



Verbundvorhaben „Netzregelung 2.0“

**Abschlusskonferenz
Mi 6.7. - Do. 7.7.2022**

Prüfverfahren & -nachweise für netzbildende Stromrichter

**Dr. Gunter Arnold, Fraunhofer IEE
Björn Oliver Winter, elenia – TU Braunschweig
Nils Wiese, e2n - Uni Kassel**



Inhalt

- **Forschungsfrage G & Überblick über die Nachweisthemen**

- **Grundlegende Anforderungen an experimentelle Nachweise**

- **Exemplarische Prüfungen und Ergebnisse**
 - **Bereitstellung von Momentanreserveleistung**
 - **Verhalten bei Netzauftrennung**
 - **Inselnetzerkennung mit variabler Impedanz**
 - **Verhalten bei Netzfehlern**

- **Zusammenfassung**



Forschungsfrage G & Überblick über die Nachweisthemen

Forschungsfrage G: Wie können wir für netzbildende Stromrichter nachweisen, dass sie die Anforderungen an Stromrichter im Netzparallelbetrieb erfüllen?

Netzeigenschaften von netzbildenden Stromrichtern

Netzbildung / Spannungsquelle

- U-Sollwert: Genauigkeit & Dynamik
- f-Sollwert: Genauigkeit & Dynamik
- Robustheit
- Impedanzverl.

Bereitstellung von Momentan- reserve

- ΔP : Genauigkeit & Dynamik
- Trägheit H / Anlaufzeitkonstante T_a
- Dämpfung D / Eigenfrequ.

Überlast- & Netzfehler- (FRT) Verhalten

- Überlastströme
- Durchfahrt Netzfehler (j/n)?
- Fehlerstrombeiträge
- Spannungsstützung

Netzurückwir- kungen (Ober- schwingungen)

- Emission von Spannungs- & Stromüberschwingungen
- Spannungs- & Stromunsymmetrien

Wirk- & Blindleistung- bereitstellung

- P-Sollwert: Genauigkeit & Dynamik
- LFSM-O / -U
- Q-Sollwert: Genauigkeit & Dynamik
- Q (U) etc.

Ungewollte Inselnetzbildung

- Abschaltzeiten
- Nicht-erkennungsbedingungen

■ Übergeordnete Ziele:

- Messtechnischer Nachweis vereinbarter/geforderter techn. Eigenschaften eines Gerätes oder einer Anlage z.B. für die Netzanschlusszertifizierung
- **Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse**

■ Folgende **Anforderungen sollten in einem Prüfdokument festgelegt** werden:

- **Anwendungsbereich:** Für welche Geräte (Anwendungsbereich, Technologien, Leistungen etc)?
- **Testziel(e):** Welche Eigenschaft(en) sollen nachgewiesen werden?
- **Prüfverfahren:** Wie soll(en) die Eigenschaft(en) nachgewiesen werden?, Erfolgskriterien?
- **Prüfaufbau und Prüfumgebung:** Wo (Labor, Freifeld)?; Welche Prüfeinrichtungen sind notwendig?
- **Messung und Messtechnik:** Messsystem?, Sensorik?, Aufzeichnung welcher Messgrößen?, Abtastraten?, zulässige Messunsicherheiten?
- **Auswertung und Dokumentation:** welche Ergebnisse, Art der Darstellungen (Diagramm, Tabellen, etc.), welche Infos zum Prüfling (HW & SW, Parameter)?, Prüfaufbau?, Umgebungsbedingungen?



Bereitstellung von Momentanreserveleistung

Prüfaufbau

Prüfaufbau im IEE-Testzentrum SysTec
(in ähnlicher Form seit langem verwendet
für Netzanschlusstests z.B. nach FGW-
TR3)

- Leistungsfähiges Messdatenerfassungssystem
- Bidirektionale DC-Quelle (40 kVA) zur Versorgung des Prüflings
- Prüfling: Neuentwickelter (HW+SW) netzbild. Stromrichter (43,5 kVA)
- Prog. AC-Netzsimulator (90 kVA) geeignet für pos.& neg. f-Rampen



