende Punkte müssen bei der Durchführung der Prüfung dokumentiert werden:

- Beschreibung des verwendeten Prüfverfahrens
- Messschrieb für den gesamten Zeitraum der Überprüfung
- Datum, Uhrzeit und Messzeit (alle Zeiten sowohl für den Beginn als auch für das Ende)
- Die in der Steuerung eingestellte Statik
- Referenzwirkleistung $P_{\text{ref,LFSMU}}$
- Leistung zu Beginn des Tests $P_{\text{Beginn,LFSMU}}$
- Frequenzsollwerte zu den einzelnen Messpunkten
- Theoretischer Sollwert der Wirkleistung (ermittelt durch die LFSM-O Kennlinie) zu den einzelnen Messpunkten
- Istwert der Wirkleistung zu den einzelnen Messpunkten
- Statik für die Sprünge 2 auf 3, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8
- Dynamikzeiten (Verzögerungszeit, Anschwingzeit, Einschwingzeit) für die Sprünge 2 auf 3, 3 auf 4, 4 auf 5, 5 auf 6, 6 auf 7 und 7 auf 8
- Übergangszeit für den Zustandswechsel Laden <-> Entladen und umgekehrt

Als Vorlagenbeispiel dienen die in Kapitel 8.3.2 gemäß Anhangsdokument vorgegebenen Beispieltabellen zur Dokumentation der zu messenden bzw. auszuwertenden Größen.

A.5 FRT-Fähigkeit

A.5.1 Allgemeines

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.2.1 der TOR SEA und 5.2 der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.3 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

Die Anforderungen müssen am Netzanschlusspunkt erfüllt werden. Das entsprechende Prüfverfahren gemäß Kapitel A.5.2 (z.B. Erzeugung eines Spannungseinbruches/-erhöhung mittels mobilem Prüfcontainer) kann in begründeten Fällen auch an einem abweichenden Punkt durchgeführt werden. Derartige Abweichungen sind entsprechend zu dokumentieren und mit dem relevanten Netzbetreiber abzustimmen. In diesem Zusammenhang muss zudem sichergestellt werden, dass der gewählte Punkt die Anforderungen der FRT-Fähigkeit am Netzanschlusspunkt nicht einschränkt.

Spannungsmessung für die Regelung:

Es muss gewährleistet werden, dass die Spannungsmessung für die Regelung dreiphasig misst und den Spannungseinbruch korrekt darstellt.

Bei der Überprüfung der FRT-Fähigkeit müssen bidirektionale Energiesysteme auch die in Kapitel A.6 (Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern) genannten Prüfpunkte beachtet werden, da ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen diesen Anforderungen besteht. Um redundante Überprüfungen zu vermeiden ist deshalb auf die Dokumentation der Signale zu achten, welche sowohl den Forderungen der FRT-Fähigkeit (siehe Kapitel A.5) als auch der Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern (siehe Kapitel A.6) genügen soll.

Es muss ein Nachweis (z.B. Auszug der Einstellparameter) erbracht werden, dass die FRT-Fähigkeit für mehrfach aufeinanderfolgende Fehler softwaretechnisch nicht unbunden wird.

A.5.2 Prüfverfahren

Vorortprüfungen sind mit entsprechender Vorlaufzeit mit dem relevanten Netzbetreiber abzustimmen und erst nach dessen Freigabe möglich.

Für den Test der FRT-Fähigkeit sind folgende Prüfverfahren zulässig:

- **Verwendung eines Prüfcontainers**

Eine verbreitete Prüfeinrichtung, stellt die Erzeugung eines Spannungseinbruches / einer Spannungserhöhung mit Hilfe einer schaltbaren Fehlerimpedanz dar. Diese Art von Prüfeinrichtung (Prüfcontainer) ist in Abbildung 12 dargestellt und wird für kleine bis mittelgroße Anlagen (bis ca. ≈ 10 MW) verwendet.

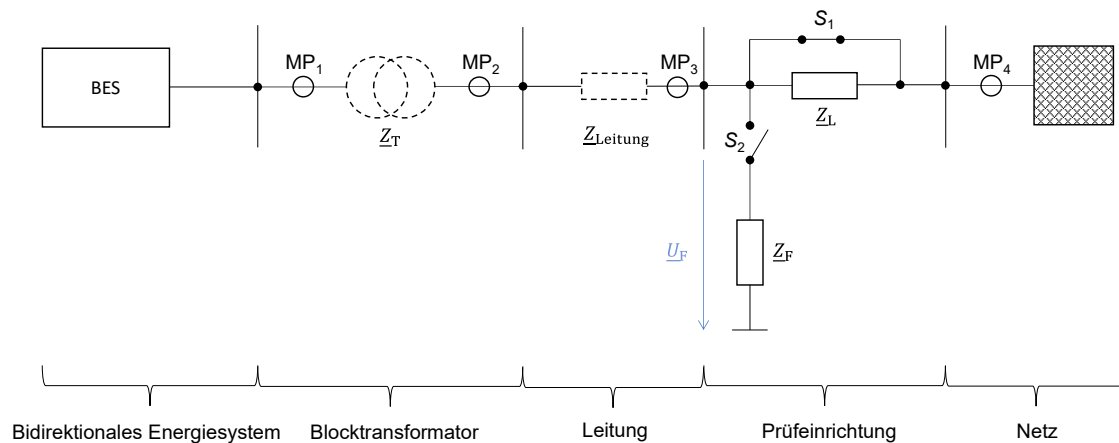


Abbildung 12: Topologie der Prüfeinrichtung für die FRT-Fähigkeit

S_1	...	Bypassschalter zum Kurzschließen der Längsimpedanz
S_2	...	Schalter für Zuschaltung der Fehlerimpedanz
$\underline{U}_F$	...	Spannung am Netzanschlusspunkt
$\underline{Z}_F$	...	Fehlerimpedanz der Prüfeinrichtung
$\underline{Z}_{Leitung}$	...	Leitungsimpedanz
$\underline{Z}_L$	...	Längsimpedanz der Prüfeinrichtung
$\underline{Z}_T$	...	Transformatorimpedanz
BES	...	Bidirektionales Energiesystem
MP ₁	...	Messpunkt an den Klemmen (Blocktransformator unterspannungsseitig)
MP ₂	...	Messpunkt Blocktransformator overspannungsseitig
MP ₃	...	Messpunkt zwischen Zuleitung und Netz (PCC)
MP ₄	...	Messpunkt zwischen Prüfcontainer und Netz

Für die Impedanzen $\underline{Z}_L$ und $\underline{Z}_F$ der Prüfeinrichtung wird mindestens ein X_F/R_F -Verhältnis ≥ 3 empfohlen.

Falls kein Blocktransformator vorhanden wird, so wird der Messpunkt MP₁ und MP₂ zu einem Messpunkt zusammengefasst.

Falls keine Zuleitung vorhanden ist, so wird der Messpunkt MP₂ und MP₃ zu einem Messpunkt zusammengefasst.

Sind sowohl Blocktransformator als auch die Zuleitung nicht vorhanden, so werden die Messpunkte MP₁, MP₂ und MP₃ zu einem Messpunkt zusammengefasst.

- **Verwendung eines Netzsimulators**

Bei diesem Prüfverfahren wird ein Netzsimulator verwendet, welcher durch Parametrierung verschiedene Netzkonditionen darstellt und somit eine Variation der Spannung ermöglicht. Solch ein Prüfverfahren erfordert die Verwendung eines entsprechenden Hardware-In-the-Loop (HIL) Setups. Ein geeignetes Controller Hardware In the Loop System (CHIL) ermöglicht ebenfalls eine Überprüfung der FRT-Fähigkeit von bidirektionalen Energiesystemen mit größeren Leistungen.

In Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber kann auch eine anderwärtige Methode zur Überprüfung der FRT-Fähigkeit festgelegt werden.

A.5.3 Prüfungsdurchführung

Alle Fehlerkurven müssen sowohl für 3-polige Fehler als auch für 2-polige Fehler durchgeführt werden. Bei 2-poligen Fehlern ist zu beachten, dass mindestens für einen Überprüfungspunkt die Leiterkombination geändert wird (z.B. erfolgt die gesamte Überprüfung mit L1-L2, während in mindestens einem Überprüfungspunkt die Leiterkombination L1-L3 oder L2-L3 gewählt wird).

Die Überprüfung hat sowohl im Vorfehlermodus „Bezug“ als auch „Lieferung“ zu erfolgen.

Sofern vom relevanten Netzbetreiber keine anderwärtigen Vorgaben gemacht wurden, so sind folgende Werte vor dem Beginn der Überprüfung einzustellen:

- $P_{VF,FRT} \leq -90 \% P_{ref,FRT}$ (Bezug) und $P_{VF,FRT} \geq 90 \% P_{ref,FRT}$ (Lieferung) entspricht Test „Volllast“
Sofern die gesamte Anlage geprüft wird, so ist als Referenzleistung $P_{ref,FRT}$ die Maximalkapazität P_{max} heranzuziehen. Wird unter bestimmten Fällen nur eine einzelne Einheit überprüft, so ist als Referenzleistung $P_{ref,FRT}$ die Bemessungsleistung P_r der überprüfenden Einheit heranzuziehen.
- $|Q_{VF,FRT} / P_{ref,FRT}| \leq 10 \%$
- $U_{VF,FRT} = 100 \% U_{ref,FRT} \pm 4 \%$
Wird die Spannung vom Netz vorgegeben, so ist diese als Vorfehlerspannung U_{VF} heranzuziehen.

$P_{VF,FRT}$	...	Vorfehlerleistung
$P_{ref,FRT}$	...	Referenzleistung für die FRT-Überprüfung
P_{max}	...	Maximalkapazität des bidirektionalen Energiesystems
P_r	...	Bemessungsleistung bidirektionalen Einheit

$Q_{VF,FRT}$...	Vorfehlerleistung
$U_{VF,FRT}$...	Effektivwert der Vorfehlerspannung
$U_{ref,FRT}$...	Referenzspannung für die FRT-Überprüfung

Die Prüfungsdurchführung erfolgt üblicherweise durch die Kombinationen von rechteckförmigen Spannungseinbrüchen/-erhöhungen mit verschiedenen Fehlerklärungszeiten.

Die nachstehend dargestellten rechteckförmigen Spannungseinbrüche/-erhöhungen, stellen eine idealisierte Form eines realen Spannungsverlaufes bei unterschiedlichen Fehlerklärungszeiten und Spannungsamplituden dar.

Die Fehlerkurven mit der dazugehörigen Grenzwertkurve sind in Abbildung 13 graphisch dargestellt. Die dazu erforderlichen Wertepaare (Fehlerspannung mit Fehlerklärungszeit) sind in der Tabelle 4 ersichtlich.

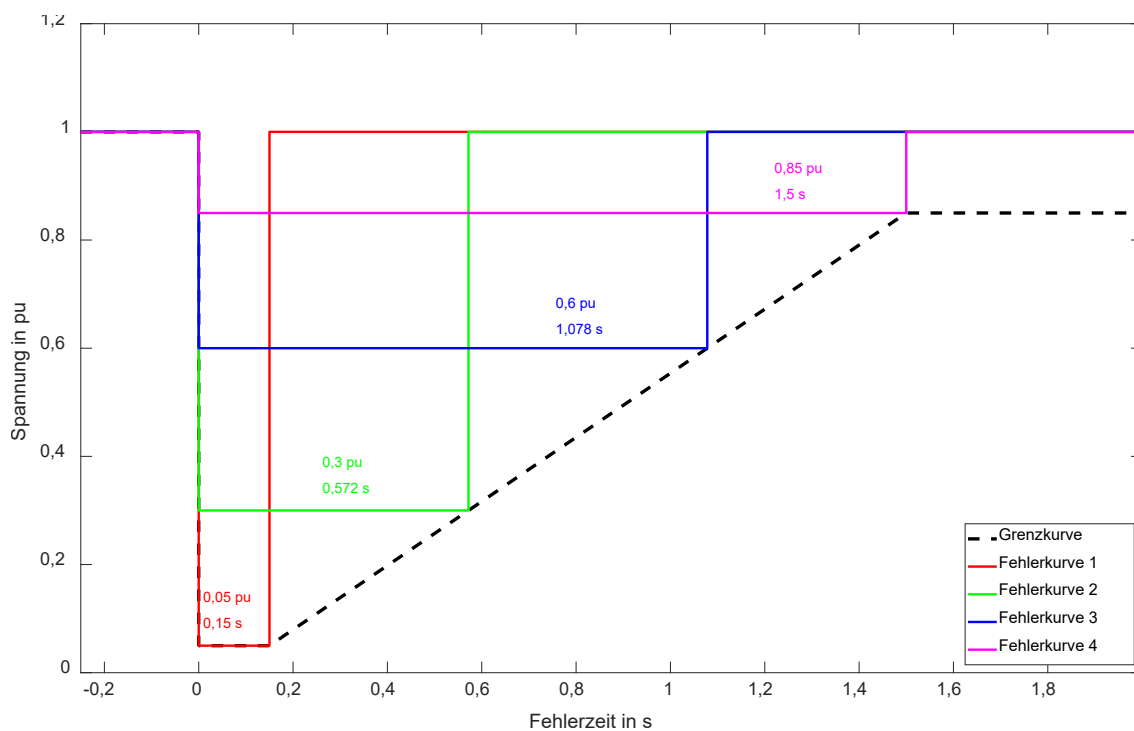


Abbildung 13: LVRT Fehlerkurven für Typ B

Tabelle 4: Vorgabewerte für LVRT Fehlerkurven für Typ B

Fehlerkurve	Fehlerspannung	Fehlerklärungszeit	Vorlastzustand
---	pu	s	---
1	$0,05 \pm 0,04 U_n$	0,15	Volllast
2	$0,30 \pm 0,04 U_n$	0,572	

3	$0,60 \pm 0,04 U_n$	1,078	
4	$0,85 \pm 0,04 U_n$	1,50	

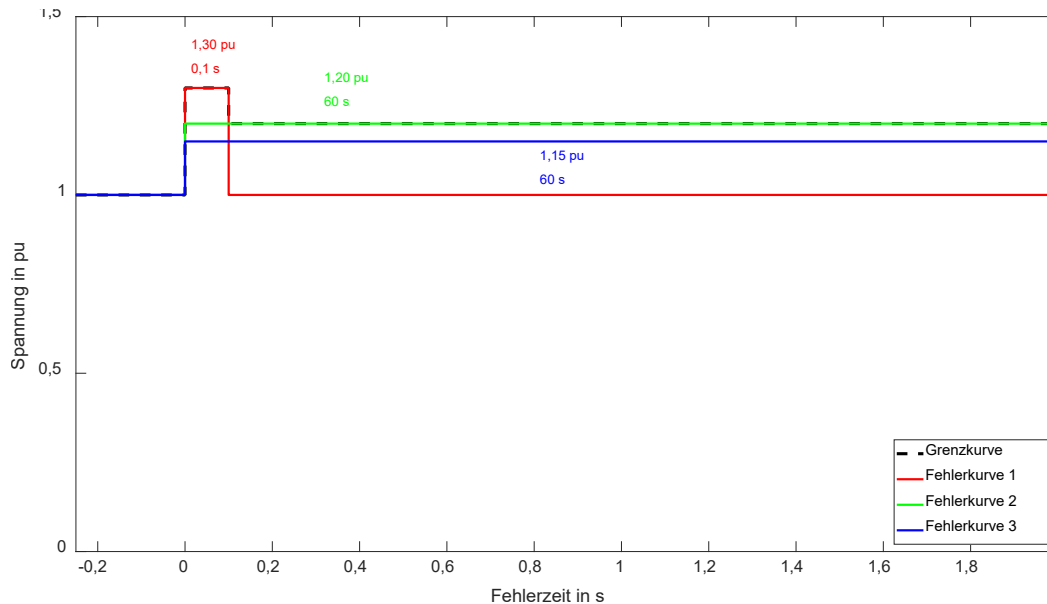


Abbildung 14: HVRT Fehlerkurven

Tabelle 5: Vorgabewerte für HVRT Fehlerkurven

Fehlerkurve	Fehlerspannung	Fehlerklärungszeit	Vorlastzustand
---	pu	s	---
1	$1,30 \pm 0,04 U_n$	0,1	Volllast
2	$1,20 \pm 0,04 U_n$	60	
3	$1,15 \pm 0,04 U_n$	60	

A.5.4 Auswertung

Um redundante Überprüfungen zu vermeiden sind die nachstehenden zu dokumentierenden Größen ebenfalls für die Nachweise gemäß Kapitel A.6 „Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern“ heranzuziehen.

Die Aufzeichnungen sind 10 Sekunden vor Fehlereintritt bis 10 Sekunden nach Fehlerklärung am Netzanschlusspunkt durchzuführen. Wurde die Messung an einem vom Netzanschlusspunkt abweichenden Punkt durchgeführt, so ist dies zu dokumentieren und auf den Netzanschlusspunkt umzurechnen.

Falls ein Prüfcontainer verwendet wurde sind die Aufzeichnungen 10 Sekunden vor Fehlereintritt bis 10 Sekunden nach Fehlerklärung am Messpunkt MP₃ und zusätzlich empfohlen, am MP₁ und MP₂ durchzuführen.

Alle relevanten Größen sind vor Fehlereintritt als 1-s-Mittelwerte zu bestimmen.

Während den dynamischen Vorgängen und nach Fehlerklärung sind die relevanten Größen als 1-ms-Mittelwerte zu bestimmen.

A.5.5 Dokumentation

Folgende Größen sind zu dokumentieren:

- Beschreibung der verwendeten Überprüfungsmethode
- Referenzspannung $U_{\text{ref,FRT}}$
- Datum, Uhrzeit (Beginn und Ende) der Prüfungsdurchführung
- Messschrieb während der gesamten Überprüfungsdauer
- Wirk- und Blindleistung im Mit- und Gegensystem
- Außenleiterspannungen
- Spannung im Mit- und Gegensystem
- Strangströme
- Wirk- und Blindströme im Mit- und Gegensystem
- Festhaltung der Zeitpunkte für Fehlereintritt t_{FE} und Fehlerklärung t_{FK}
- Kurzschlussleistung und Impedanzverhältnis des Netzes
- Parameter des (falls vorhandenen) Transformators
- Parameter der (falls vorhandenen) Leitung

Zusätzliche Dokumentation, falls ein Prüfcontainer verwendet wurde:

- Typ des Prüfcontainers
- Bauteilwerte der Längs- und Fehlerimpedanz (falls diese verwendet wurden)
- $X_{\text{F}}/R_{\text{F}}$ -Verhältnis

Zusätzliche Dokumentation, falls ein HIL-System verwendet wurde:

- Typ des verwendeten Netzsimulators
- Beschreibung des HIL-Setups (Prinzipschaltbild mit Erläuterung)

Als Vorlagenbeispiel dienen die in Kapitel 8.3.3 vorgegebenen Beispieltabellen zur Dokumentation der zu messenden bzw. auszuwertenden Größen.

A.6 Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern

Ein Test zur Überprüfung der Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern muss nicht separat durchgeführt werden. Durch die Durchführung der Überprüfung der FRT-Fähigkeit gemäß Kapitel A.5 kann aus den dokumentierten Ergebnissen

die erforderliche Auswertung für Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern erfolgen.

A.6.1 Verhalten im Fehlerfall

A.6.1.1 Allgemeines

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.2.2.1 der TOR SEA und Kapitel [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.4.1 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

Es ist nicht erforderlich alle Verfahren zur dynamischen Blindstromstützung zu überprüfen. Die Überprüfung soll nur für das vom relevanten Netzbetreiber geforderte Verfahren durchgeführt werden.

Im Falle einer FRT-Triggerung über die Außenleiterspannungen sind bei asymmetrischen Fehlern Abweichungen vom Toleranzband im Bereich eines eventuell eingestellten Totbands zulässig, sofern anhand der Außenleiterspannungen dokumentiert wird, dass die FRT-Triggerung eine dynamische Blindstromeinspeisung vorzeitig aktiviert. Die berechneten Werte der symmetrischen Komponenten sind ebenfalls zu dokumentieren.

A.6.1.2 Auswertung

Die für die folgenden Auswertungen gültigen Vorzeichen entsprechen der Definition aus Kapitel 8.2 des Anhangdokuments.

Die Ermittlung der An- und Einschwingzeit soll gemäß der Abbildung 15 erfolgen.