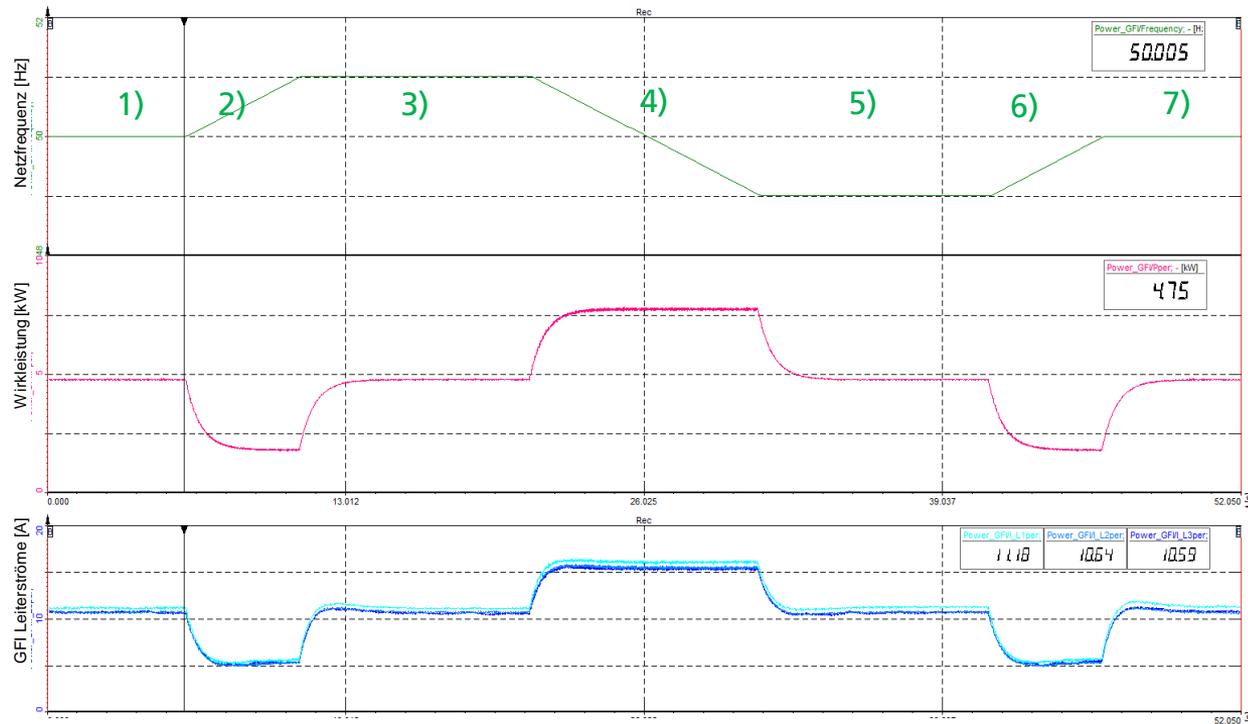
ROCOF-Prüfaufbau mit AC-Netzsimulator an einem netzbildenden Stromrichter



Bereitstellung von Momentanreserveleistung

ROCOF-Prüfung mit einem Netzsimulator

- Exemplarische Prüfsequenz (angelehnt an prEN 50549-10)
 - Rampenförmige Veränderung der Netzfrequenz mit einem AC-Netzsimulator
- 1) Start: 50 Hz const.
 - 2) +0,2 Hz/s Rampe 50 Hz → 51 Hz
 - 3) 51 Hz const. Für ca. 10 s
 - 4) -0,2 Hz/s Rampe 51 Hz → 49 Hz
 - 5) 49 Hz const. Für ca. 10 s
 - 6) +0,2 Hz/s Rampe 49 Hz → 50 Hz
 - 7) 50 Hz const.



ROCOF-Prüfung mit AC-Netzsimulator an einem netzbildenden Stromrichter mit 43,5 kVA Nennleistung



Bereitstellung von Momentanreserveleistung

Ergebnisse der ROCOF-Prüfungen

Stat. Wirkleistung

- Wirkleistungsveränderung proportional zur ROCOF-Rampe
- Wirkleistungsänderung linear
- Wirkleistungsänderung ebenfalls proportional zur ROCOF-Rampe

Berechnete Anlaufzeitkonstante Ta_calc

- Nahezu proportional zum Einstellwert A und unabhängig von der ROCOF-Rampe

$$T_A = \frac{f_n}{RoCoF} \cdot \frac{\Delta P}{S_n}$$

Netz S_n = 43,5 kVA

ΔP [kW]	Ta_soll = A [kW]	Ta_soll = 2*A [kW]	Ta_soll = 4*A [kW]
ROCOF [Hz/s]	[kW]	[kW]	[kW]
0,10	-0,34	-0,70	-1,49
-0,10	0,34	0,69	1,49
0,20	-0,75	-1,50	-2,97
-0,20	0,75	1,49	2,97
0,33	-1,24	-2,45	-4,78
-0,33	1,24	2,48	4,89
0,50		-3,51	
-0,50		3,56	

Ta_calc [s]	Ta_soll = 2*A [s]	Ta_soll = 4*A [s]
ROCOF [Hz/s]	[s]	[s]
0,10	3,908	17,126
-0,10	3,908	17,126
0,20	4,310	8,621
-0,20	4,310	8,563
0,33	4,319	8,534
-0,33	4,319	8,638
0,50		8,069
-0,50		8,184

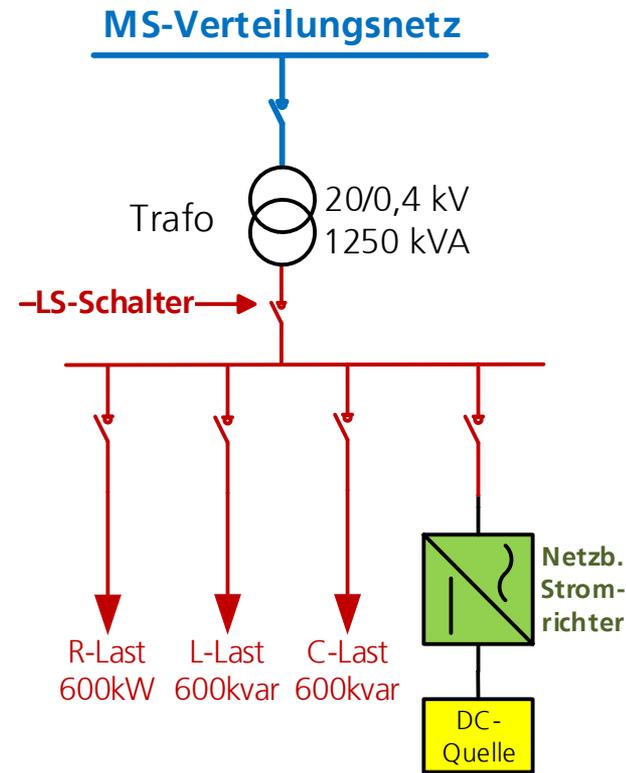
ROCOF-Prüfungen eignen sich sehr gut zur Bestimmung der Momentanreserveleistung



Verhalten bei Netzauftrennung

Einführung und Prüfaufbau

- Dynamischer Übergang
Netzparallel- → Inselbetrieb
- Unterschiedliche Eigenschaften können (je nach Parametrierung) nachgewiesen werden
 - Netzbildung: Stabiles Verhalten bei dynam. Laständerungen; f-Statik, U-Statik
 - Ungewollte Inselnetzbildung: Ermittlung AID-Funktion, Abschaltzeiten und Nichterkennungsbedingungen
- Prüfaufbau
 - Stromrichter-Prüfling ggf. mit DC-Quelle
 - Konfigurierbare RLC-Lasten (Schwingkreis mit definiertem Gütefaktor)
 - Leistungsschalter zur Netzauftrennung