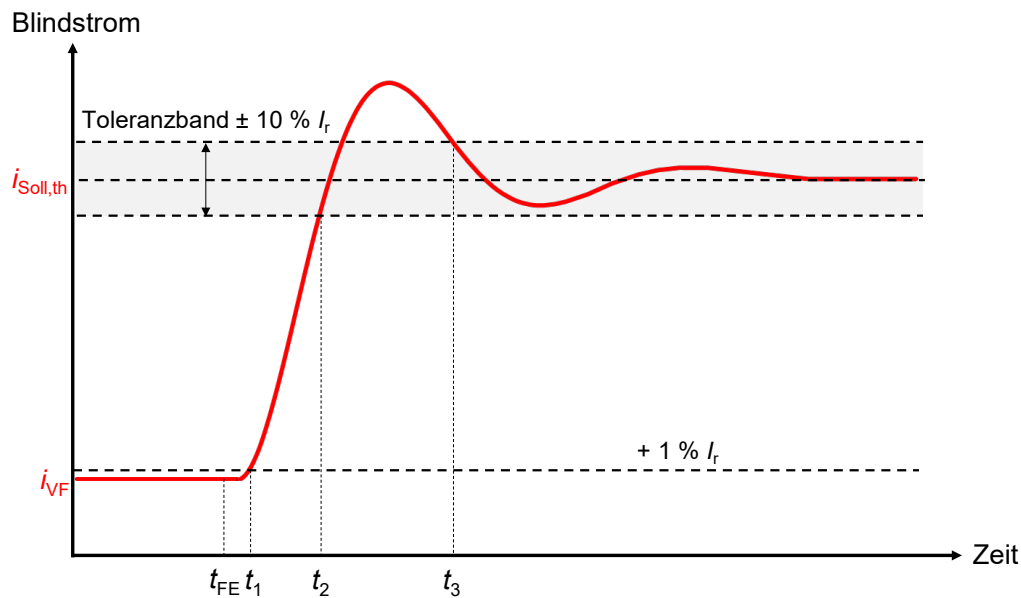


Abbildung 15: Beispielhafter Stromverlauf zur Ermittlung der An- und Einschwingzeit während eines Fehlers

$i_{\text{soll,th}}$	...	Theoretischer Sollwert, welcher anhand der vorgegebenen Kurve ermittelt wird
i_{VF}	...	Vorgefehlerwert des Blindstromes
t_{FE}	...	Zeitpunkt des Fehlereintritts
t_1	...	Überschreitungszeitpunkt von + 1 % I_r vom Vorgefehlerstrom i_{VF}
t_2	...	Zeitpunkt des Erreichens des „neuen“ Toleranzbandes
t_3	...	Zeitpunkt des stationären Verbleibens innerhalb des „neuen“ Toleranzbandes

- **Verzögerungszeit**

Unter der Verzögerungszeit wird die verstrichene Zeit nach Fehlereintritt bis zum Überschreitungszeitpunkt von + 1 % I_r vom Vorgefehlerstrom i_{VF} verstanden. Die Verzögerungszeit soll folgendermaßen ermittelt werden:

$$T_{\text{Verzögerung,dyn.NS}} = t_1 - t_{\text{FE}}$$

- **Anschwingzeit**

Unter der Anschwingzeit wird die verstrichene Zeit nach Fehlereintritt bis zum Erreichen des Toleranzbandes von $\pm 10 \% I_r$ des neu einzuregelnden Blindstromwertes verstanden. Die Anschwingzeit soll folgendermaßen ermittelt werden:

$$T_{\text{A,dyn.NS}} = t_2 - t_{\text{FE}}$$

- **Einschwingzeit**

Unter der Einschwingzeit wird die verstrichene Zeit nach Fehlereintritt bis zum stationären Verbleiben innerhalb des Toleranzbandes von $\pm 10 \% I_r$ des neu einzuregelnden Blindstromwertes verstanden. Die Einschwingzeit soll folgendermaßen ermittelt werden:

$$T_{E,dyn.NS} = t_3 - t_{FE}$$

Vollständige dynamische Netzstützung

Bei der vollständigen dynamischen Netzstützung wird ein Verstärkungsfaktor k (Default $k = 2$) vorgegeben, welcher die Steilheit der Kennlinie (siehe Abbildung 16 bzw. Abbildung 17), vorgibt. Ab dem Verlassen des Totbandes $\pm 10 \% U_{ref,dyn.NS}$ muss der eingespeiste Blindstrom entsprechend der eingestellten Kennlinie verändert werden.

Das Toleranzband für den einzustellenden Blindstromwert beträgt $\pm 10 \% I_r$. Die Spannungsabweichung bezieht sich auf die Referenzspannung $U_{ref,dyn.NS}$, während sich der Blindstrom auf den Bemessungsstrom bezieht.

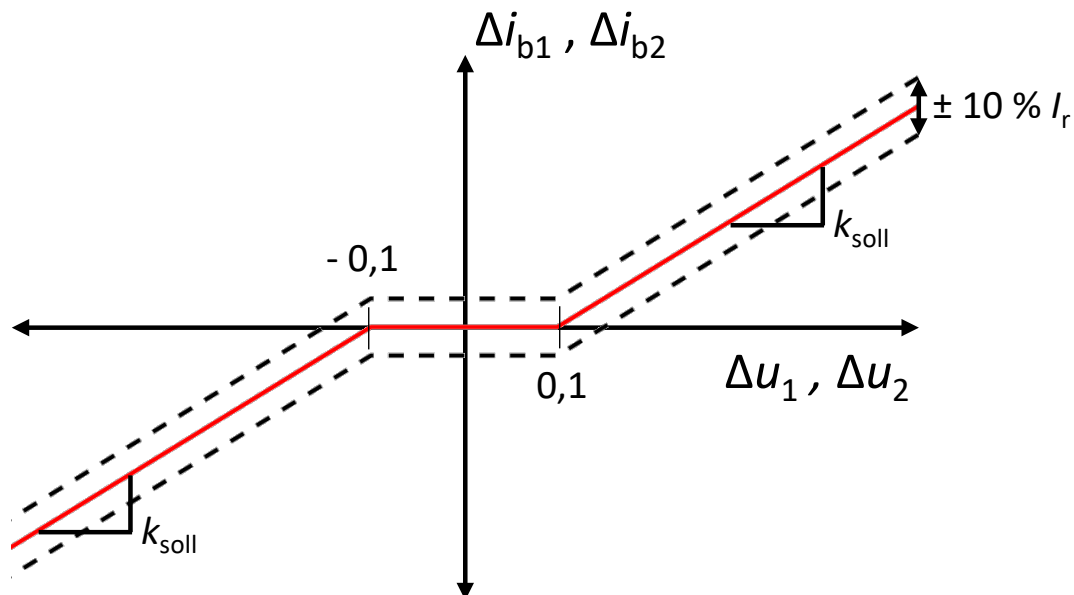


Abbildung 16: Beispielhafte Kennlinie der vollständigen dynamischen Netzstützung

Δi_{b1}	...	Zusätzlicher Blindstrom im Mitsystem
Δi_{b2}	...	Zusätzlicher Blindstrom im Gegensystem
Δu_1	...	Änderung der Spannung im Mitsystem

Δu_2 ... Änderung der Spannung im Gegensystem

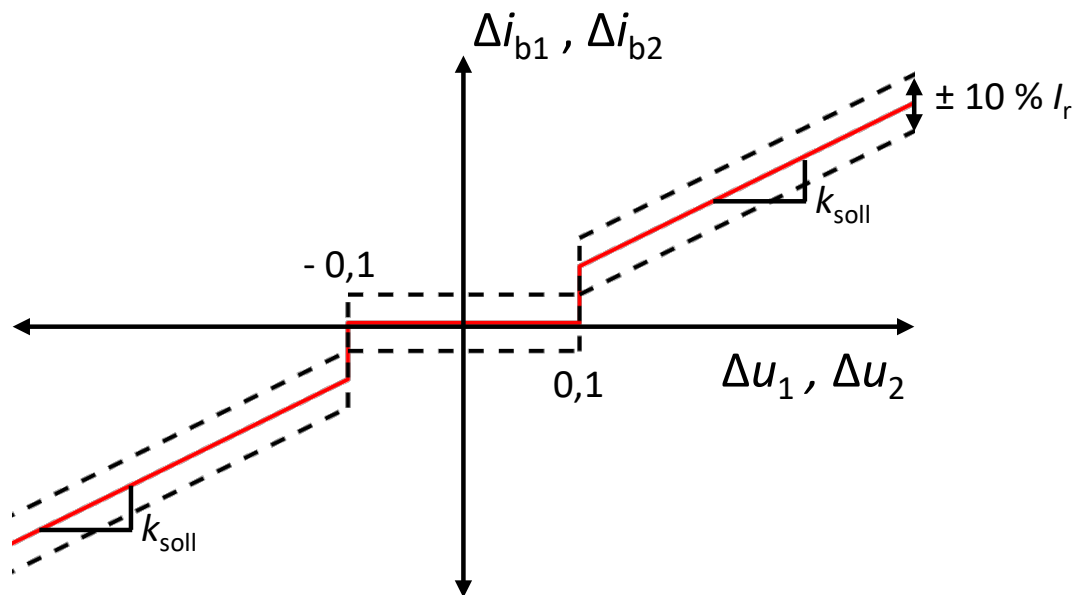


Abbildung 17: Beispielhafte Kennlinie der vollständigen dynamischen Netzstützung mit Sprung

Δi_{b1} ... Zusätzlicher Blindstrom im Mitsystem
 Δi_{b2} ... Zusätzlicher Blindstrom im Gegensystem
 Δu_1 ... Änderung der Spannung im Mitsystem
 Δu_2 ... Änderung der Spannung im Gegensystem

Es ist zu beachten, dass die Betriebsbereiche durch die Schutzeinstellungen begrenzt werden. Zum Beispiel kann bei Überschreitung einer eingestellten Überspannungsgrenze der Überspannungsschutz auslösen.

Eine positive Abweichung der Spannung entspricht einer Spannungsanhebung, während eine negative Abweichung der Spannung einer Spannungsabsenkung entspricht.

Unter einem positiven Blindstrom wird ein induktiver (spannungssenkender) Blindstrom verstanden. Dementsprechend stellt ein negativer Blindstrom einen kapazitiven (spannungshebenden) Blindstrom dar.

Für jeden der durchgeführten Spannungsänderungen gemäß Kapitel A.5.3 ist die Differenz des Blindstrom-Sollwertes und des Blindstrom-Istwertes nach dem Einschwingvorgang folgendermaßen zu bestimmen:

$$\Delta i = i_{\text{ist}} - i_{\text{soll,th}}$$

Δi	...	Ermittelte Abweichung des Istwertes vom Sollwert der Blindstromänderung
$i_{\text{soll,th}}$	...	Theoretischer Sollwert der Blindstromänderung, welcher durch die Kurve in Abbildung 16 bestimmt wird
i_{ist}	...	Istwert der Blindstromänderung, welcher durch die Messung bestimmt wird

Kontinuierliche dynamische Netzstützung

Die kontinuierliche dynamische Netzstützung ist nur mit Zustimmung des relevanten Netzbetreibers zulässig. Falls dieses Regelverfahren gefordert wurde, so muss beachtet werden, dass eventuell parallelwirkende Blindleistungsstrategien (z.B. $Q(U)$ -Regelung) während dem messtechnischen Nachweis deaktiviert werden, um eine selbstständige Beurteilung der kontinuierlichen dynamischen Netzstützung gewährleisten zu können.

Bei der kontinuierlichen dynamischen Netzstützung wird ein Verstärkungsfaktor k (Default $k = 2$) vorgegeben, welcher die Steilheit der Kurve, wie in Abbildung 18 dargestellt, vorgibt. Bei diesem Verfahren wird der Fehlerbeginnzeitpunkt nicht berücksichtigt, womit dem Kurvenverlauf entsprechend der eingespeiste Blindstrom ständig und kontinuierlich verändert werden muss.

Das Toleranzband von $\pm 10 \% I_r$ umschließt die Kurve. Somit muss der eingeregelter Blindstromwert des bidirektionalen Energiesystems innerhalb des Toleranzbandes sich befinden. Die Spannungsabweichung bezieht sich auf die Referenzspannung $U_{\text{ref,dyn.NS}}$, während der Blindstrom sich auf den Bemessungsstrom der bidirektionalen Einheit bezieht.

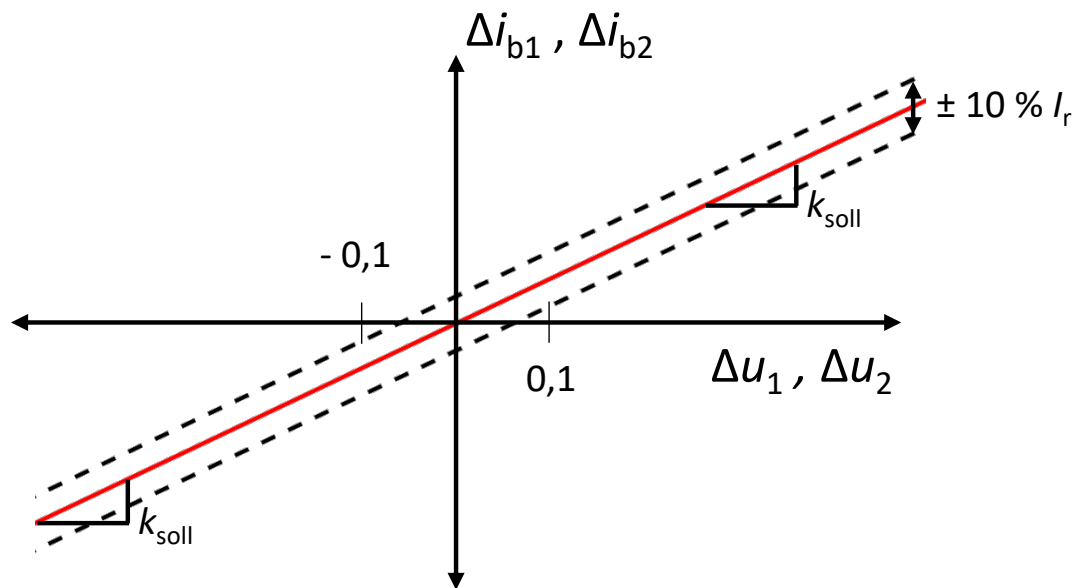


Abbildung 18: Beispielhafte Kennlinie der kontinuierlichen dynamischen Netzstützung

Δi_{b1}	...	Zusätzlicher Blindstrom im Mitsystem
Δi_{b2}	...	Zusätzlicher Blindstrom im Gegensystem
Δu_1	...	Änderung der Spannung im Mitsystem
Δu_2	...	Änderung der Spannung im Gegensystem

Es ist zu beachten, dass die Betriebsbereiche durch die Schutzeinstellungen begrenzt werden können. Zum Beispiel kann bei Überschreitung einer eingestellten Überspannungsgrenze der Überspannungsschutz auslösen.

Eine positive Abweichung der Spannung entspricht einer Spannungsanhebung, während eine negative Abweichung der Spannung einer Spannungsabsenkung entspricht.

Unter einem positiven Blindstrom wird ein induktiver (spannungssenkender) Blindstrom verstanden. Dementsprechend stellt ein negativer Blindstrom einen kapazitiven (spannungshebenden) Blindstrom dar.

Für jeden der durchgeführten Spannungsänderungen gemäß Kapitel A.5.3 ist die Differenz des Blindstrom-Sollwertes und des Blindstrom-Istwertes nach dem Einschwingvorgang folgend zu bestimmen:

$$\Delta i = i_{ist} - i_{soll,th}$$

Δi	...	Ermittelte Abweichung des Istwertes vom Sollwert der Blindstromänderung
$i_{\text{soll,th}}$	...	Theoretischer Sollwert der Blindstromänderung, welcher durch die Kurve in Abbildung 18 bestimmt wird
i_{ist}	...	Istwert der Blindstromänderung, welcher durch die Messung bestimmt wird

Eingeschränkte dynamische Netzstützung'

Bei der eingeschränkten dynamischen Blindstromstützung muss bei Unterschreitung des vom relevanten Netzbetreiber vorgegebenen Spannungswert $U_{\text{ref,dyn.NS}}$ der Strom in jedem Strang auf unter 10 % des Bemessungsstromes, wie in Abbildung 19 dargestellt, abgesenkt werden. Sofern kein Spannungswert vom relevanten Netzbetreiber vorgegeben wurde, so soll die Spannungsgrenze $U < 0,8 U_{\text{ref,dyn.NS}}$ herangezogen werden.

Zur Bewertung der eingeschränkten dynamischen Blindstromstützung werden die Grundschwingungseffektivwerte der Ströme zugrunde gelegt. Es muss für jeden Strangstrom die Auswertung durchgeführt werden.

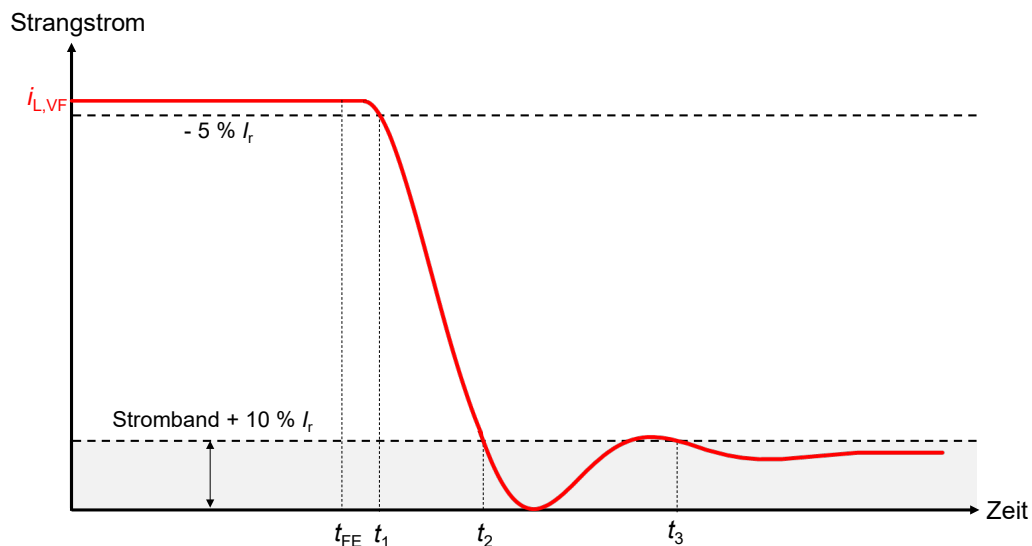


Abbildung 19: : Beispielhafter Verlauf des Strangstromes bei der eingeschränkten dynamischen Netzstützung

t_{FE}	...	Fehlereintrittszeitpunkt
t_1	...	Unterschreitungszeitpunkt von - 5 % I_r vom Vorfehlerstrom $i_{L,VF}$
t_2	...	Zeitpunkt der Erreichung des „neuen“ Leistungstoleranzbandes
t_3	...	Zeitpunkt des Verbleibens innerhalb des „neuen“ Leistungstoleranzbandes

$i_{L,VF}$	...	Vorfehlerwert des Strangstroms, welcher als 1-s-Mittelwert vor Unterschreitung des definierten Spannungstoleranzbandes ermittelt wird
i_r	...	Bemessungsstrom

Die Zeitverzögerung $T_{\text{Verzögerung,dyn.NS}}$ entspricht der Zeitdauer zwischen der Verletzung des Spannungstoleranzbandes und Absenkung des Vorfehlerstrangstromes um 5 % in allen Phasen und wird wie folgt berechnet:

$$T_{\text{Verzögerung,dyn.NS}} = t_1 - t_{FE}$$

Es ist dabei die maximal ermittelte Verzögerungszeit als Auswertung heranzuziehen.

Die Anschwingzeit $T_{A,\text{dyn.NS}}$ entspricht der Zeitdauer zwischen der Verletzung des Spannungstoleranzbandes und des erstmaligen Erreichens des neuen Strombandes von max. 0 % - 10 % des Bemessungsstromes und wird wie folgt berechnet:

$$T_{A,\text{dyn.NS}} = t_2 - t_{FE}$$

Die Einschwingzeit $T_{E,\text{dyn.NS}}$ entspricht der Zeitdauer zwischen der Verletzung des Spannungstoleranzbandes und des dauerhaften Verbleibens innerhalb des neuen Strombandes von max. 0 % - 10 % des Bemessungsstromes und wird wie folgt berechnet:

$$T_{E,\text{dyn.NS}} = t_3 - t_{FE}$$

A.6.1.3 Dokumentation

Folgende Größen sind zu dokumentieren:

- Art der Blindstromstützung
- Referenzspannung $U_{\text{ref,dyn.NS}}$
- Beim Verfahren „Eingeschränkte Blindstromstützung“:
 - Verzögerungszeit $T_{\text{Verzögerung,dyn.NS}}$
 - Anschwingzeit $T_{A,\text{dyn.NS}}$
 - Einschwingzeit $T_{E,\text{dyn.NS}}$
- Beim Verfahren „vollständige dynamische Blindstromstützung“ und „kontinuierliche dynamische Netzstützung“:
 - Theoretischer Sollwert des Blindstromes $i_{\text{soll,th}}$, welcher Anhand der Kennlinie ermittelt wird

- Tatsächlicher Sollwert des Blindstromes i_{soll} , welcher von der Regelung vorgegeben wird
- Istwert des Blindstromes i_{ist}
- Abweichung vom Sollwert Δi
- Verstärkungsfaktor k
- Verzögerungszeit $T_{\text{Verzögerung,dyn.NS}}$
- Anschwingzeit $T_{\text{A,dyn.NS}}$
- Einschwingzeit $T_{\text{E,dyn.NS}}$

Als Vorlagenbeispiel dienen die in Kapitel 8.3.4 gemäß den im Anhangdokument vorgegebenen Beispieltabellen zur Dokumentation der zu messenden bzw. auszuwertenden Größen.

A.6.2 Wiederaufnahme der Leistungsabgabe nach Fehlerklärung

A.6.2.1 Allgemeines

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.2.2.2 der TOR SEA und Kapitel [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.4.2 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.6.2.2 Auswertung

Eine allfällige Wiederaufnahme der Wirkleistungsaufnahme nach Fehlerklärung und deren Dynamik ist entsprechend Abbildung 20 zu ermitteln.

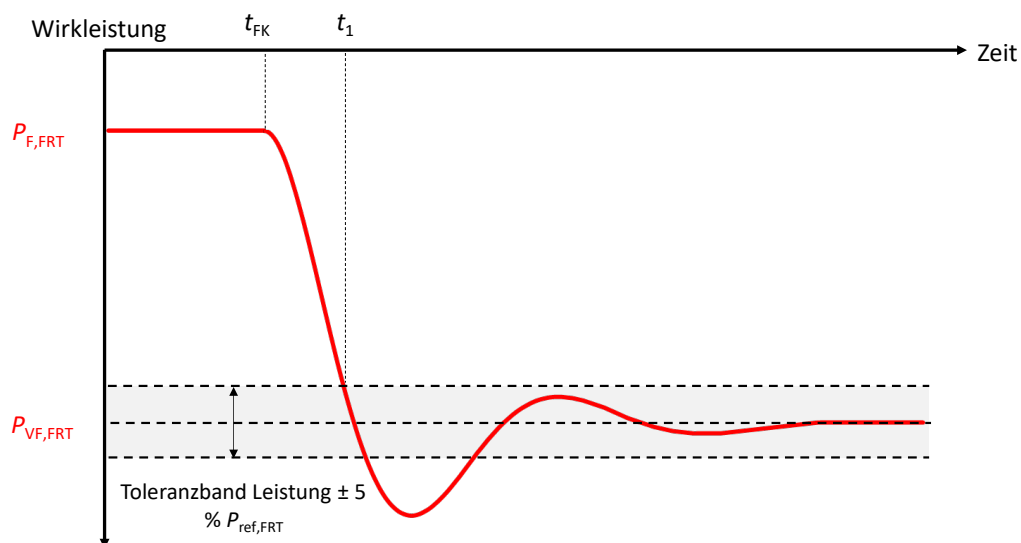


Abbildung 20: Ermittlung der Wirkleistungsrückkehr nach Fehlerklärung

t_{FK}	...	Fehlerklärungszeitpunkt
t_1	...	Zeitpunkt des Erreichens des Toleranzbandes des Vorfehlerwertes der Wirkleistung
$P_{VF,FRT}$	...	Wert der Vorfehlerleistung
$P_{F,FRT}$	...	Wert der Leistung zum Zeitpunkt der Fehlerklärung

Die Anschwingzeit $T_{A,LW}$ entspricht der Zeitdauer zwischen der Fehlerklärungszeit t_{FK} und des Erreichens des Toleranzbandes t_1 um den Wert der Vorfehlerleistung:

$$T_{A,LW} = t_1 - t_{FK}$$

Befindet sich die Leistung zum Zeitpunkt der Fehlerklärung innerhalb des Toleranzbandes von $P_{VF,FRT} \pm 5 \% P_{ref,FRT}$ so ist die Anschwingzeit mit $T_{A,LW} = 0$ s bewerten.

A.6.2.3 Dokumentation

Folgendes ist zu dokumentieren:

- Diagramm: Wirkleistung und Spannung mit dem Vorfehlerwert der Wirkleistung und dem Toleranzband um den Sollwert der Wirkleistung
- Anschwingzeit $T_{A,LW}$

Als Vorlagenbeispiel dienen die in Kapitel 8.3.4 gemäß den im Anhangdokument vorgegebenen Beispieltabellen zur Dokumentation der zu messenden bzw. auszuwertenden Größen. Die Auswertetabellen für den dynamischen Vorgang sind aufgrund der Größe nicht gegeben und soll als zusätzlicher Anhang hinzugefügt werden.

A.7 Blindleistungskapazität

A.7.1 Allgemeines

Die Überprüfung der Blindleistungskapazität erfolgt grundsätzlich am Netzanschlusspunkt. In Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber kann auch ein abweichender Punkt zur Überprüfung herangezogen werden. Sofern der Messpunkt vom Netzanschlusspunkt abweicht, müssen die Ergebnisse auf den Netzanschlusspunkt durch Berücksichtigung aller relevanten Anlagenelemente (z.B. Leitungsverbindungen, Transformatoren) umgerechnet werden.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.3.3 der TOR SEA und Kapitel 5.4.1 der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem

Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.7 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.7.2 Prüfverfahren

Für den Test der Blindleistungskapazität sind folgende Prüfverfahren zulässig:

- **Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandtest**

Bei diesem Prüfverfahren wird ein Netzsimulator verwendet, welcher durch Parametrierung verschiedene Netzkonditionen darstellt und somit eine Variation der gemessenen Spannung ermöglicht. Solch ein Prüfverfahren erfordert die Verwendung eines entsprechenden Hardware-In-the-Loop (HIL) Setups.

- **Feldtest**

Sofern kein Prüfstandtest möglich ist, muss das bidirektionale Energiesystem bei den aktuell vorherrschenden Betriebsbedingungen am Netz überprüft werden.

Dieser Test für die Ermittlung der Blindleistungskapazität darf nur nach Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber stattfinden. Im Zuge der Abstimmung muss u.a. das Ausmaß der Überprüfung festgelegt werden, z.B.:

- Test der gesamten Anlage
- Test einer einzelnen Einheit
- Test eines Blocks, bestehend aus mehreren Einheiten

Falls die Anlage aus mehreren elektrotechnisch gleichwertigen (typgleichen) Einheiten besteht und die Topologie der einzelnen Einheiten keine maßgebenden Unterschiede aufweist, können in Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber auch Teileinheiten der Anlage überprüft werden.

Als Beispiel für diesen Fall dient die in Abbildung 21 dargestellte Topologie eines Parks mit verteilten Einheiten. Für die Überprüfung der Blindleistungskapazität würde einer der zwei z.B. elektrischen Energiespeicher ausreichend sein.

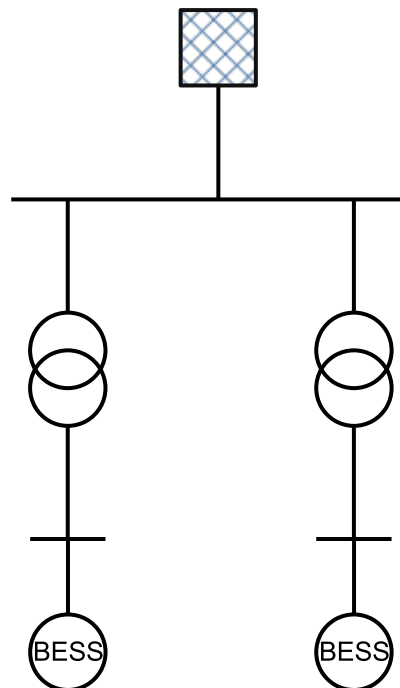


Abbildung 21: Beispielhafte Darstellung einer Topologie mit typgleichen Einheiten

Handelt es sich um eine Anlage, welche mehrere elektrotechnisch gleichwertige (typgleiche) Einheiten besitzt, diese jedoch aufgrund der Topologie verschieden angeordnet bzw. angebunden sind, kann für den Nachweis der Blindleistungskapazität jene Einheit herangezogen werden, welche den höchsten Kompensationsbedarf (z.B. von Leitungsverbindungen) innerhalb der gesamten Anlage aufweist. Als Beispiel für diesen Fall dient die in Abbildung 22 dargestellte Topologie, welche drei elektrotechnisch gleichwertige elektrische Energiespeicher repräsentiert.

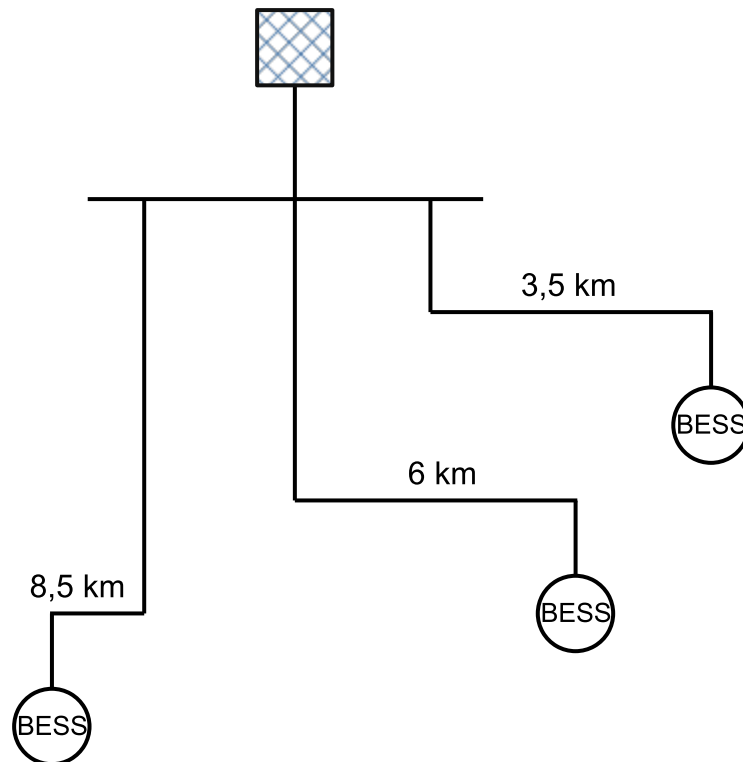


Abbildung 22: Beispielhafte Darstellung von verteilten Speicheranlagen

Können aus Betriebsgründen die restlichen Einheiten einer Anlage nicht abgeschaltet werden, muss sichergestellt werden, dass diese einen fixen Betriebspunkt (P und Q) während der Überprüfung vorgegeben bekommen, damit an der abgestimmten Messstelle das Verhalten der zu überprüfenden bidirektionalen Einheit durch Umrechnung ermittelt werden kann.

In Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber kann auch eine anderwärtige Methode zur Überprüfung der Blindleistungskapazität festgelegt werden.

A.7.3 Prüfungsdurchführung

Sofern die gesamte Anlage überprüft wird, entspricht $P_{\text{ref,Q-Test}} = P_{\text{max}}$. Wird auf Einheiten-ebene geprüft, ist für $P_{\text{ref,Q-Test}}$ die Bemessungsleistung P_r der Einheit bzw. die Summe der Bemessungsleistungen der verwendeten Einheiten heranzuziehen.

Sowohl für die Überprüfung bei Nennscheinleistung bzw. Maximalkapazität als auch unterhalb der Nennscheinleistung bzw. Maximalkapazität³ soll je Spannungswertvorgabe

³ In weiterer Folge wird anstatt der vollständigen Formulierung „bei / unterhalb der Nennscheinleistung bzw. Maximalkapazität“ lediglich die Formulierung „bei / unterhalb der Maximalkapazität“ für die einfachere

bzw. vorherrschender Betriebsspannung der maximale über- und untererregte Blindleistungsbereich (technisches Blindleistungsvermögen) ermittelt werden.

Die Überprüfung hat sowohl im Modus „Bezug“ als auch „Lieferung“ zu erfolgen.

- **Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandtest**

Bei Durchführung von Prüfstandtests muss die Prüfung die in Tabelle 6 angeführten Werte heranziehen. Weiters müssen die in Tabelle 7 angeführten Werte in der Prüfung herangezogen werden. Die angegebenen Werte für die Haltedauer T_{Q-Test} entsprechen dabei der Mindesthaltezeit nachdem der Einschwingvorgang abgeschlossen ist ($t \geq T_{E,Q-Test}$).

Blindleistungskapazität bei Maximalkapazität

Leistung zur Überprüfung der Blindleistungskapazität für elektrische Energiespeicher:

- $P_{Q-Test} \leq -90 \% P_{ref,Q-Test}$ (Bezugsrichtung)
- $P_{Q-Test} \geq 90 \% P_{ref,Q-Test}$ (Lieferrichtung)

Durch die Variation der Blindleistungssollwerte (unter- und übererregt) und der Spannungswerte gemäß Tabelle 6 wird der maximale Blindleistungsbereich bei Maximalkapazität überprüft. In Kapitel 8.3.5 gemäß Anhangdokument ist ein beispielhaftes ausgewertetes Diagramm dargestellt.

Tabelle 6: Einstellwerte und Haltedauern für die Überprüfung der Blindleistungskapazität bei Nennscheinleistung bzw. Maximalkapazität

	Messnummer	$U/U_{ref,Q-Test}$	Haltezeit T_{Q-Test}
Maximal übererregt	1	$0,9 \text{ pu} \pm 0,04 \text{ pu}$	jeweils mind. 1 Minuten
	2	$0,95 \text{ pu} \pm 0,04 \text{ pu}$	
	3	$1 \text{ pu} \pm 0,04 \text{ pu}$	

Lesbarkeit herangezogen. Unter der Bezeichnung „Maximalkapazität“ ist sinngemäß und abhängig vom aktuellen Kontext sowohl die Nennscheinleistung als auch die Maximalkapazität zu verstehen.

Maximal untererregt	4	1,05 pu $\pm$ 0,04 pu	
	5	1,1 pu $\pm$ 0,04 pu	
	6	0,9 pu $\pm$ 0,04 pu	
	7	0,95 pu $\pm$ 0,04 pu	
	8	1 pu $\pm$ 0,04 pu	
	9	1,05 pu $\pm$ 0,04 pu	
	10	1,1 pu $\pm$ 0,04 pu	

Für Einheiten, welche über einen gegenüber Tabelle 6 kleineren Betriebsspannungsbereich verfügen und für die Erfüllung der Blindleistungsbereiche Transformatoren mit Stufenschalter verwenden, gelten folgende Bedingungen:

- Prüfstandtests, welche ausschließlich mit der Einheit durchgeführt werden, sind zulässig, sofern die Einheit im zulässigen Betriebsspannungsbereich überprüft wird und anschließend deren Blindleistungsbereich über die entsprechenden Transformatorwerte und Stufenstellungen auf den Netzananschlusspunkt hochgerechnet wird.
- Bei Prüfstandtests, welche ebenfalls den Transformator im realen Prüfaufbau integrieren, ist während der Überprüfung auf die Dokumentation der aktuellen Stufenstellerposition zu achten.

Ein solcher Prüfstandtest ersetzt jedoch nicht vollständig einen Konformitätstest vor Ort.

Sofern das elektrische Energiesystem in der Lage ist, über die Blindleistungsbereiche gemäß TOR SEA und TOR VNA Blindleistung bereitzustellen, ist folgendes zu berücksichtigen:

Um das Verhalten bei länger andauernden Überschreitungen der gemäß TOR SEA und TOR VNA definierten spannungsabhängigen Blindleistungsbereiche nachvollziehen zu können, soll unter Berücksichtigung der Spannungsgrenzen der Einheit das Verhalten unter folgenden Einstellwerten dokumentiert werden:

- $U < 0,9 U_{\text{ref,Q-Test}}$ & $Q/P_{\text{ref,Q-Test}} > 0$ (Unterspannung und übererregt)
- $U > 1,1 U_{\text{ref,Q-Test}}$ & $Q/P_{\text{ref,Q-Test}} < 0$ (Überspannung und untererregt)

Blindleistungskapazität unterhalb Maximalkapazität

Leistung zur Überprüfung der Blindleistungskapazität bei elektrischen Energiespeichern:

- $P_{Q-Test} \leq -90 \% P_{ref,Q-Test}$ (Bezugsrichtung)
- $P_{Q-Test} \geq 90 \% P_{ref,Q-Test}$ (Lieferrichtung)

Durch die Variation der Wirkleistung- bzw. Blindleistungssollwerte (unter- und übererregt) gemäß Tabelle 7 wird der maximale Blindleistungsbereich unterhalb der Maximalkapazität überprüft.

Die Messungen müssen bei folgenden Spannungen durchgeführt werden:

- $U = 90 \% \pm 4 \% U_{ref,Q-Test}$
- $U = 95 \% \pm 4 \% U_{ref,Q-Test}$
- $U = 100 \% \pm 4 \% U_{ref,Q-Test}$
- $U = 105 \% \pm 4 \% U_{ref,Q-Test}$
- $U = 110 \% \pm 4 \% U_{ref,Q-Test}$

Im Bereich geringer Wirkleistungsbezüge ist ein erweiterter Blindleistungsbereich gefordert. Innerhalb des Wirkleistungsbereiches von $-20 \% P_{ref,Q-Test}$ bis $20 \% P_{ref,Q-Test}$ muss in beiden Richtungen (über- und untererregt) eine Blindleistung gemäß den äußeren Blindleistungsgrenzen bereitgestellt werden.

Tabelle 7: Einstellwerte und Haltezeiten für die Überprüfung der Blindleistungskapazität unterhalb der Maximalkapazität

	Mess-nummer	Wirkleistung	Wirkleistung Default-Werte	Haltezeit T_{Q-Test}
Maximal übererregt	1	-5 bis 0 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 0 bis 5 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	0 % $P_{ref,Q-Test}$	jeweils mind. 1 Mi- nuten
	2	-25 bis -20 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 20 bis 25 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	-20 % $P_{ref,Q-Test}$ 20 % $P_{ref,Q-Test}$	
	3	-50 bis -30 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 30 bis 50 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	-50 % $P_{ref,Q-Test}$ 50 % $P_{ref,Q-Test}$	
	4	- $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	---	
Maximal untererregt	5	-5 bis 0 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 0 bis 5 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	0 % $P_{ref,Q-Test}$	
	6	-25 bis -20 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 20 bis 25 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	-20 % $P_{ref,Q-Test}$ 20 % $P_{ref,Q-Test}$	
	7	-50 bis -30 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 30 bis 50 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	-50 % $P_{ref,Q-Test}$ 50 % $P_{ref,Q-Test}$	

	8	- $P_{\text{ref,Q-Test}}$ (Bezug) $P_{\text{ref,Q-Test}}$ (Lieferung)	---	
--	---	--	-----	--

Die Prüfpunkte 4 und 8 können entfallen, sofern diese Punkte durch die Überprüfung bei Maximalkapazität gemäß Tabelle 3 abgedeckt wurden.

- **Feldtest**

Bei Durchführung von Feldtests muss die Prüfung für die in Tabelle 8 angeführten Werte durchgeführt werden. Die angegebenen Werte für die Haltedauer $T_{\text{Q-Test}}$ entsprechen dabei der Mindesthaltezeit nachdem der Einschwingvorgang abgeschlossen ist ($t \geq T_{\text{E,Q-Test}}$).

Blindleistungskapazität bei Maximalkapazität und unterhalb der Maximalkapazität:

Leistung zur Überprüfung der Blindleistungskapazität für elektrische Energiespeicher:

- $P_{\text{Q-Test}} \leq -90 \% P_{\text{ref,Q-Test}}$ (Bezugsrichtung)
- $P_{\text{Q-Test}} \geq 90 \% P_{\text{ref,Q-Test}}$ (Lieferrichtung)

Es soll bei vorherrschenden Betriebsbedingungen (aktuelle Betriebsspannung) der maximale Blindleistungsbereich durch Variation der Wirkleistungs- und Blindleistungssollwerte (unter- und übererregt) gemäß Tabelle 8 ermittelt werden. Sofern mit dem relevanten Netzbetreiber abgestimmt, können auch von den möglichen Maximalwerten abweichende Blindleistungspunkte herangezogen werden, um unzulässige Betriebszustände im Netz zu vermeiden.

Eine Reduktion/Erhöhung der Wirkleistung zur Erfüllung der vorgegebenen Blindleistungsbereiche ist zulässig, sofern die Nennscheinleistung eingehalten wird.

Im Bereich geringer Wirkleistungsbezüge ist ein erweiterter Blindleistungsbereich gefordert. Innerhalb des Wirkleistungsbereiches von $-20 \% P_{\text{ref,Q-Test}}$ bis $20 \% P_{\text{ref,Q-Test}}$ muss in beiden Richtungen (über- und untererregt) eine Blindleistung gemäß den äußeren Blindleistungsgrenzen bereitgestellt werden.