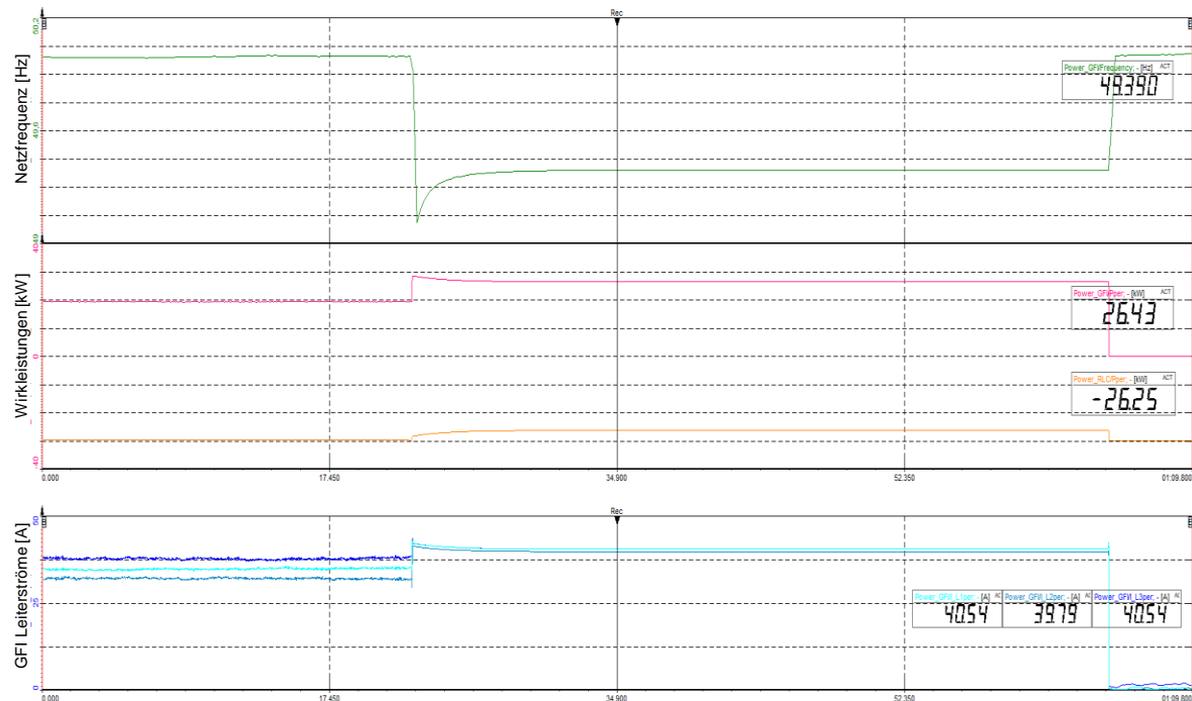




Verhalten bei Netzauftrennung

System-Split-Test an einer Lastbank

- Exemplarische Prüfsequenz (angelehnt an IEC 62116) mit abruptem Übergang vom Netzparallel- in den Inselbetrieb
- 1) Start: $P_{GFI} = 19,2 \text{ kW}$,
 $P_{RLC} = 29,7 \text{ kW}$,
 $f_{\text{Netz}} = 50,0 \text{ Hz}$,
 $U_{\text{Netz}} = 232 \text{ V}$
 - 2) Trennung vom Verbundnetz
 - 3) Stromrichter „übernimmt“ die Last; Transientes Absinken der Frequenz mit Rocof 6-8 Hz/s auf min. 49,1 Hz
 - 4) Stabilisierung durch Eingriff der SR-Regelung (Statiken):
 $P_{GFI} = 26,4 \text{ kW}$,
 $P_{RLC} = 26,2 \text{ kW}$,
 $f_{\text{Netz}} = 49,39 \text{ Hz}$,
 $U_{\text{Netz}} = 219 \text{ V}$



System Split-Test an einer Lastbank und einem netzbildenden Stromrichter mit 43,5 kVA Nennleistung