Tabelle 8: Einstellwerte und Haltezeiten für die Überprüfung der Blindleistungskapazität unterhalb der Maximalkapazität

	Mess- nummer	Wirkleistung	Wirkleistung Default- Werte	Haltezeit T_{Q-Test}
Maximal überer- regt	1	-5 bis 0 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 0 bis 5 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	0 % $P_{ref,Q-Test}$	jeweils mind. 1 Mi- nuten
	2	-25 bis -20 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 20 bis 25 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	-20 % $P_{ref,Q-Test}$ 20 % $P_{ref,Q-Test}$	
	3	-50 bis -30 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 30 bis 50 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	-50 % $P_{ref,Q-Test}$ 50 % $P_{ref,Q-Test}$	
	4	- $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	---	
Maximal unterer- regt	5	-5 bis 0 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 0 bis 5 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	0 % $P_{ref,Q-Test}$	
	6	-25 bis -20 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 20 bis 25 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	-20 % $P_{ref,Q-Test}$ 20 % $P_{ref,Q-Test}$	
	7	-50 bis -30 % $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) 30 bis 50 % $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	-50 % $P_{ref,Q-Test}$ 50 % $P_{ref,Q-Test}$	
	8	- $P_{ref,Q-Test}$ (Bezug) $P_{ref,Q-Test}$ (Lieferung)	---	

Für die Messpunkte 4 und 8 ist die maximal zur Verfügung stehende Wirkleistung unter Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes für einen wirkleistungsmäßig stabilen Betrieb beim gewählten Arbeitspunkt zu verwenden.

A.7.4 Auswertung

Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandstest

Generell liegt bei Prüfstandstests der Messpunkt zur Auswertung an den Klemmen der Einheit. Falls weitere Elemente wie ein Transformator vorhanden sind, kann der Messpunkt auch von den Klemmen abweichen. Es sollen folgende Größen als 1-Minuten-Mittelwerte bestimmt werden:

- Wirkleistung
- Blindleistung
- Scheinleistung
- Außenleiterspannung oder Strangspannung (Leiter-Erde Spannung)
- Stufenschalterposition, falls ein Transformator mit Stufensteller verwendet wurde

Die Mittelung der Werte erfolgt frühestens nach dem Einschwingvorgang ($t \geq T_{E,Q-Test}$) und hat bis zur Vorgabe eines neuen Sollwerts zu erfolgen.

Feldtest

Es müssen folgende Größen als 1-Minuten-Mittelwert am Netzanschlusspunkt bzw. dem mit dem relevanten Netzbetreiber abgestimmten Messpunkt ermittelt werden:

- Wirkleistung
- Blindleistung
- Scheinleistung
- Außenleiterspannung oder Strangspannung (Leiter-Erde Spannung)
- Stufenschalterposition, falls ein Transformator mit Stufensteller verwendet wurde

Die Mittelung der Werte erfolgt frühestens nach dem Einschwingvorgang ($t \geq T_{E,Q-Test}$) und hat bis zur Vorgabe eines neuen Sollwerts zu erfolgen.

A.7.5 Dokumentation

Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandtest

Blindleistungskapazität bei Maximalkapazität

Es muss eine tabellarische Darstellung der ermittelten Werte für jeden Prüfpunkt erfolgen. Als Vorlagenbeispiel dienen die Tabellen in Kapitel 8.3.5 gemäß Anhangdokument. Zusätzlich soll ein $U/U_{ref,Q-Test} - Q/P_{ref,Q-Test}$ Diagramm erstellt werden, in dem die ermittelten Werte (Hüllkurve) und der vom relevanten Netzbetreiber vorgegebene Blindleistungsbereich dargestellt sind. Eine beispielhafte Auswertung ist in Kapitel 8.3.5 gemäß Anhangdokument dargestellt.

Blindleistungskapazität unterhalb der Maximalkapazität

Es muss eine tabellarische Darstellung sowohl für den Betrieb bei maximal untererregt als auch für maximal übererregt erfolgen. Als Vorlagenbeispiele dienen die Tabellen gemäß Kapitel 8.3.5 gemäß Anhangdokument. Zusätzlich soll ein $P/P_{ref,Q-Test} - Q/P_{ref,Q-Test}$ Diagramm erstellt werden, in dem die ermittelten Werte und der vom relevanten Netzbetreiber vorgegebene Blindleistungsbereich für die unterschiedlichen Spannungswerte dargestellt sind.

Folgende Größen und Informationen müssen zusätzlich dokumentiert werden:

- Referenzleistung $P_{\text{ref,Q-Test}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,Q-Test}}$
- Vorhandene Leistung $P_{\text{Q-Test}}$ während der Überprüfung bzw. allfällige Leistungsbegrenzung
- Vorgegebener Blindleistungsbereich vom relevanten Netzbetreiber
- Stufenschalterposition, falls ein Transformator mit Stufensteller verwendet wurde
- Allgemeine Beschreibung des Prüfaufbaus bzw. der Überprüfung

Feldtest

Blindleistungskapazität bei und unterhalb Maximalkapazität

Es muss eine tabellarische Darstellung der ermittelten Werte für jeden Prüfpunkt erfolgen. Zusätzlich soll ein $U/U_{\text{ref,Q-Test}} - Q/P_{\text{ref,Q-Test}}$ und $P/P_{\text{ref,Q-Test}} - Q/P_{\text{ref,Q-Test}}$ Diagramm erstellt werden, in dem die ermittelten Werte und der vom relevanten Netzbetreiber vorgegebene Blindleistungsbereich bei der aktuellen Betriebsspannung dargestellt sind. Als Vorlagenbeispiele dienen die Tabellen in Kapitel 8.3.5 gemäß Anhangdokument.

Folgende Größen und Informationen müssen zusätzlich dokumentiert werden:

- Referenzleistung $P_{\text{ref,Q-Test}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,Q-Test}}$
- Vorhandene Leistung $P_{\text{Q-Test}}$ während der Überprüfung bzw. allfällige Leistungsbegrenzung
- Vorgegebener Blindleistungsbereich vom relevanten Netzbetreiber
- Stufenschalterposition, falls ein Transformator mit Stufensteller verwendet wurde
- Allgemeine Beschreibung des Prüfaufbaus bzw. der Überprüfung

A.8 Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung

A.8.1 Allgemeines

Bidirektionale Energiesysteme müssen die erforderliche Blindleistung im Rahmen des durch den relevanten Netzbetreiber vorgegebenen Verfahrens und Blindleistungsbereichs bereitstellen. Es müssen die mit dem relevanten Netzbetreiber vereinbarten Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung überprüft werden. Die Überprüfung der Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung erfolgt grundsätzlich am Netzanschlusspunkt. In

Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber kann auch ein abweichender Punkt zur Überprüfung herangezogen werden.

Falls zum Zeitpunkt der Überprüfung keine Kennlinie vom relevanten Netzbetreiber vorgegeben wurde, so soll eine parametrierbare repräsentative Kennlinie (Totband, zusätzliche Knickpunkte) gewählt werden.

Sofern bei dem vom relevanten Netzbetreiber vorgegebenen Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung mehrere für den Betrieb relevante Kennlinien hinterlegt sind, sollen alle Kennlinien im Zuge der Überprüfung des jeweiligen Verfahrens überprüft werden.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.3.4 der TOR SEA und dem Kapitel [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.8 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.8.2 Prüfverfahren

Für den Test der Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung sind folgende Prüfverfahren zulässig:

- **Verstellung der Eingangssignale an der Steuerung vor Ort**

Dieses Prüfverfahren kann verwendet werden, wenn in der Steuerung des bidirektionalen Energiesystems ein dedizierter Eingangsslot bzw. eine Parametrier- oder Eingabemöglichkeit vorgesehen ist. Es können folgende Verstellungen des Eingangssignals vorgenommen werden:

- Direkte Sollwertvorgabe
- Direkte Verstellung des Eingangssignals (je nach Regelungsart, kann das Eingangssignal beispielsweise ein Messsignal sein.)
- Überlagerung eines Offsets zum Eingangssignal

- **Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandtest**

Bei diesem Prüfverfahren wird ein Netzsimulator verwendet, welcher durch Parametrierung verschiedene Netzkonditionen darstellt und somit eine Variation der gemessenen Spannung ermöglicht. Solch ein Prüfverfahren erfordert die Verwendung eines entsprechenden Hardware-In-the-Loop (HIL) Setups.

Die genaue Durchführung ist mit dem relevanten Netzbetreiber abzustimmen.

A.8.3 Prüfungsdurchführung

Sofern das gesamte bidirektionale Energiesystem überprüft wird, entspricht $P_{\text{ref,QB}} = P_{\text{max}}$. Wird auf Einheitenebene geprüft, ist für $P_{\text{ref,QB}}$ die Bemessungsleistung P_r der Einheit bzw. die Summe der Bemessungsleistungen der verwendeten Einheiten heranzuziehen.

Die Verharrungszeit jedes Messpunktes beträgt mindestens 1 Minute nachdem der Einschwingvorgang abgeschlossen ist ($t \geq T_{\text{E,QB}}$).

Während der dynamischen Vorgänge (bis Abschluss der Einschwingzeit) ist mindestens eine 200-ms-Mittelwertbildung der Größen erforderlich. Nach Abschluss des Einschwingvorganges ist eine 1-s-Mittelwertbildung für eine Zeitdauer von mindestens einer Minute durchzuführen.

Das Verhalten ist sowohl im Modus „Bezug“ als auch im Modus „Lieferung“ zu überprüfen.

Fester Verschiebungsfaktor $\cos(\varphi)$ fix

Unter einem festem Verschiebungsfaktor versteht man die Regelung eines fix vorgegebenen Verhältnisses zwischen der aufgenommenen Wirk- und Scheinleistung (= Sollwert) an einer abgestimmten Messstelle.

Der Toleranzbereich und der Zeitraum für die Erfüllung des Sollwertes durch die Regelung werden zwischen dem Netzbenutzer und dem relevanten Netzbetreiber vereinbart. Folgende Werte werden für die Überprüfung bzw. Auswertung für bidirektionale Energiesysteme empfohlen:

- Toleranzbereich für die Beurteilung der dynamischen Zeiten: $\pm 1 \% P_{\text{ref,QB}}$
- Einschwingzeit $T_{\text{E,QB}} \leq 10 \text{ s}$

Die An- und Einschwingzeit sind für jeden Messpunkt auszuwerten.

Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandstest

Es müssen die Arbeitspunkte nach Tabelle 9 sowohl für den untererregten als auch den übererregten Zustand überprüft werden.

Eine beispielhafte Grafik ist in Abbildung 23 dargestellt.

Tabelle 9: Einzustellende Arbeitspunkte für die Überprüfung der Methode $\cos \varphi$ fix

Messnummer	Spannung	Wirkleistung	$\cos \varphi$
1	$U_{\text{ref,QB}}$	$-P_{\text{ref,QB}}$ (Bezug)	1
2		$P_{\text{ref,QB}}$ (Lieferung)	0,97 unt.
3		$-\frac{P_{\text{ref,QB}}^2}{2}$ (Bezug)	
4		$\frac{P_{\text{ref,QB}}^2}{2}$ (Lieferung)	0,9 unt.
5		$0 \% P_{\text{ref,QB}}$ (Bezug)	
6		$0 \% P_{\text{ref,QB}}$ (Bezug)	0,9 über.
7		$-\frac{P_{\text{ref,QB}}^2}{2}$ (Bezug)	
8		$\frac{P_{\text{ref,QB}}^2}{2}$ (Lieferung)	0,97 über.
9		$-P_{\text{ref,QB}}$ (Bezug)	
10		$P_{\text{ref,QB}}$ (Lieferung)	1

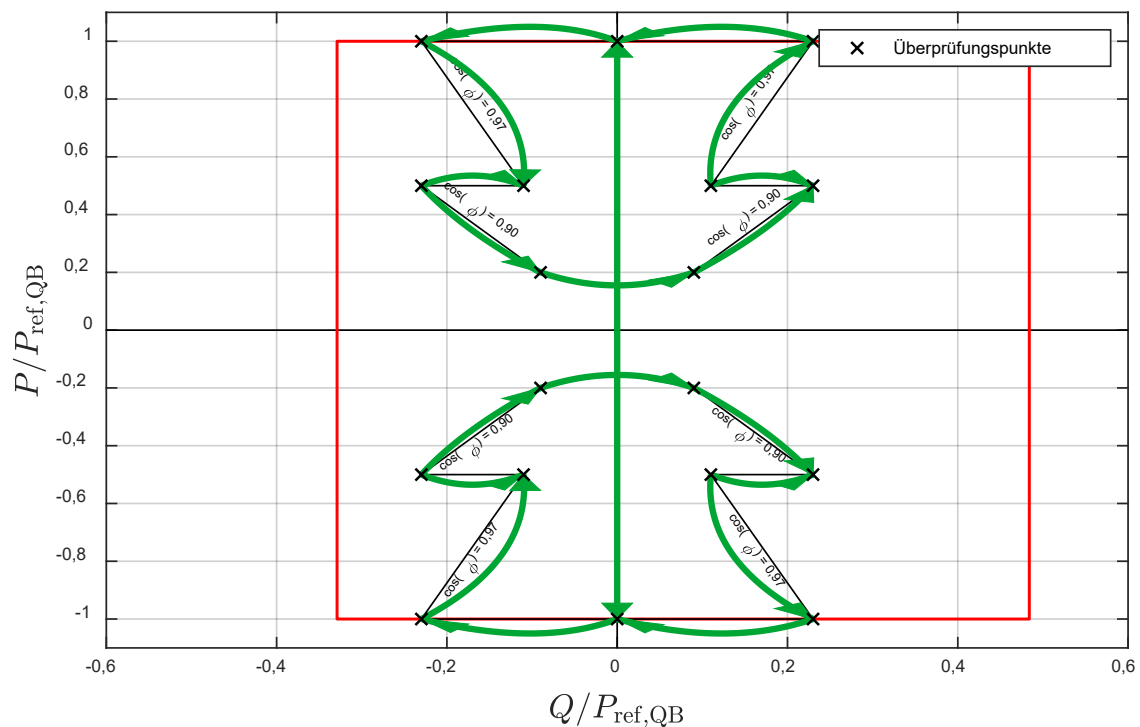


Abbildung 23: Beispielhafter Verlauf der Überprüfung der $\cos \varphi$ fix Regelung

Feldtest

Sofern kein Prüfstandtest möglich ist, soll die Überprüfung bei vorherrschenden Betriebszuständen wie bei den oben genannten Prüfstandtests stattfinden. Es sind dabei die aktuellen Netzzustände zu berücksichtigen, welche möglicherweise abweichende Arbeitspunkte zur Überprüfung der $\cos \varphi$ fix Regelung erfordern.

Verschiebungsfaktor-/Wirkleistungskennlinie $\cos \varphi (P)$

Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandtest

Beim $\cos \varphi (P)$ Verfahren soll die vom relevanten Netzbetreiber vorgegebene Kennlinie mit den definierten Stützpunkten überprüft werden. In Abbildung 24 ist eine beispielhafte Kennlinie mit einem Knickpunkt bei $P/P_{\text{ref,QB}} = - 0,5$ gegeben.

Der Toleranzbereich und der Zeitraum für die Erfüllung des Sollwertes durch die Regelung werden zwischen dem Netzbenutzer und dem relevanten Netzbetreiber vereinbart. Folgende Werte werden für die Überprüfung bzw. Auswertung für bidirektionale Einheiten bzw. bidirektionale Energiesysteme empfohlen:

- Toleranzbereich für die Beurteilung der dynamischen Zeiten: $\pm 1 \% P_{\text{ref,QB}}$
- Anschwingzeit $T_{\text{A,QB}} \leq 1 \text{ s}$
- Einschwingzeit $T_{\text{E,QB}} \leq 10 \text{ s}$

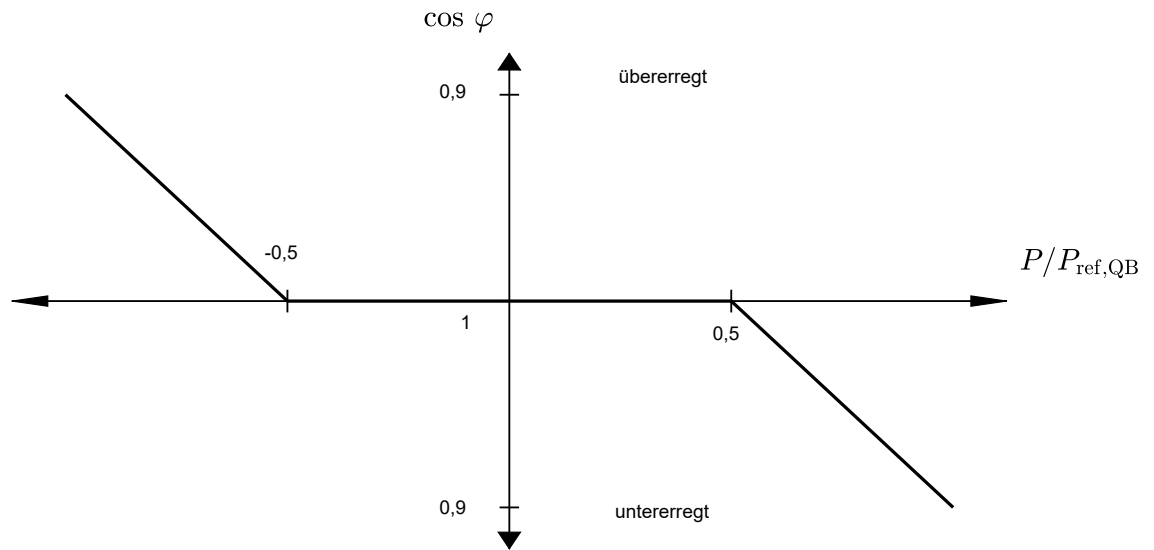


Abbildung 24: Beispielhafte Kennlinie für das Blindleistungsbereitstellungsverfahren $\cos \varphi (P)$

Um die stationäre Genauigkeit überprüfen zu können, soll von $P/P_{\text{ref,QB}} = 0$ ausgehend bis $P/P_{\text{ref,QB}} = -1$ und bis $P/P_{\text{ref,QB}} = 1$ die Wirkleistung in $P/P_{\text{ref,QB}} = 0,1$ Schritten gesteigert/ge-senkt und anschließend vice versa mit gleicher Schrittweite bis $P/P_{\text{ref,QB}} = 0$ die Wirkleistung reduziert werden. Sofern sich die technische Mindestleistung von $P/P_{\text{ref,QB}} = 0$ unterscheidet, ist die technische Mindestleistung als untere Grenze zu wählen.

Als beispielhafte Darstellung zur Überprüfung der stationären Genauigkeit dient die Abbildung 25.

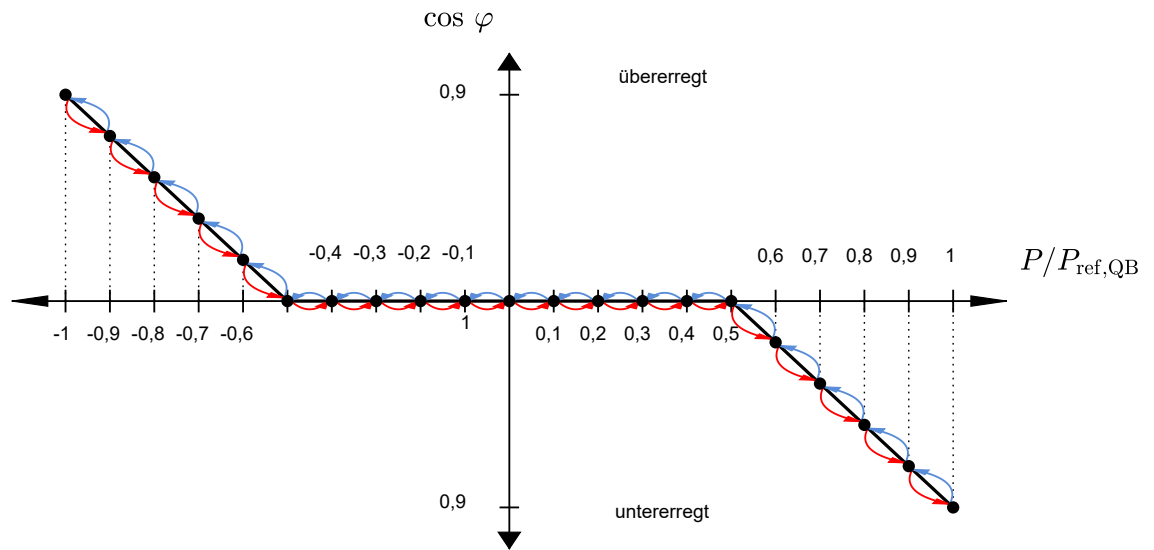


Abbildung 25: Beispielhafte Kennlinie für das Blindleistungsbereitstellungsverfahren $\cos \varphi (P)$ für die Überprüfung der stationären Genauigkeit

Die stationäre Genauigkeit ist nach dem abgeschlossenen Einschwingvorgang zu ermitteln.

Um das dynamische Verhalten der Regelung beurteilen zu können, sollen größere Wirkleistungssprünge durchgeführt werden. Dabei soll vom Knickpunkt, hier beispielhaft mit $P/P_{\text{ref,QB}} = -0,5$ und $P/P_{\text{ref,QB}} = 0,5$ symbolisiert, ausgehend bis $P/P_{\text{ref,QB}} = -1$ bzw. $P/P_{\text{ref,QB}} = 1$ die Bereichsdurchfahrung in zwei Sprüngen stattfinden.

Als beispielhafte Darstellung zur Überprüfung des dynamischen Verhaltens dient die Abbildung 26.

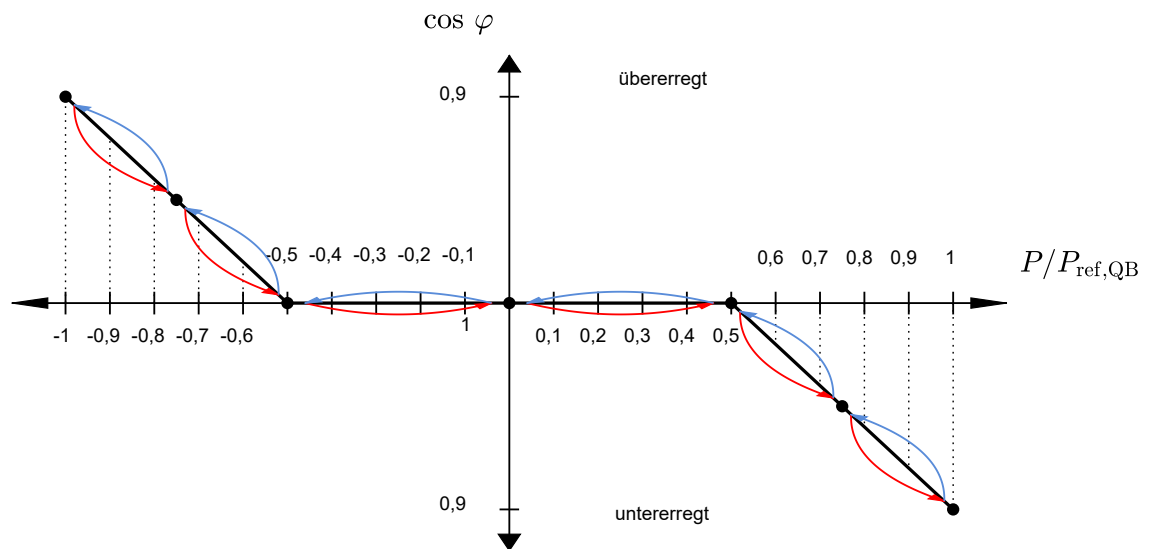


Abbildung 26: Beispielhafte Kennlinie für das Blindleistungsbereitstellungsverfahren $\cos \varphi (P)$ für die Überprüfung des dynamischen Verhaltens

Feldtest

Sofern kein Prüfstandtest möglich ist, soll die Überprüfung bei vorherrschenden Betriebszuständen wie bei den oben genannten Prüfstandtests stattfinden. Es sind dabei die aktuellen Netzzustände zu berücksichtigen, welche möglicherweise abweichende Arbeitspunkte zur Überprüfung der $\cos \varphi (P)$ Regelung erfordern.

Feste Blindleistung Q fix

Unter einer festen Blindleistung versteht man die Regelung eines fix vorgegebenen Blindleistungswertes, welcher unabhängig von der bezogenen/gelieferten Wirkleistung, an einer abgestimmten Messstelle eingestellt werden muss.

Der Toleranzbereich und der Zeitraum für die Erfüllung des Sollwertes durch die Regelung werden zwischen dem Netzbenutzer und dem relevanten Netzbetreiber vereinbart. Folgende Werte werden für die Überprüfung bzw. Auswertung für bidirektionale Einheiten bzw. bidirektionale Energiesysteme empfohlen:

- Toleranzbereich für die Beurteilung der dynamischen Zeiten: $\pm 1 \% P_{\text{ref,QB}}$

- Anschwingzeit $T_{A,QB} \leq 1 \text{ s}$
- Einschwingzeit $T_{E,QB} \leq 10 \text{ s}$

Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandstest

Es müssen die Arbeitspunkte nach Tabelle 10 eingestellt werden. Die vorgegebenen Sollwerte sollen von einem Arbeitspunkt bei vorgegebener Wirkleistung angefahren werden.

Eine beispielhafte Grafik ist in Abbildung 27 dargestellt.

Tabelle 10: Einzustellende Arbeitspunkte für die Überprüfung der Methode Q fix

Messnum- mer	Spannung	Wirkleistung	$Q/P_{\text{ref,QB}}$
1	$U_{\text{ref,QB}}$	- $P_{\text{ref,QB}}$ (Bezug)	0
2		$P_{\text{ref,QB}}$ (Lieferung)	- 0,228
3		$-\frac{P_{\text{ref,QB}}}{2}$ (Bezug)	(unt.)
4		$\frac{P_{\text{ref,QB}}}{2}$ (Lieferung)	- 0,114 (unt.)
5		0 % $P_{\text{ref,QB}}$ (Bezug)	0,114 (über.)
6		$-\frac{P_{\text{ref,QB}}}{2}$ (Bezug)	
7		$\frac{P_{\text{ref,QB}}}{2}$ (Lieferung)	0,228 (über.)
8		$-\frac{P_{\text{ref,QB}}}{2}$ (Bezug)	
9		- $P_{\text{ref,QB}}$ (Bezug)	0
10		$P_{\text{ref,QB}}$ (Lieferung)	

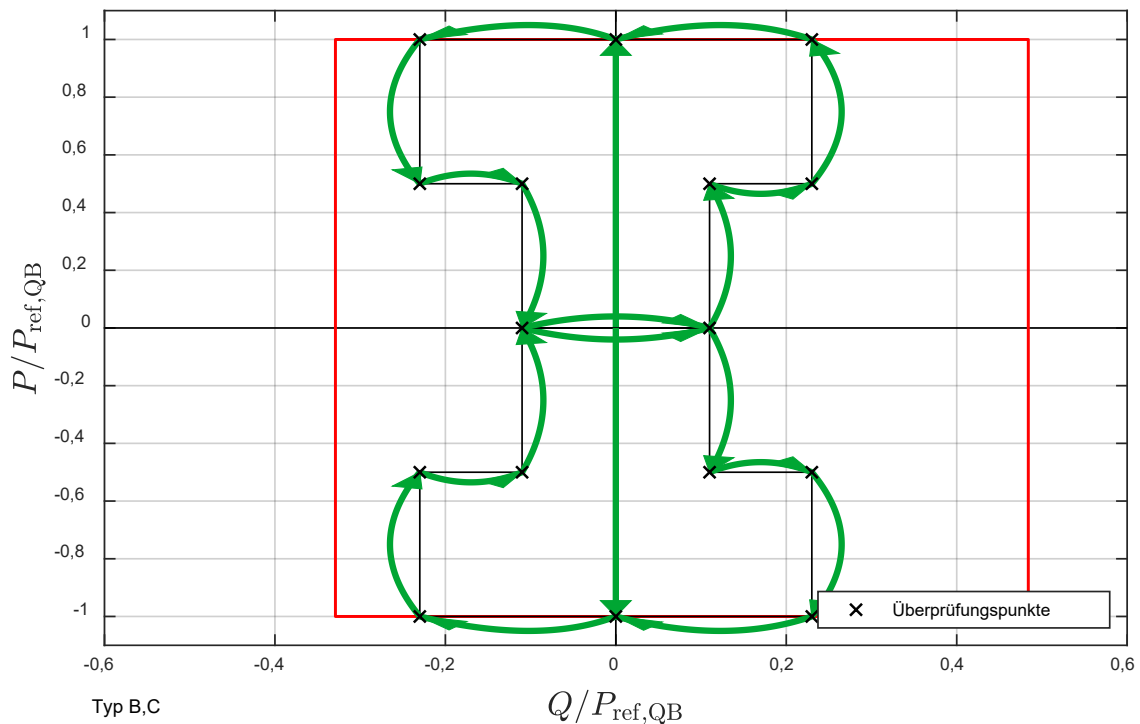


Abbildung 27: Beispielhafter Verlauf der Überprüfung der Q fix Regelung

Feldtests

Sofern kein Prüfstandstest möglich ist, soll die Überprüfung bei vorherrschenden Betriebszuständen wie bei den oben genannten Prüfstandstests stattfinden. Es sind dabei die aktuellen Netzzustände zu berücksichtigen, welche möglicherweise abweichende Arbeitspunkte zur Überprüfung der Q fix Regelung erfordern.

Blindleistungs-/Spannungskennlinie $Q(U)$

Unter der Blindleistungs-/Spannungskennlinie $Q(U)$ wird die Regelung der Blindleistung in Abhängigkeit der Spannung verstanden. Die Kennlinie wird durch Stützpunkte definiert, welche vom relevanten Netzbetreiber vorgegeben werden.

Der Toleranzbereich und der Zeitraum für die Erfüllung des Sollwertes durch die Regelung werden zwischen dem Netzbetreiber und dem relevanten Netzbetreiber vereinbart. Folgende Werte werden für die Überprüfung bzw. Auswertung für bidirektionale Einheiten bzw. bidirektionale Energiesysteme empfohlen:

- Toleranzbereich für die Beurteilung der dynamischen Zeiten: $\pm 1 \% P_{\text{ref,QB}}$
- Anschwingzeit $T_{\text{E,QB}} \leq 1 \text{ s}$
- Einschwingzeit $T_{\text{E,QB}} \leq 10 \text{ s}$

Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandstest

Der Ausgangspunkt sowohl für den untererregten als auch für den übererregten Bereich ist bei Kennlinien mit Totband der Mittelpunkt des Totbandbandes und bei Kennlinien ohne Totband der Schnittpunkt bei $Q = 0$ (Anmerkung: in der Regel liegt dieser Schnittpunkt bei $U/U_{\text{ref,QB}} = 1 \text{ pu}$). Die Überprüfung hat für $P_{\text{ref,QB}}$ sowohl im Modus „Bezug“ als auch im Modus „Lieferung“ zu erfolgen.

Für Kurven mit Totband gilt folgendes Überprüfungsschema sowohl für den untererregten als auch für den übererregten Bereich:

- Spannung auf Ausgangspunkt einstellen
- Eckpunkt des Totbandes anfahren
- Überprüfung der linearen Kennlinie vom Eckpunkt ausgehend bis zum Sättigungspunkt (Maximalwert), aufgeteilt in zwei Schritte
- Sofern mehrere Knickpunkte gegeben sind, ist der vorher genannte Punkt dementsprechend für jeden linearen Teilabschnitt der Kennlinie durchzuführen

In Abbildung 28 ist eine typische $Q(U)$ -Kennlinie (mit Totband) mit den dazugehörigen Überprüfungspunkten dargestellt.

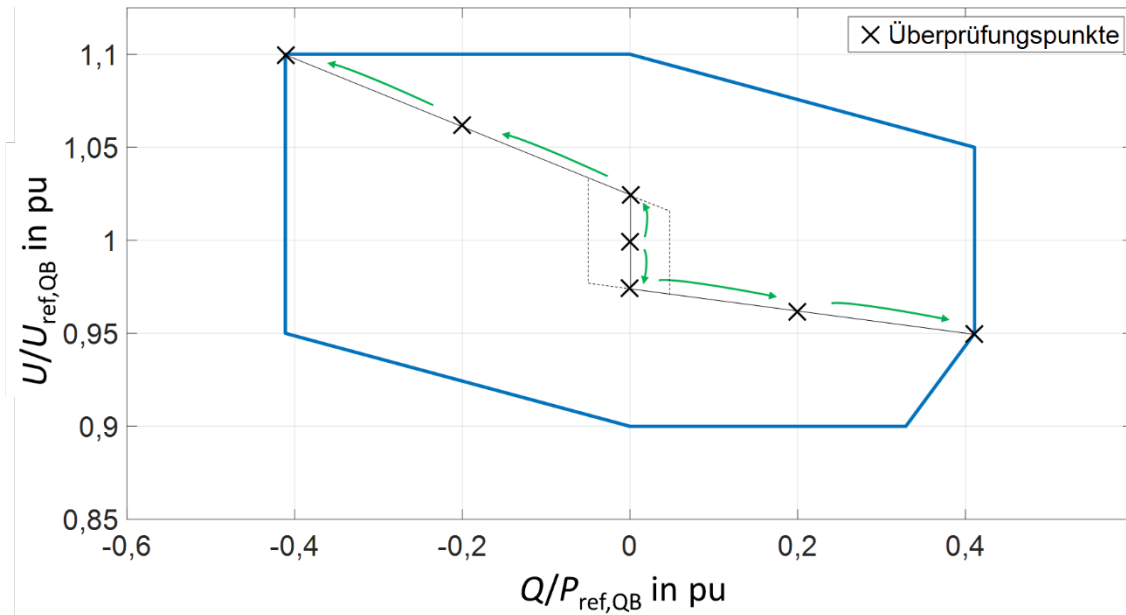


Abbildung 28: Beispielhafter Blindleistungsbereich mit $Q(U)$ -Kennlinie mit Totband für Bereich II

Für Kurven ohne Totband gilt folgendes Überprüfungschema sowohl für den untererregten als auch für den übererregten Bereich:

- Spannung auf Ausgangspunkt einstellen
- Überprüfung der linearen Kennlinie vom Ausgangspunkt ausgehend bis zum Sättigungspunkt (Maximalwert), aufgeteilt in zwei Schritte
- Sofern Knickpunkte vorhanden sind, ist der vorher genannte Punkt dementsprechend für jeden linearen Teilabschnitt der Kennlinie durchzuführen

In Abbildung 29 ist eine typische $Q(U)$ -Kennlinie (ohne Totband) mit den dazugehörigen Überprüfungspunkten dargestellt.

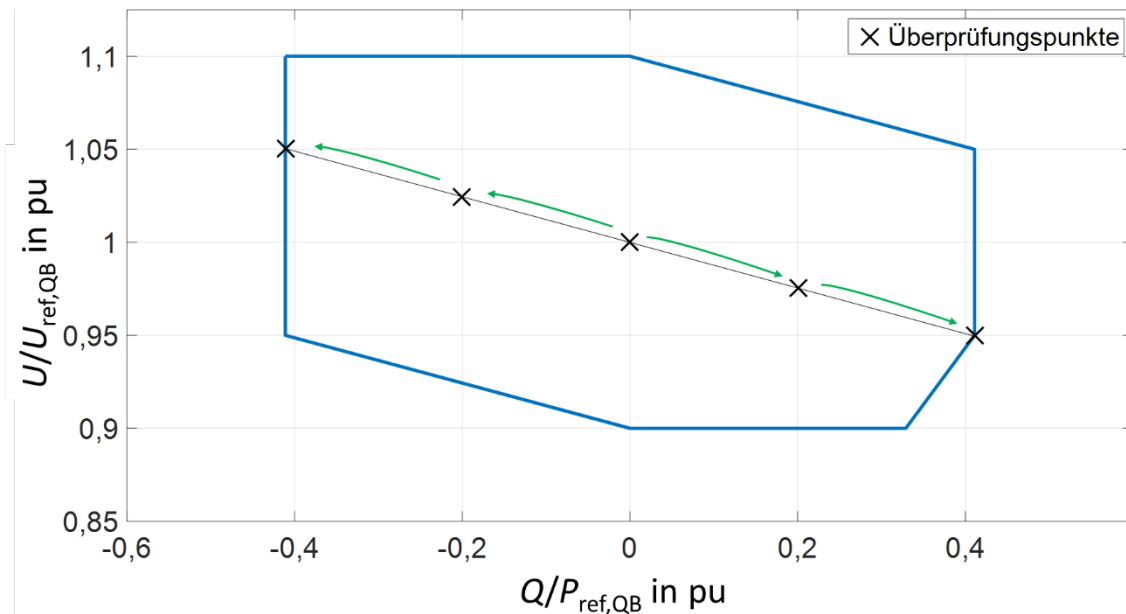


Abbildung 29: Beispielhafter Blindleistungsbereich mit Q(U)-Kennlinie ohne Totband für Bereich II

Feldtests

Sofern kein Prüfstandtest möglich ist, soll die Überprüfung bei vorherrschenden Betriebszuständen wie bei den oben genannten Prüfstandtests stattfinden. Es sind dabei jedoch die aktuellen Netzzustände zu berücksichtigen, welche möglicherweise abweichende Arbeitspunkte zur Überprüfung der Blindleistungs-/Spannungskennlinie $Q(U)$ erfordern.

A.8.4 Auswertung

Folgend wird die Auswertung für jedes der erwähnten Blindleistungsbereitstellungsverfahren beschrieben.

Fester Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ fix

Es müssen folgende Größen ausgewertet werden:

- Sollwert des $\cos \varphi_{Soll,QB}$
- Alle mit dem relevanten Netzbetreiber abgestimmte bzw. verwendete Werte (Toleranzbänder, Zeiten, Einstellgenauigkeiten, ...)
- Während der Messung ermittelter $\cos \varphi$
- Abweichung vom Sollwert
- Wirkleistung P_{QB}

- Blindleistung Q_{QB}
- Spannung U_{QB}
- An- und Einschwingzeit

Verschiebungsfaktor-/Wirkleistungskennlinie $\cos \varphi (P)$

Es müssen folgende Größen ausgewertet werden:

- Sollwert des $\cos \varphi_{\text{soll},QB}$, ermittelt durch die jeweilige(n) Kennlinie(n)
- Während der Messung ermittelter $\cos \varphi$
- Abweichung vom Sollwert
- Wirkleistung P_{QB}
- Blindleistung Q_{QB}
- Spannung U_{QB}
- An- und Einschwingzeit

Feste Blindleistung Q fix

Es müssen folgende Größen ausgewertet werden:

- Sollwert $Q_{\text{soll},QB}$ der Blindleistung
- Wirkleistung P_{QB}
- Blindleistung Q_{QB}
- Stationäre Abweichung ΔQ_{QB} der Blindleistung vom Sollwert
- Spannung U_{QB}
- An- und Einschwingzeit

Blindleistungs-/Spannungskennlinie $Q(U)$

Es müssen folgende Größen ausgewertet werden:

- Sollwert $Q_{\text{soll},QB}$ der Blindleistung, ermittelt durch die jeweilige(n) Kennlinie(n)
- Blindleistung Q_{QB}
- Stationäre Abweichung ΔQ_{QB} der Blindleistung vom Sollwert
- Wirkleistung P_{QB}
- Spannung U_{QB}
- Stützpunkte der jeweiligen Kennlinie(n)
- An- und Einschwingzeit bei Überprüfungspunkten im linearen Kennlinienbereich

A.8.5 Dokumentation

Es muss eine tabellarische Darstellung für alle in Kapitel A.8.4 ermittelten Werte erfolgen. Als Vorlagenbeispiele dienen die Tabellen in Kapitel 8.3.7 gemäß Anhangdokument.

Folgende Größen und Informationen müssen zusätzlich dokumentiert werden:

- Referenzleistung $P_{\text{ref,QB}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,QB}}$
- Vorhandene Leistung P_{QB} während der Überprüfung bzw. allfällige Leistungsbegrenzung
- Vorgegebenes Blindleistungsbereitstellungsverfahren vom relevanten Netzbetreiber
- Allgemeine Beschreibung des Prüfaufbaus bzw. der Überprüfung
- Diagramme mit dem vorgegebenen Blindleistungsbereich, ermittelten Messpunkten und inter- und extrapolierten Geraden, passend zum jeweiligen Verfahren

A.9 Sollwertvorgabe und Umschaltung von $Q(U)$ -Kennlinien

A.9.1 Allgemeines

Im Zuge des Tests der Sollwertvorgabe durch den Netzbetreiber und durch Dritte sollen sowohl die relevanten Kommunikationseinrichtungen als auch die Erfüllung der Sollwertvorgabe für die Wirk- und Blindleistung überprüft werden.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.3.4 der TOR SEA und dem Kapitel 11.1 und 5.4.1 der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.9 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.9.2 Prüfverfahren

Folgende Testverfahren sind für die Überprüfung der Sollwertvorgabe zulässig:

- **Sollwertvorgabe durch den relevanten Netzbetreiber**
Über die relevanten Kommunikationseinrichtungen kann durch die Vorgabe eines Sollwerts P - bzw. Q -Sollwerts eine Reaktion des bidirektionalen Energiesystems hervorgerufen werden.

Sofern eine Schnittstelle für die Sollwertvorgabe durch Dritte (Marktteilnehmer) vorhanden ist, muss diese ebenfalls auf die unten angeführten Gradienten überprüft werden, sofern nicht anders mit dem relevanten Netzbetreiber abgestimmt. Die Überprüfung hat mittels einer simulierten Sollwertvorgabe zu erfolgen.

Folgende Testverfahren sind für die Überprüfung der Umschaltung auf andere $Q(U)$ -Kennlinien zulässig:

- **Sollwertvorgabe durch den relevanten Netzbetreiber**

Über die relevanten Kommunikationseinrichtungen kann durch die Vorgabe eines Signals eine Umschaltung der $Q(U)$ -Kennlinie hervorgerufen werden.

In Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber sind auch anderwärtige Testverfahren zulässig.

A.9.3 Prüfdurchführung

Sofern das gesamte bidirektionale Energiesystem überprüft wird, entspricht $P_{\text{ref,Sollwert}} = P_{\text{max}}$. Wird auf Einheitenebene geprüft, ist für $P_{\text{ref,Sollwert}}$ die Bemessungsleistung P_r der Einheit bzw. die Summe der Bemessungsleistungen der verwendeten Einheiten heranzuziehen. $Q_{\text{ref,Sollwert}}$ entspricht dabei dem gemäß vorgegebenen Blindleistungsbereich (Bereich I, II, III) betragsmäßig maximalen Blindleistungswertes, welcher erfüllt werden muss.

Die Aufzeichnung soll eine Minute vor der ersten Sollwertsetzung beginnen und eine Minute nach Ermittlung der relevanten Größen nach der letzten Sollwertsetzung enden. Die relevanten Größen sollen als 1-Minuten-Mittelwerte berechnet werden.

Nach jeder Sollwertsetzung soll nach Abklingen der Einschwingzeit für eine Minute der Arbeitspunkt gehalten werden.

Die Abweichung der Wirkleistung vom Sollwert (Einstellgenauigkeit) darf maximal $\pm 5 \%$ $P_{\text{ref,Sollwert}}$ betragen. Für die Blindleistung ist ein Toleranzband von $\pm 5 \%$ $Q_{\text{ref,Sollwert}}$ vorgesehen.

Zusätzlich muss bei Sollwertsprüngen der Wirkleistung der Leistungsgradient bestimmt werden.

Die Realisierung der Wirkleistungsvorgabe hat mit einem Wirkleistungsgradient im Bereich des minimalen bis maximalen Wirkleistungsgradienten zu erfolgen. Die Wirkleistungsgradienten sind mit folgenden Grenzwerten bestimmt:

- Minimalgradient (Untergrenze): $1,66 \%$ $P_{\text{ref,Sollwert}}/\text{Minute}$
- Maximalgradient (Obergrenze): 40% $P_{\text{ref,Sollwert}}/\text{Minute}$

Die Realisierung der Blindleistungs-Sollwertvorgabe muss spätestens nach 1 Minute und schnellstens mit dem relevanten Netzbetreiber abgestimmten Maximalgradient an der Messstelle erfolgen.

Überprüfung der Sollwertvorgabe für den Wirkleistungsbereich:

Die Überprüfung der Sollwertvorgabe für den Wirkleistungsbereich soll anhand von Wirkleistungssprüngen von einem aktuellen Wirkleistungsbetriebspunkt sowohl im Modus „Bezug“ als auch im Modus „Lieferung“ erfolgen. Dabei ist eine Blindleistung von $Q = 0$ einzustellen. Es müssen mindestens zwei Sprünge je mindestens $- 20 \% P_{\text{ref,Sollwert}}$ stattfinden.

Überprüfung der Sollwertvorgabe für den Blindleistungsbereich:

Die Überprüfung der Sollwertvorgabe für den Blindleistungsbereich ist folgendermaßen durchzuführen. Der Wirkleistungsarbeitspunkt entspricht dem derzeitigen Betriebspunkt und der Blindleistungsbetriebspunkt soll Null betragen.

- Herstellen des Ausgangszustandes ($P_{\text{Sollwert}} = \text{aktueller Betriebspunkt im Modus „Bezug“}$ und im Modus „Lieferung“ und $Q_{\text{Sollwert}} = 0$)
- Sprung auf mindestens $20 \% Q_{\text{ref,Sollwert}}$ übererregt
- Erneutes Herstellen des Ausgangszustandes ($P_{\text{Sollwert}} = \text{aktueller Betriebspunkt im Modus „Bezug“}$ und im Modus „Lieferung“ und $Q_{\text{Sollwert}} = 0$)
- Sprung auf mindestens $20 \% Q_{\text{ref,Sollwert}}$ untererregt

Sofern mit dem relevanten Netzbetreiber abgestimmt, können auch von den möglichen Maximalwerten abweichende Blindleistungspunkte herangezogen werden, um unzulässige Betriebszustände im Netz zu vermeiden.

Umschaltung auf andere $Q(U)$ -Kennlinien

Vor Durchführung der Überprüfung der Umschaltung auf andere $Q(U)$ -Kennlinien muss folgender Ausgangszustand hergestellt werden:

- Wirkleistung, welche einen stabilen Betrieb gewährleistet im Modus „Bezug“ und im Modus „Lieferung“
- Aktivierung der standardmäßig vorgegeben $Q(U)$ -Kennlinie

Anschließend erfolgt vom Ausgangszustand eine Sollwertvorgabe durch den relevanten Netzbetreiber für alle hinterlegten $Q(U)$ -Kennlinien. Der Test gilt als bestanden, sofern die Leittechnik eine Umschaltung auf die jeweilige $Q(U)$ -Kennlinie triggert.

A.9.4 Auswertung

Die Auswertung Wirkleistungs- und Blindleistungsgradienten hat gemäß Abbildung 30 zu erfolgen.

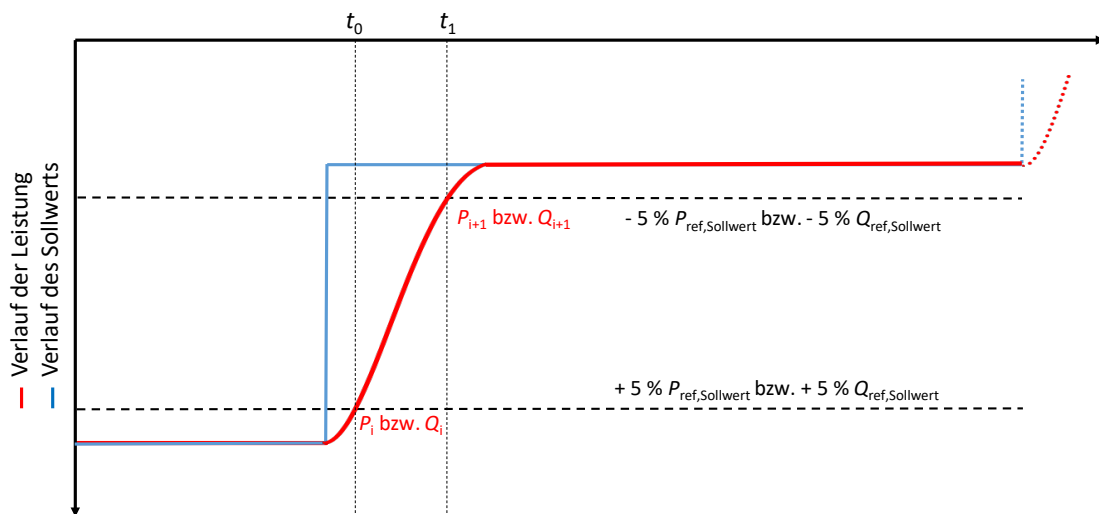


Abbildung 30: Beispielhafte Darstellung zur Ermittlung der erforderlichen Größen für die Überprüfung der Sollwertvorgabe

Ermittlungsvorschrift für den Wirkleistungsgradienten:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{P_{i+1} - P_i}{t_1 - t_0} \quad \text{mit} \quad \left[\frac{\Delta P}{\Delta t} \right] = \frac{\% P_{\text{ref,Sollwert}}}{\text{Minute}}$$

Ermittlungsvorschrift für den Blindleistungsgradienten:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q_{i+1} - Q_i}{t_1 - t_0} \quad \text{mit} \quad \left[\frac{\Delta Q}{\Delta t} \right] = \frac{\% Q_{\text{ref,Sollwert}}}{\text{Minute}}$$

A.9.5 Dokumentation

Es muss eine tabellarische Darstellung für alle in A.9 ermittelten Werte erfolgen. Als Vorlagenbeispiele dienen die Tabellen in Kapitel 8.3.8 gemäß Anhangdokument.

- Messschrieb mit Sollwert- und Istwertverlauf der Wirkleistung
- Ermittelter Wirkleistungsgradient $\frac{\Delta P}{\Delta t}$
- Ermittelte Abweichung des Istwerts vom gesetzten Sollwert ΔP
- Festgelegter Wirkleistungsgradient

- Messschrieb mit Sollwert- und Istwertverlauf der Blindleistung
- Ermittelter Blindleistungsgradient $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$
- Ermittelte Abweichung des Istwerts vom gesetzten Sollwert ΔQ
- Festgelegter Blindleistungsgradient

Folgende Größen und Informationen müssen zusätzlich dokumentiert werden:

- Referenzwirkleistung $P_{\text{ref,Sollwert}}$
- Referenzblindleistung $Q_{\text{ref,Sollwert}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,Sollwert}}$
- Vorhandene Leistung $P_{Q\text{-Sollwert}}$ während der Überprüfung bzw. allfällige Leistungsbegrenzung
- Vorgegebener Blindleistungsbereich vom relevanten Netzbetreiber
- Allgemeine Beschreibung des Prüfaufbaus bzw. der Überprüfung
- Verwendete Protokolle
- Gateway
- Schnittstellen

A.10 Systemschutz

A.10.1 Allgemeines

Das vorliegende Kapitel beschreibt die Überprüfung der Umschaltung auf einen spannungsstützenden Regelmodus im Sinne des Systemschutzplans.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.3.4 und 5.4.3 der TOR SEA und 5.7.3 und 5.4.3 der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.10 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.10.2 Prüfverfahren

Folgende Testverfahren sind für die Überprüfung der Umschaltung auf einen spannungsstützenden Regelmodus im Sinne des Systemschutzplans zulässig:

- **Verstellung der Eingangssignale an der Steuerung vor Ort**

Dieses Prüfverfahren kann verwendet werden, wenn in der Steuerung des elektrischen Energiesystems oder Einheit ein dedizierter Eingangsslot bzw. eine Parametrier- oder Eingabemöglichkeit vorgesehen ist.

A.10.3 Prüfdurchführung

Umschaltung auf einen spannungsstützenden Regelmodus im Sinne des Systemschutzplans

Vor Durchführung der Umschaltung auf einen spannungsstützenden Regelmodus im Sinne des Systemschutzplans muss folgender Ausgangszustand hergestellt werden:

- Wirkleistung, welche einen stabilen Betrieb gewährleistet sowohl im Modus „Bezug“ als auch im Modus „Lieferung“
- Aktivierung des vorgegebenen Verfahrens zur Blindleistungsregelung für den Normalbetrieb
- Signalvorgabe (Dummy-Signal) der Spannung auf $U/U_{\text{ref, Systemschutz}} = 1 \text{ pu}$

Anschließend erfolgt vom Ausgangszustand eine Änderung der Signalvorgabe (Dummy-Signal) der Spannung, welche den Schwellwert für die Aktivierung des spannungsstützenden Regelmodus im Sinne des Systemschutzplans zuerst unter- und anschließend überschreitet. In der Regel, sofern mit dem relevanten Netzbetreiber nichts anderes vereinbart, entsprechen die Grenzwerte einem Spannungswert von $U/U_{\text{ref, Systemschutz}} = 0,95 \text{ pu}$ bzw. $U/U_{\text{ref, Systemschutz}} = 1,05 \text{ pu}$. Das Spannungssignal darf nicht $U/U_{\text{ref, Systemschutz}} = 0,90 \text{ pu}$ unter- bzw. $U/U_{\text{ref, Systemschutz}} = 1,10 \text{ pu}$ überschreiten.

Nach erfolgreicher Einstellung des Dummy-Signals muss eine über die Leittechnik getriggerte Umschaltung auf den spannungsstützenden Regelmodus gemäß Systemschutzplan erfolgen.

Nach erfolgreicher Prüfung soll durch eine erneute Änderung des Spannungssignals ebenfalls die Umschaltung auf das für den Normalbetrieb vorgegebene Verfahren zur Blindleistungsregelung überprüft werden.

A.10.4 Auswertung

Diesbezüglich sind keine Anforderungen vorgesehen.

A.10.5 Dokumentation

Es muss eine tabellarische Darstellung für alle in A.10 ermittelten Werte erfolgen. Als Vorlagenbeispiele dienen die Tabellen in Kapitel 8.3.9 gemäß Anhangdokument.

- Messchrieb mit Spannung, Wirk- und Blindleistung und eingezeichneten Zeitpunkt der Umschaltung
- Referenzleistung $P_{\text{ref, Systemschutz}}$
- Wirkleistung $P_{\text{Systemschutz}}$
- Blindleistung $Q_{\text{Systemschutz}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref, Systemschutz}}$
- Spannung $U_{\text{Systemschutz}}$
- Simuliertes Dummy-Spannungssignal
- Spannungsgrenze für die Aktivierung des Systemschutzplans
- Blindleistungsbereitstellungsverfahren vor Umschaltung
- Art des spannungsstützenden Verfahrens (ev. Kennlinien) nach Umschaltung

A.11 Rate of Change of Frequency - RoCoF

A.11.1 Allgemeines

Bidirektionale Energiesysteme müssen in der Lage sein, auf Frequenzänderung stabil zu reagieren. Diese gliedern sich in einzelne Frequenzänderungen, dargestellt durch unterschiedliche Frequenzgradienten, und einer Kombination der einzelnen Frequenzänderungen.

Für diese Anforderung sind derzeit keine konkreten Vorgaben in den TOR-Richtlinien vorhanden. Sie dienen in der vorliegenden Richtlinie als Leitfaden, in welche Richtung sich eine Prüfung dieser technischen Anforderung orientieren kann. Die Überprüfung ist als optional zu sehen bzw. erfolgt die Entscheidung über eine Überprüfung in Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.1.2 der TOR SEA und 11.3.1 der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.12 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.11.2 Prüfverfahren

Für den RoCoF-Test ist folgendes Prüfverfahren zulässig:

- **Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandtest**
Bei diesem Prüfverfahren wird ein Netzsimulator verwendet, welcher durch Parametrierung verschiedene Netzkonditionen darstellt und somit eine Variation der

gemessenen Spannung ermöglicht. Solch ein Prüfverfahren erfordert die Verwendung eines entsprechenden Hardware-In-the-Loop (HIL) Setups.

Die genaue Durchführung ist mit dem relevanten Netzbetreiber abzustimmen.

A.11.3 Prüfungsdurchführung

Es sollen die Frequenzgradienten sowohl einzeln als auch als kontinuierliche Funktion überprüft werden. Die Überprüfung hat sowohl für den Modus „Bezug“ als auch „Lieferung“ zu erfolgen.

Insgesamt sind die Frequenzänderungen sowohl positive, siehe Abbildung 31, als auch negative, siehe Abbildung 32, RoCoF Werte durchzuführen.

Bei Überprüfung der einzelnen Frequenzänderungen ist eine Haltezeit von mindestens 10 Sekunden nach Erreichen des neuen stationären Endwertes einzuhalten. Der stationären Endwerte sind mittels den hinterlegten LFSM-Statiken zu ermitteln.

Leistung zur Überprüfung der RoCoF für elektrische Batteriespeicher:

- $P_{Q\text{-Test}} \leq -90 \% P_{\text{ref,RoCoF}}$ (Bezug)
 - $P_{Q\text{-Test}} \geq 90 \% P_{\text{ref,RoCoF}}$ (Lieferung)
- Der Referenzwert hat der Maximalkapazität P_{max} zu entsprechen.

Die einzelnen Frequenzänderungen haben immer aus einem definierten Ausgangszustand mit Referenzspannung am NAP ($U_{\text{NAP}} = 100 \% U_{\text{ref,RoCoF}}$) und blindleistungsneutralen ($Q = 0$) zu erfolgen.

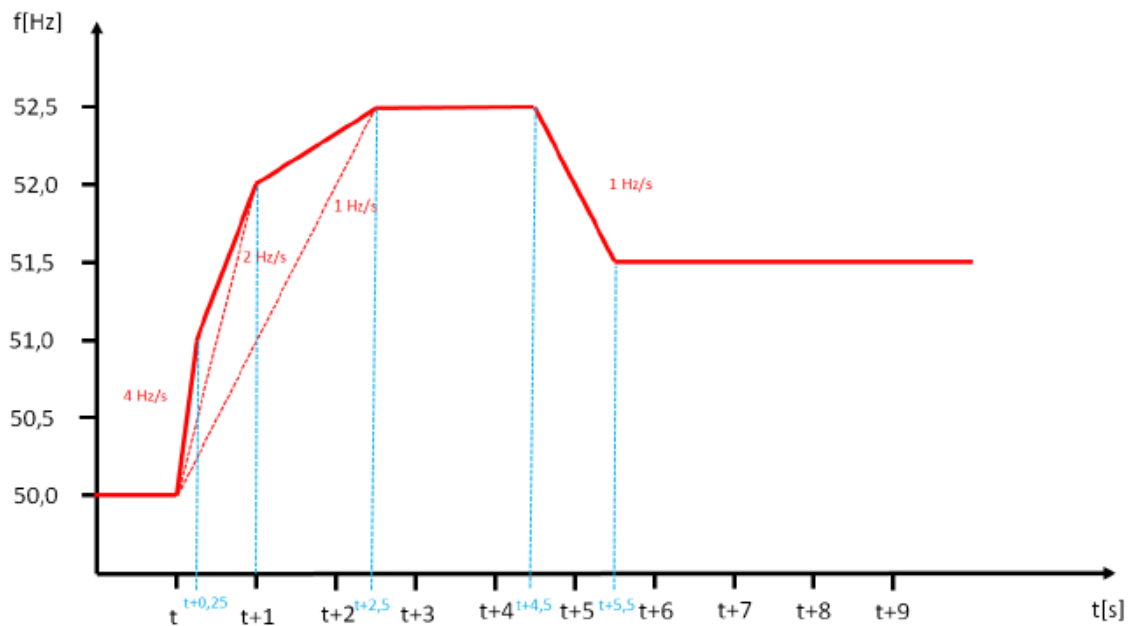


Abbildung 31: Sollwerte für die Überprüfung der RoCoF bei positiven Frequenzänderungen

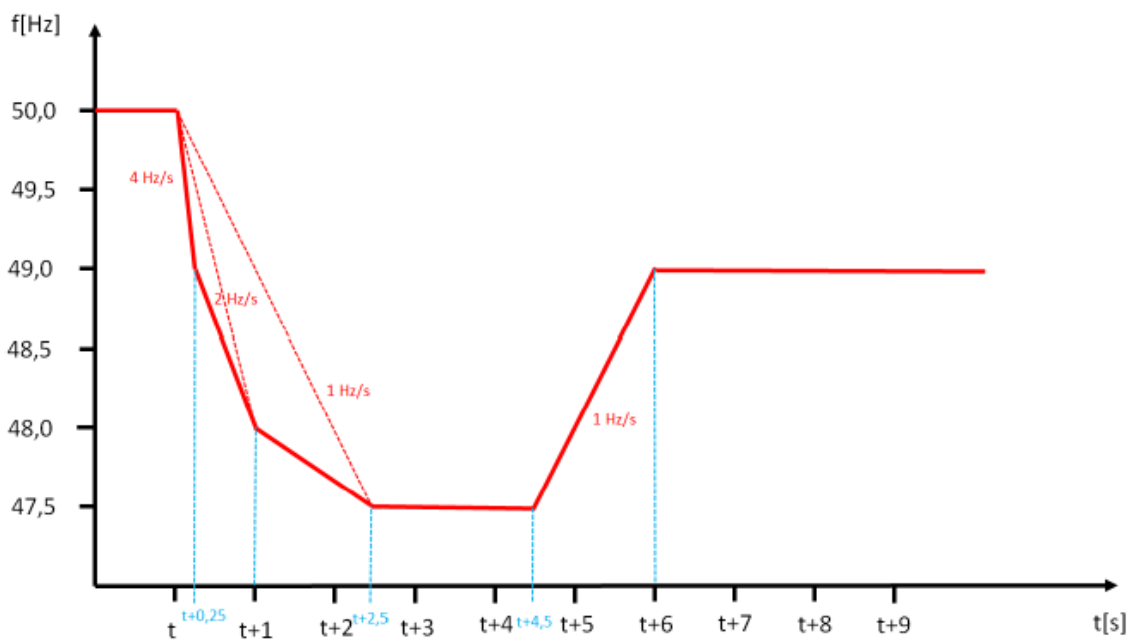


Abbildung 32: Sollwerte für die Überprüfung der RoCoF bei negativen Frequenzänderungen

A.11.4 Auswertung

Die Grundlage für eine positive Bewertung, bietet ein stabil eingeschwungener Zustand nach jeder Frequenzänderung und nach der kontinuierlichen Abfolge von Frequenzänderungen. Die neu angefahrenen stationären Sollwerte müssen deuten gemäß der LFMS-O/U Kennlinie entsprechen.

Die Auswertung der Verzögerungs-, Anschwing- und Einschwingzeit soll anhand der Auswertung aus A.3.4 und A.4.3. erfolgen.

A.11.5 Dokumentation

Folgende Punkte müssen bei der Durchführung der Prüfung dokumentiert werden:

- Beschreibung des verwendeten Prüfverfahrens inkl. Netzersatzdaten
- Messschrieb für den gesamten Zeitraum der Überprüfung
- Datum, Uhrzeit und Messzeit (alle Zeiten sowohl für den Beginn als auch für das Ende)
- Die in der Steuerung eingestellte Statik für LFSM-O und LFSM-U
- Referenzwirkleistung $P_{\text{ref,RoCoF}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,RoCoF}}$
- Leistung zu Beginn des Tests $P_{\text{Beginn,RoCoF}}$
- Frequenzsollwerte inklusive Frequenzgradienten zu den einzelnen Messpunkten
- Theoretischer Sollwert der Wirkleistung (ermittelt durch die LFSM-O/LFSM-U Kennlinie) zu den einzelnen Messpunkten
- Istwert der Wirkleistung zu den einzelnen Messpunkten
- Wirkleistung im Mit- und Gegensystem an den Klemmen
- Blindleistung im Mit- und Gegensystem an den Klemmen
- Alle Phasenströme an den Klemmen
- Alle Phasenspannungen an den Klemmen und am NAP
- Alle Außenleiterspannungen an den Klemmen und am NAP
- Statik bei Überprüfung der einzelnen Frequenzänderungen
- Dynamikzeiten (Verzögerungszeit, Anschwingzeit, Einschwingzeit) bei Überprüfung der einzelnen Frequenzänderungen

A.12 Winkelsprünge

A.12.1 Allgemeines

Bidirektionale Energiesysteme müssen in der Lage sein, auf Winkelsprünge stabil zu reagieren. Genaue Überprüfungsverfahren sind derzeit in Erarbeitung. Ziel dieser groben Überprüfung ist die Dokumentation des allgemeinen Verhaltens bei unterschiedlichen Winkelsprüngen.

Für diese Anforderung sind derzeit keine konkreten Vorgaben in den TOR-Richtlinien vorhanden. Sie dienen in der vorliegenden Richtlinie als Leitfaden, in welche Richtung sich eine Prüfung dieser technischen Anforderung orientieren wird. Die Überprüfung ist als optional zu sehen bzw. erfolgt die Entscheidung über eine Überprüfung in Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel [Platzhalter] der TOR SEA und [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.13 genannten

Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.12.2 Prüfverfahren

Für den Winkelsprung-Test ist folgendes Prüfverfahren zulässig:

- **Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandstest**

Bei diesem Prüfverfahren wird ein Netzsimulator verwendet, welcher durch Parametrierung verschiedene Netzkonditionen darstellt und somit eine Variation der gemessenen Spannung ermöglicht. Solch ein Prüfverfahren erfordert die Verwendung eines entsprechenden Hardware-In-the-Loop (HIL) Setups.

Die genaue Durchführung ist mit dem relevanten Netzbetreiber abzustimmen.

A.12.3 Prüfungsdurchführung

Die Überprüfung hat sowohl im Modus „Bezug“ als auch im Modus „Lieferung“ zu erfolgen.

Leistung zur Überprüfung der Winkelsprünge für elektrische Batteriespeicher:

- $P_{\text{Winkelsprung}} \leq -90 \% P_{\text{ref,Winkelsprung}}$ (Bezug)
 - $P_{\text{Winkelsprung}} \geq 90 \% P_{\text{ref,Winkelsprung}}$ (Lieferung)
- Der Referenzwert hat der Maximalkapazität P_{max} zu entsprechen.

Die einzelnen Phasensprünge haben immer aus einem definierten Ausgangszustand mit Referenzspannung am NAP ($U_{\text{NAP}} = 100 \% U_{\text{ref,Winkelsprung}}$) und blindleistungsneutralen ($Q = 0$) zu erfolgen.

Es sind folgende Winkelsprünge bei $0 \% P_{\text{ref,Winkelsprung}}$, $-50 \% P_{\text{ref,Winkelsprung}}$ bzw. $50 \% P_{\text{ref,Winkelsprung}}$ und bei $\leq -90 \% P_{\text{ref,Winkelsprung}}$ bzw. $\geq 90 \% P_{\text{ref,Winkelsprung}}$ am NAP durchzuführen:

- $\pm 5^\circ$
- $\pm 10^\circ$
- $\pm 15^\circ$
- $\pm 20^\circ$
- $\pm 25^\circ$
- $\pm 30^\circ$

Sofern bei einem Sprung die Stromlimitierung aktiv werden sollte und damit das Verhalten eingeschränkt wird, müssen die restlichen Winkelsprünge in der selben Richtung nicht durchgeführt werden, da davon auszugehen ist, dass die Stromlimitierung weiterhin aktiviert wird.

Bei Überprüfung der einzelnen Winkelsprünge ist eine Haltezeit von mindestens 10 Sekunden nach Erreichen des neuen stationären Endwertes einzuhalten.

A.12.4 Auswertung

Die Grundlage für eine positive Bewertung, bietet ein stabil eingeschwungener Zustand nach jedem Winkelsprung.

Im Falle einer greifenden Strombegrenzung ist zu dokumentieren, bei welchem Winkelsprung die Strombegrenzung aktiviert wurde.

A.12.5 Dokumentation

Folgende Punkte müssen bei der Durchführung der Prüfung dokumentiert werden:

- Beschreibung des verwendeten Prüfverfahrens inkl. Netzersatzdaten
- Messschrieb für den gesamten Zeitraum der Überprüfung
- Datum, Uhrzeit und Messzeit (alle Zeiten sowohl für den Beginn als auch für das Ende)
- Referenzwirkleistung $P_{\text{ref,Winkelsprung}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,Winkelsprung}}$
- Leistung zu Beginn des Tests $P_{\text{Beginn,Winkelsprung}}$
- Wirkleistung im Mit- und Gegensystem an den Klemmen
- Blindleistung im Mit- und Gegensystem an den Klemmen
- Alle Phasenströme an den Klemmen
- Alle Phasenspannungen an den Klemmen und am NAP
- Alle Außenleiterspannungen an den Klemmen und am NAP
- Winkelsprünge

A.13 Grid Forming Fähigkeit

A.13.1 Allgemeines

Bidirektionale Energiesysteme müssen, sofern dies vom relevanten Netzbetreiber gefordert wird, als Regelung das Prinzip einer Spannungsquelle hinter einer (virtuellen) Impedanz zur Verfügung stellen. Dies setzt weiters voraus, dass eine gewisse Trägheit, nachgebildet durch eine virtuelle Anlaufzeitkonstante/virtuelle Schwungmasse, zusätzlich als Freiheitisgrad vorhanden ist.

Für diese Anforderung sind derzeit keine konkreten Vorgaben in den TOR-Richtlinien vorhanden. Sie dienen in der vorliegenden Richtlinie als Leitfaden, in welche Richtung sich eine Prüfung dieser technischen Anforderung orientieren wird. Die Überprüfung ist als optional zu sehen bzw. erfolgt die Entscheidung über eine Überprüfung in Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel [Platzhalter] der TOR SEA und [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.14 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.13.2 Prüfverfahren

Für den GridForming-Test ist folgendes Prüfverfahren zulässig:

- **Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandstest**

Bei diesem Prüfverfahren wird ein Netzsimulator verwendet, welcher durch Parametrierung verschiedene Netzkonditionen darstellt und somit eine Variation der gemessenen Spannung ermöglicht. Solch ein Prüfverfahren erfordert die Verwendung eines entsprechenden Hardware-In-the-Loop (HIL) Setups.

Die genaue Durchführung ist mit dem relevanten Netzbetreiber abzustimmen.

A.13.3 Prüfungsdurchführung

Die Überprüfung hat sowohl im Modus „Bezug“ als auch im Modus „Lieferung“ zu erfolgen.

Leistung zur Überprüfung der Winkelsprünge für elektrische Batteriespeicher:

- $P_{\text{Winkelsprung}} \leq -90 \% P_{\text{ref,Winkelsprung}}$ (Bezug)
 - $P_{\text{Winkelsprung}} \geq 90 \% P_{\text{ref,Winkelsprung}}$ (Lieferung)
- Der Referenzwert hat der Maximalkapazität P_{max} zu entsprechen.

Die einzelnen Phasensprünge haben immer aus einem definierten Ausgangszustand mit Referenzspannung am NAP ($U_{\text{NAP}} = 100 \% U_{\text{ref,GridForming}}$) und blindleistungsneutralen ($Q = 0$) zu erfolgen.

Es sind reine Amplitudensprünge und reine Winkelsprünge am NAP durchzuführen. Die Amplitudensprünge haben dabei in 10 % $U_{\text{ref,GridForming}}$ zu erfolgen. Die Winkelsprünge sollen sich an die Winkelsprünge gemäß Kapitel A.12.3 richten.

Die Amplitudensprünge sollen bis $U_{\text{NAP}} = 0 \% U_{\text{ref,GridForming}}$ am NAP durchgeführt werden. Sofern bei einem Sprung die Stromlimitierung aktiv werden sollte und damit das Spannungsquellenverhalten in ein Stromquellenverhalten übergeht, müssen die restlichen Amplitudensprünge nicht durchgeführt werden.

Die Winkelsprünge sollen bis $\pm 30^\circ$ in $\pm 5^\circ$ am NAP durchgeführt werden. Sofern bei einem Sprung die Stromlimitierung aktiv werden sollte und damit das Spannungsquellenverhalten in ein Stromquellenverhalten übergeht, müssen die restlichen Winkelsprünge nicht durchgeführt werden.

Zusätzlich ist die Variation der virtuellen Anlaufzeitkonstante/virtuellen Schwungmasse innerhalb des vom Netzbetreiber vorgegebenen Bereichs durchzuführen.

A.13.4 Auswertung

Für die Auswertung ist das dynamische Verhalten als Dokumentation essentiell. Besonderer Wert ist auf die Kennzeichnung einer etwaig aktiven Stromlimitierung zu legen. Für den Nachweis der Spannungsquelleneigenschaft ist das inhärente Verhalten bei den Sprüngen heranzuziehen.

A.13.5 Dokumentation

Folgende Punkte müssen bei der Durchführung der Prüfung dokumentiert werden:

- Beschreibung des verwendeten Prüfverfahrens inkl. Netzersatzdaten
- Messschrieb für den gesamten Zeitraum der Überprüfung
- Datum, Uhrzeit und Messzeit (alle Zeiten sowohl für den Beginn als auch für das Ende)
- Referenzwirkleistung $P_{\text{ref,GridForming}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,GridForming}}$
- Leistung zu Beginn des Tests $P_{\text{Beginn,GridForming}}$
- Wirkleistung im Mit- und Gegensystem an den Klemmen
- Blindleistung im Mit- und Gegensystem an den Klemmen
- Alle Phasenströme an den Klemmen
- Alle Phasenspannungen an den Klemmen und am NAP
- Alle Außenleiterspannungen an den Klemmen und am NAP
- Kennzeichnung einer etwaigen Stromlimitierung
- Winkelsprünge und Amplitudensprünge

- virtuelle Anlaufzeitkonstante/virtuelle Schwungmasse
- Ausweisung bis zu welchen Sprüngen die GridForming Eigenschaft gewahrt werden kann

A.14 Dämpfung von Frequenzschwingungen

A.14.1 Allgemeines

Bidirektionale Energiesysteme müssen in der Lage sein, auf Frequenzschwingungen dämpfend zu wirken. Diese setzen sich aus unterschiedlichen Frequenzbereichen zusammen.

Für diese Anforderung sind derzeit keine konkreten Vorgaben in den TOR-Richtlinien vorhanden. Sie dienen in der vorliegenden Richtlinie als Leitfaden, in welche Richtung sich eine Prüfung dieser technischen Anforderung orientieren wird. Die Überprüfung ist als optional zu sehen bzw. erfolgt die Entscheidung über eine Überprüfung in Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel [Platzhalter] der TOR SEA und [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.15 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

A.14.2 Prüfverfahren

Für den Test der Dämpfung von Frequenzschwingungen ist folgendes Prüfverfahren zulässig:

- **Verwendung eines Netzsimulators / Prüfstandtest**
Bei diesem Prüfverfahren wird ein Netzsimulator verwendet, welcher durch Parametrierung verschiedene Netzkonditionen darstellt und somit eine Variation der gemessenen Spannung ermöglicht. Solch ein Prüfverfahren erfordert die Verwendung eines entsprechenden Hardware-In-the-Loop (HIL) Setups.

Die genaue Durchführung ist mit dem relevanten Netzbetreiber abzustimmen.

A.14.3 Prüfungsdurchführung

Die Überprüfung hat sowohl im Modus „Bezug“ als auch im Modus „Lieferung“ zu erfolgen.

Leistung zur Überprüfung der Dämpfung von Frequenzschwingungen Eigenschaft für elektrische Batteriespeicher:

- $P_{\text{Beginn,f-Dämpfung}} \leq -50 \% \pm 5 \% P_{\text{ref,f-Dämpfung}}$ (Bezug)
 - $P_{\text{Beginn,f-Dämpfung}} \geq 50 \% \pm 5 \% P_{\text{ref,f-Dämpfung}}$ (Lieferung)
- Der Referenzwert hat der Maximalkapazität P_{max} zu entsprechen.

Netzseitig müssen jeweils folgende Schwingungsfrequenz je Test angeregt werden:

- Für den Bereich 0,1 Hz bis 2 Hz
 - 0,1 Hz ; 1 Hz ; 2 Hz
- Für den Bereich 2 Hz bis 100 Hz
 - 10 Hz ; 50 Hz ; 100 Hz
- Für den Bereich 100 Hz bis 2,5 kHz
 - 200 Hz ; 500 Hz ; 1 kHz ; 1,5 kHz ; 2 kHz ; 2,5 kHz

Je Schwingungsfrequenz ist die Betrachtungszeit von mindestens fünf Perioden der Schwingungsfrequenz einzuhalten.

A.14.4 Auswertung

Durch die Anregung der Frequenzschwingungen und der Analyse des daraus resultierenden Wirkleistungsverhaltens und der Phasenlage der Wirkleistung lässt sich die dämpfende Eigenschaft ermitteln.

A.14.5 Dokumentation

Folgende Punkte müssen bei der Durchführung der Prüfung dokumentiert werden:

- Beschreibung des verwendeten Prüfverfahrens inkl. Netzersatzdaten
- Messschrieb für den gesamten Zeitraum der Überprüfung
- Datum, Uhrzeit und Messzeit (alle Zeiten sowohl für den Beginn als auch für das Ende)
- Referenzwirkleistung $P_{\text{ref,f-Dämpfung}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,f-Dämpfung}}$
- Leistung zu Beginn des Tests $P_{\text{Beginn,f-Dämpfung}}$
- Wirkleistung an den Klemmen
- Blindleistung an den Klemmen
- Alle Phasenströme an den Klemmen
- Alle Phasenspannungen an den Klemmen und am NAP
- Alle Außenleiterspannungen an den Klemmen und am NAP
- Frequenz der Frequenzschwingung

B Vorschriften für Konformitätssimulationen

B.1 Besondere Anforderungen an bidirektionale Einheiten bzw. bidirektionale Energiesysteme innerhalb von Mischanlagen

Bei Mischanlagen oder Erweiterung von Bestandsparken können etwaig andere Systeme vernachlässigt werden. Die Ergebnisse der Simulation sind grundsätzlich am Netzan-
schlusspunkt zu bewerten. Sofern Bestandsanlagen vorhanden sind, sollen diese mit der Grenzerfüllung der TOR Vorgaben modelliert werden. In Abbildung 33 eine beispielhafte Darstellung der zur Modellierung erforderlichen Komponenten dargestellt.

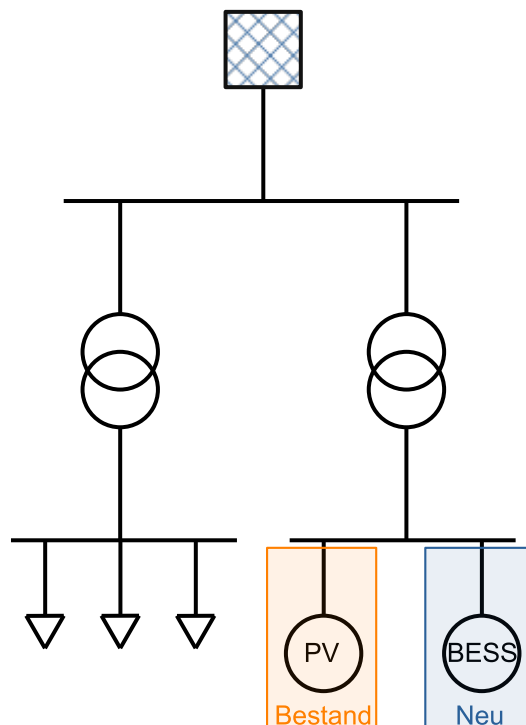


Abbildung 33: Beispielhafte Darstellung einer Mischanlage mit einer PV-Einspeisung und BESS für Simulationen

B.2 FRT-Fähigkeit

B.2.1 Allgemeines

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.2.1 der TOR SEA und 5.2 der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.3 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch eine Simulation nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

Bei der Simulation der FRT-Fähigkeit müssen bei bidirektionalen Energiesystemen auch die in Punkt B.3 (Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern) genannten Simulationspunkte beachtet werden, da ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen diesen Anforderungen besteht. Um redundante Simulationen zu vermeiden ist

S_1	...	Schalter für Zuschaltung der Fehlerimpedanz
$\underline{U}$	...	Spannung am Netzanschlusspunkt
$\underline{Z}_F$	...	Fehlerimpedanz
$\underline{Z}_T$	...	Transformatorimpedanz
$\underline{Z}_{\text{Leitung}}$	...	Leitungsimpedanz
BES	...	Bidirektionales Energiesystem
MP ₁	...	Messpunkt an den Klemmen (Blocktransformator unterspannungsseitig)
MP ₂	...	Messpunkt Blocktransformator overspannungsseitig
MP ₃	...	Messpunkt zwischen Zuleitung und Netz (PCC)

Falls kein Blocktransformator verwendet wird, so wird der Messpunkt MP₁ und MP₂ zu einem Messpunkt zusammengefasst.

Falls keine Zuleitung verwendet wird, so wird der Messpunkt MP₂ und MP₃ zu einem Messpunkt zusammengefasst.

Wenn sowohl kein Blocktransformator als auch keine Zuleitung verwendet wird, so werden die drei Messpunkte MP₁, MP₂ und MP₃ zu einem Messpunkt zusammengefasst.

- Kurzschlussereignis in der Software

Es kann auch ein durch die Software vordefiniertes Kurzschlussereignis verwendet werden.

Es wird empfohlen mindestens ein Impedanzverhältnis von $X_F/R_F > 3$ zu wählen, sofern die Software die Einstellung unterstützt.

In Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber kann auch eine anderwärtige Methode zur Überprüfung der FRT-Fähigkeit festgelegt werden.

B.2.3 Simulationsdurchführung

Alle Fehlerkurven müssen sowohl für 3-polige Fehler als auch für 2-polige Fehler durchgeführt werden.

Die Überprüfung hat sowohl im Modus „Bezug“ als auch im Modus „Lieferung“ zu erfolgen.

Sofern vom relevanten Netzbetreiber keine anderwärtigen Vorgaben gemacht wurden, so sind folgende Werte vor dem Beginn der Überprüfung einzustellen:

- $P_{VF,FRT} = - P_{ref,FRT}$ (Bezug) bzw. $P_{VF,FRT} = P_{ref,FRT}$ (Lieferung) entspricht Test „Volllast“
Sofern das gesamte bidirektionale Energiesystem simuliert wird, so ist als Referenzleistung $P_{ref,FRT}$ die Maximalkapazität P_{max} heranzuziehen. Wird unter bestimmten Fällen nur eine einzelne bidirektionale Einheiten simuliert, so ist als Referenzleistung $P_{ref,FRT}$ die Bemessungsleistung P_r der überprüfenden bidirektionalen Einheit heranzuziehen.
- $Q_{VF,FRT} = 0$
- $U_{VF,FRT} = 100 \% U_{ref,FRT}$
- $S_{k,min,vor Fehler} = S_{k,min,nach Fehler}$

Die Netzdaten ($S_k, X/R$) werden vom relevanten Netzbetreiber in der Vorplanung bekannt gegeben.

Für die zu überprüfenden Messpunkte sollen die Messpunkte aus Kapitel 5.1.3 herangezogen werden.

B.2.4 Auswertung

Die Aufzeichnungen sind 1 Sekunde vor Fehlereintritt bis 5 Sekunden nach Fehlerklärung an den Klemmen und an dem Netzanschlusspunkt durchzuführen.

B.2.5 Dokumentation

Folgende Größen sind zu dokumentieren:

Allgemeine Dokumentation:

- Verwendete Software mit Versionsnummer
- Simulationmethode (RMS, EMT)
- Überblick der modellierten Komponenten mit den eingestellten Parametern (Einlinienschalbild, Anlagenwerte, zum Einsatz kommende Regelsystem (z. B. Spannungsregler, Drehzahlregler), Simulationszweck (z.B. für die FRT-Überprüfung)
- Etwaige Werte der Fehlerimpedanz
- Referenzspannung $U_{ref,FRT}$
- Zeitpunkte für Fehlereintritt t_{FE} und Fehlerklärung t_{FK}
- Kurzschlussleistung des Netzes: $S_{k,min}$, $S_{k,max}$ mit dem dazugehörigen X/R -Verhältnis
- Wirk- und Blindleistung im Mit- und Gegensystem
- Strangspannungen (Spannung Leiter-Erde)
- Spannung im Mit- und Gegensystem
- Strangströme

- Wirk- und Blindstrom im Mit- und Gegensystem

Als Vorlagenbeispiel dienen die in Kapitel 8.3.3 gemäß Anhangdokument vorgegebenen Beispieltabellen zur Dokumentation der auszuwertenden Größen.

B.3 Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern

Die Simulation der Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern muss nicht explizit separat durchgeführt werden. Durch die Durchführung der Simulation der FRT-Fähigkeit gemäß Kapitel B.2 kann aus den dokumentierten Ergebnissen die erforderliche Auswertung für Wirkstrom- und Blindstromeinspeisung während und nach Netzfehlern erfolgen.

B.3.1 Verhalten im Fehlerfall

B.3.1.1 Allgemeines

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.2.2.1 der TOR SEA und [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.4.1 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch eine Simulation nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

Es ist nicht erforderlich alle Verfahren zur dynamischen Blindstromstützung zu simulieren. Die Simulation soll nur für das vom relevanten Netzbetreiber geforderte Verfahren durchgeführt werden.

B.3.1.2 Auswertung

Die für die folgenden Auswertungen gültigen Vorzeichen entsprechen der Definition aus Kapitel 8.2 gemäß Anhangdokument.

Die Auswertungen des verwendeten Verfahren zur dynamischen Netzstützung sind in Anlehnung an Kapitel A.6.1.2 durchzuführen.

B.3.1.3 Dokumentation

Neben den in Kapitel B.2.5 genannten Dokumentationspunkten, sind zusätzlich folgende Auswertungen notwendig:

- Zeitliche Verläufe, welche die Mit- und Gegensystemspannung am Netzanschlusspunkt und den Blind- und Wirkstrom im Mit- und Gegensystem der des bidirektionalen Energiesystems für jeden Fehlereintritt beinhalten (mit eingetragenen Wert des Bemessungsstromes)

Sofern in einer vorhandenen TOR SEA und TOR VNA bzw. RKB-AT konformen Betriebsmittelbescheinigung die An- und Einschwingzeiten dokumentiert wurden, so müssen diese in diesem Kapitel nicht erneut ausgewertet und dokumentiert werden.

Als Vorlagenbeispiel dienen die in Kapitel 8.3.4 gemäß Anhangdokument vorgegebenen Beispieltabellen zur Dokumentation der zu simulierenden bzw. auszuwertenden Größen. Die Auswertetabellen für den dynamischen Vorgang sind aufgrund der hohen Auflösung nicht gegeben und sollen als zusätzlicher Anhang hinzugefügt werden.

B.3.2 Wiederaufnahme der Leistungsabgabe nach Fehlerklärung

B.3.2.1 Allgemeines

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.2.2.2 der TOR SEA und [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.4.2 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch eine Simulation nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

B.3.2.2 Auswertung

Die Auswertung ist in Anlehnung an Kapitel B.2.4 durchzuführen.

B.3.2.3 Dokumentation

Die Dokumentation ist in Anlehnung an Kapitel B.2.5 durchzuführen.

Als Vorlagenbeispiel dienen die in Kapitel 8.3.4 gemäß ANhangdokument vorgegebenen Beispieltabellen zur Dokumentation der zu simulierenden bzw. auszuwertenden Größen. Die Auswertetabellen für den dynamischen Vorgang sind aufgrund der Größe nicht gegeben und soll als zusätzlicher Anhang hinzugefügt werden.

B.4 Blindleistungskapazität

B.4.1 Allgemeines

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel 5.3.3 der TOR SEA und 5.4.1 der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.7 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch eine Simulation nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

Die Berechnung erfolgt durch die Modellierung aller blindleistungsrelevanten Anlagenkomponenten, wie z.B.:

- Last mit Blindleistungsbegrenzungen
- Kabeln/Freileitungen
- Transformatoren
- Drosseln/Kondensatorbatterien
- Zusätzliche blindleistungsrelevante Anlagenkomponenten (z.B. SVCs oder STATCOMs)

Bestandsanlagen müssen im vollen Umfang entsprechend der oben genannten Punkte modelliert werden. Sofern von den Bestandsanlagen zum Zeitpunkt der Modellierung unvollständige Anlageninformationen vorhanden sind, sollen diese gemäß der Erfüllung der jeweiligen TOR SEA und TOR VNA modelliert werden. In Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber kann die Bestandsanlage als PQ-Knoten modelliert werden, wobei die Grenzwerte des PQ-Knotens dem zutreffenden Typ gemäß TOR SEA und TOR VNA entsprechen müssen.

Als beispielhafte Darstellung dient Abbildung 35.

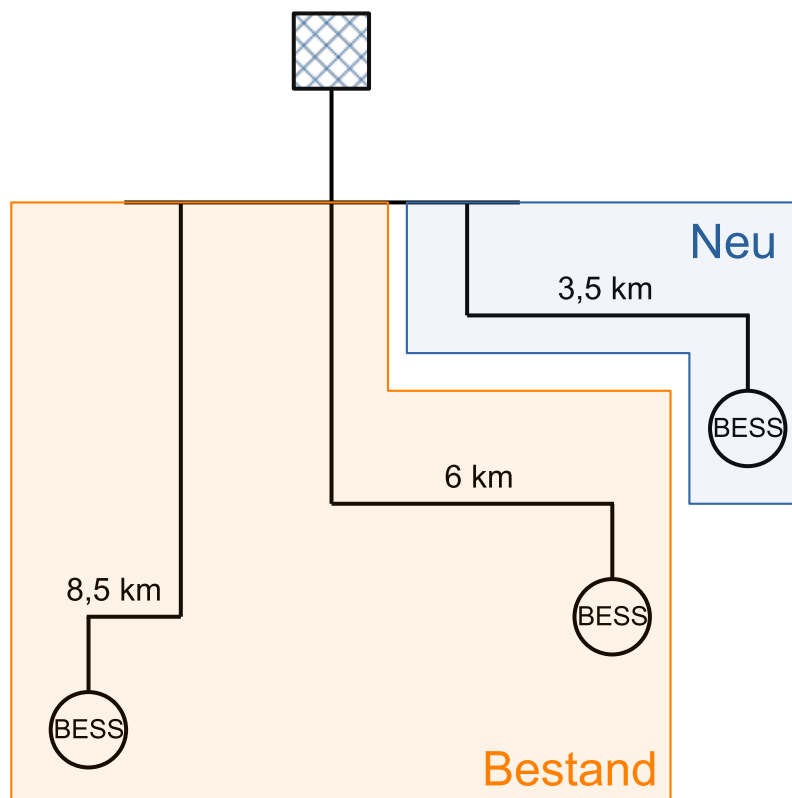


Abbildung 35: Beispielhafter Bestandspark mit einer neuen Speichereinheit

Sofern zum Zeitpunkt der Berechnung Komponenten nicht fixiert wurden, sind äquivalente Komponenten zulässig. Bei signifikanten Abweichungen der initialen Annahmen für die Berechnungen sind diese jedenfalls neu durchzuführen.

Die Aufteilung des Blindleistungsbedarfs der zusätzlichen Anlagenkomponenten (z.B. Transformator, Leitungen) erfolgt dabei standardmäßig aliquot (linear) zur Einspeiseleistung der Bestands- und der Neuanlage(n). Dabei ist für die Blindleistungsaufnahme bzw. -abgabe der Anlagenkomponenten mit der maximalen Auslastung (100 %) zu rechnen. In Kapitel 8.3.6 gemäß Anhangdokument ist beispielhaft eine lineare Aufteilung des Blindleistungsbedarfs beschrieben. Für Mischanlagen, bei welchen die Bestandsanlagen inaktiv (z.B. aufgrund einer Kraftwerkschließung) sind, sind beispielhafte Blindleistungsaufteilungsmethoden in Kapitel 8.3.6 gemäß Anhangdokument beschrieben. Die Anwendung einer von der linearen abweichenden Methode ist nur in Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber zulässig.

Sofern einzelne Einheiten inaktiv sind, müssen die verbleibenden Einheiten nicht die induktive/kapazitive Ladeleistung der Leitungen der inaktiven bidirektionalen Einheiten decken.

B.4.2 Simulationsdurchführung

Für die Berechnung soll $P_{\text{ref,Q-Test}}$ sowohl im Modus „Bezug“ als auch im Modus „Lieferung“ herangezogen werden. Sofern eine Reduktion/Erhöhung der Wirkleistung zugunsten der Blindleistungsbereitstellung notwendig ist, so ist ein von $P_{\text{ref,Q-Test}}$ abweichender Betriebszustand zulässig.

Die Berechnung der Ergebnisse hat über ein statisches Lastflussmodell zu erfolgen.

Das externe Netz ist dabei als Slack zu modellieren.

In der Berechnung soll für jeden Betriebspunkt der größtmögliche Blindleistungsbereich (Blindleistungsvermögen) sowohl untererregt als auch übererregt ermittelt werden.

Blindleistungskapazität bei Maximalkapazität

Es soll die Spannung von $U/U_{\text{ref,Q-Test}} = 0,9$ pu in maximal 1 %-Schritten bis $U/U_{\text{ref,Q-Test}} = 1,1$ pu gesteigert werden. Sofern Transformatoren mit Stufenregelungen vorhanden sind und diese für den Nachweis des Blindleistungsbereiches herangezogen werden, können

abweichend von den 1-%-Schritten auch größere Schrittweiten in der Höhe der Stufenregelung verwendet werden.

Blindleistungskapazität unterhalb der Maximalkapazität

Die nachfolgend beschriebenen Überprüfungspunkte sollen bei folgenden Spannungswerten durchgeführt werden:

- $U = 90 \% U_{\text{ref,Q-Test}}$
- $U = 95 \% U_{\text{ref,Q-Test}}$
- $U = 100 \% U_{\text{ref,Q-Test}}$
- $U = 105 \% U_{\text{ref,Q-Test}}$
- $U = 110 \% U_{\text{ref,Q-Test}}$

Es soll die Wirkleistung von $P/P_{\text{ref,Q-Test}} = 0 \text{ pu}$ in maximal 1 %-Schritten bis $P/P_{\text{ref,Q-Test}} = -1 \text{ pu}$ (Bezug) bzw. $P/P_{\text{ref,Q-Test}} = 1 \text{ pu}$ (Lieferung) gesteigert werden.

B.4.3 Auswertung

Diesbezüglich sind keine Anforderungen vorgesehen.

B.4.4 Dokumentation

Blindleistungskapazität bei Maximalkapazität

Es soll ein $U/U_{\text{ref,Q-Test}} - Q/P_{\text{ref,Q-Test}}$ Diagramm erstellt werden, in dem die ermittelten Werte (inklusive Hüllkurve) und der vom relevanten Netzbetreiber vorgegebene Blindleistungsbereich dargestellt sind. Eine beispielhafte Auswertung ist in Kapitel 8.3.6 gemäß Anhangdokument dargestellt. Es sind bei einer grafischen Darstellung mindestens markante Punkte tabellarisch zu dokumentieren. Als Vorlagenbeispiel dient die vorliegende Tabelle in Kapitel 8.3.6 gemäß Anhangdokument.

Blindleistungskapazität unterhalb der Maximalkapazität

Es soll ein $P/P_{\text{ref,Q-Test}} - Q/P_{\text{ref,Q-Test}}$ Diagramm erstellt werden, in dem die ermittelten Werte (inklusive Hüllkurve) und der vom relevanten Netzbetreiber vorgegebene Blindleistungsbereich für die unterschiedlichen Spannungswerte dargestellt sind. Es sind bei einer grafischen Darstellung mindestens markante Punkte tabellarisch zu dokumentieren. Als Vorlagenbeispiel dienen die Tabellen in Kapitel 8.3.6 gemäß Anhangdokument.

Folgende Größen und Informationen müssen zusätzlich dokumentiert werden:

- Verwendete Software mit Versionsnummer
- Überblick der modellierten Komponenten mit den eingestellten Parametern (Einlinienschaltbild, Anlagenwerte, zum Einsatz kommende Regelsysteme)
- Implementiertes Generator- bzw. Leistungsdiagramm
- Beschreibung von zusätzlich implementierten Grenzen (z.B. Untererregungs- bzw. Übererregungsbegrenzung)
- Referenzleistung $P_{\text{ref,Q-Test}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,Q-Test}}$
- Vorhandene Leistung $P_{\text{Q-Test}}$ während der Überprüfung bzw. allfällige Leistungsbegrenzung
- Vorgegebener Blindleistungsbereich vom relevanten Netzbetreiber
- Stufenschalterposition, falls ein Transformator mit Stufensteller verwendet wurde

B.5 Winkelsprünge

B.5.1 Allgemeines

Bidirektionale Energiesysteme müssen in der Lage sein, auf Winkelsprünge stabil zu reagieren. Genaue Überprüfungsverfahren sind derzeit in Erarbeitung. Ziel dieser groben Überprüfung ist die Dokumentation des allgemeinen Verhaltens bei unterschiedlichen Winkelsprüngen.

Für diese Anforderung sind derzeit keine konkreten Vorgaben in den TOR-Richtlinien vorhanden. Sie dienen in der vorliegenden Richtlinie als Leitfaden, in welche Richtung sich eine Prüfung dieser technischen Anforderung orientieren wird. Die Überprüfung ist als optional zu sehen bzw. erfolgt die Entscheidung über eine Überprüfung in Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel [Platzhalter] der TOR SEA und [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.13 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

B.5.2 Simulationsdurchführung

Die Simulationsdurchführung soll der Prüfungsdurchführung aus Kapitel A.12.3 entsprechen. Dabei ist ein Herstellermodell bzw. ein vom Hersteller verifiziertes Modell heranzuziehen.

Sofern vom relevanten Netzbetreiber eine Grid Following Eigenschaft gefordert wurde, sind die Ergebnisse aus der Simulation mit den gleichen Simulationsschritten für eine ideale Stromquelle hinter einer equivalenten Impedanz zu vergleichen.

Sofern vom relevanten Netzbetreiber eine Grid Forming Eigenschaft gefordert wurde, sind die Ergebnisse aus der Simulation mit den gleichen Simulationsschritten für eine ideale Spannungsquelle hinter einer equivalenten Impedanz zu vergleichen.

B.5.3 Auswertung

Die Auswertung erfolgt durch den Vergleich der Simulationsergebnisse zwischen Simulationsmodell und Quelleneigenschaft.

B.5.4 Dokumentation

Folgende Größen sollen miteinander verglichen werden

- Beschreibung des verwendeten Regelkonzepts (Grid Following, Grid Forming, Subvarianten, usw.)
- Referenzwirkleistung $P_{\text{ref,Winkelsprung}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,Winkelsprung}}$
- Leistung zu Beginn des Tests $P_{\text{Beginn,Winkelsprung}}$
- Wirkleistung im Mit- und Gegensystem an den Klemmen
- Blindleistung im Mit- und Gegensystem an den Klemmen
- Alle Phasenströme an den Klemmen
- Alle Phasenspannungen an den Klemmen und am NAP
- Alle Außenleiterspannungen an den Klemmen und am NAP
- Winkelsprünge

B.6 Grid Forming Fähigkeit

B.6.1 Allgemeines

Bidirektionale Energiesysteme müssen, sofern dies vom relevanten Netzbetreiber gefordert wird, als Regelung das Prinzip einer Spannungsquelle hinter einer (virtuellen) Impedanz zur Verfügung stellen. Dies setzt weiters voraus, dass eine gewisse Trägheit, nachgebildet durch eine virtuelle Anlaufzeitkonstante/virtuelle Schwungmasse, zusätzlich als Freiheitsgrad vorhanden ist.

Für diese Anforderung sind derzeit keine konkreten Vorgaben in den TOR-Richtlinien vorhanden. Sie dienen in der vorliegenden Richtlinie als Leitfaden, in welche Richtung sich eine Prüfung dieser technischen Anforderung orientieren wird. Die Überprüfung ist als

optional zu sehen bzw. erfolgt die Entscheidung über eine Überprüfung in Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel [Platzhalter] der TOR SEA und [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.14 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

B.6.2 Simulationsdurchführung

Die Simulationsdurchführung soll der Prüfungsdurchführung aus Kapitel A.13.3 entsprechen. Dabei ist ein Herstellermodell bzw. ein vom Hersteller verifiziertes Modell heranzuziehen.

B.6.3 Auswertung

Die Auswertung erfolgt durch den Vergleich der Simulationsergebnisse zwischen Simulationsmodell und Feld/Labormessungen. Dabei ist besonderes Augenmerk auf die inhärente Reaktion der vergleichenden Systeme (z.B. Grid Forming und Spannungsquelle) zu legen. Der stationäre Wert kann aufgrund der Umrichterregelung vom idealen Quellverhalten abweichen.

B.6.4 Dokumentation

Folgende Größen sollen miteinander verglichen werden

- Beschreibung des verwendeten Regelkonzepts (Grid Forming, Subvarianten, usw.)
- Referenzwirkleistung $P_{\text{ref,Grid Forming}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,Grid Forming}}$
- Leistung zu Beginn des Tests $P_{\text{Beginn,Grid Forming}}$
- Wirkleistung im Mit- und Gegensystem an den Klemmen
- Blindleistung im Mit- und Gegensystem an den Klemmen
- Alle Phasenströme an den Klemmen
- Alle Phasenspannungen an den Klemmen und am NAP
- Alle Außenleiterspannungen an den Klemmen und am NAP
- Kennzeichnung einer etwaigen Stromlimitierung
- Winkelsprünge und Amplitudensprünge
- virtuelle Anlaufzeitkonstante/virtuelle Schwungmasse
- Ausweisung bis zu welchen Sprüngen die Grid Forming Eigenschaft gewahrt werden kann

B.7 Dämpfung von Frequenzschwingungen

B.7.1 Allgemeines

Bidirektionale Energiesysteme müssen in der Lage sein, auf Frequenzschwingungen dämpfend zu wirken. Diese setzen sich aus drei unterschiedlichen Frequenzbereichen zusammen:

- 0,1 Hz bis 2 Hz
- 2 Hz bis 100 Hz
- 100 Hz bis 2,5 kHz

Für diese Anforderung sind derzeit keine konkreten Vorgaben in den TOR-Richtlinien vorhanden. Sie dienen in der vorliegenden Richtlinie als Leitfaden, in welche Richtung sich eine Prüfung dieser technischen Anforderung orientieren wird. Die Überprüfung ist als optional zu sehen bzw. erfolgt die Entscheidung über eine Überprüfung in Abstimmung mit dem relevanten Netzbetreiber.

Der folgende Abschnitt dient zum Nachweis der Anforderungen entsprechend dem Kapitel [Platzhalter] der TOR SEA und [Platzhalter] der TOR VNA. Gleichzeitig werden in diesem Abschnitt die Rahmenbedingungen zur Erfüllung der in Kapitel 5.15 genannten Bewertungs- und Akzeptanzkriterien, welche durch einen Test nachgewiesen werden sollen, beschrieben.

B.7.2 Simulationsdurchführung

Die Simulationsdurchführung soll der Prüfungsdurchführung aus Kapitel A.14.3 entsprechen. Dabei ist ein Herstellermodell bzw. ein vom Hersteller verifiziertes Modell heranzuziehen.

B.7.3 Auswertung

Die Auswertung soll dem Auswertungsverfahren aus Kapitel A.14.4 entsprechen.

B.7.4 Dokumentation

Folgende Punkte müssen bei der Durchführung der Prüfung dokumentiert werden:

- Beschreibung des verwendeten Prüfverfahrens inkl. Netzersatzdaten
- Referenzwirkleistung $P_{\text{ref,f-Dämpfung}}$
- Referenzspannung $U_{\text{ref,f-Dämpfung}}$
- Leistung zu Beginn des Tests $P_{\text{Beginn,f-Dämpfung}}$
- Wirkleistung an den Klemmen
- Blindleistung an den Klemmen
- Alle Phasenströme an den Klemmen

- Alle Phasenspannungen an den Klemmen und am NAP
- Alle Außenleiterspannungen an den Klemmen und am NAP
- Frequenz der Frequenzschwingung