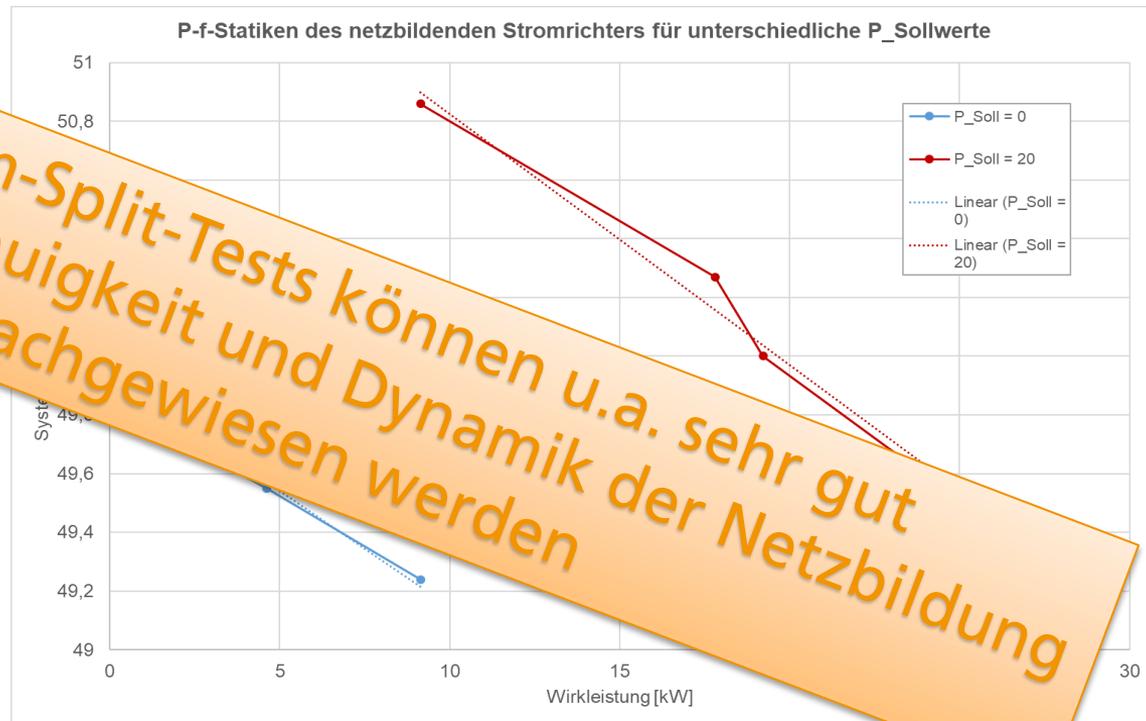


Verhalten bei Netzauftrennung

Ergebnis System-Split-Tests

- Exem (ang mit Ne

- Parameter
 - Inselnetzüberwa nicht aktiv
 - P-f-Statik aktiv
 - Q-U-Statik aktiv

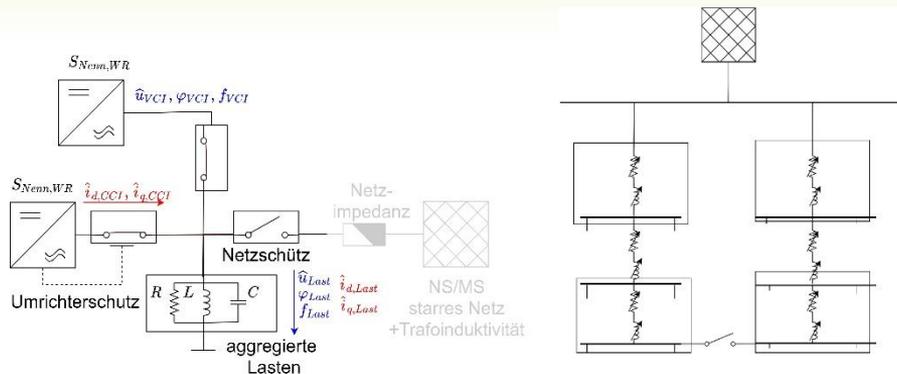


Ausgewählte System-Split-Tests an Lastbank mit netzbildenden Stromrichter und 43,5 kW Wirkleistung

Mit System-Split-Tests können u.a. sehr gut Robustheit, Genauigkeit und Dynamik der Netzbildung nachgewiesen werden

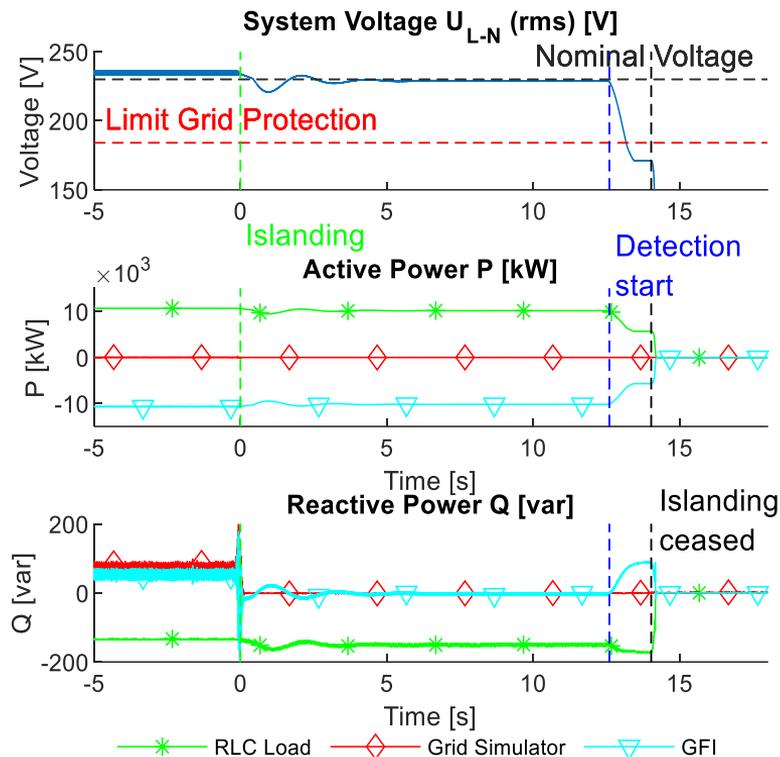


Versuchsreihen: Inselnetzerkennung mit variabler Impedanz



Erweiterte Netznachbildung erlaubt Durchführung von Inselnetztests in komplexen Versuchskonstellationen unter variabler Impedanz, Beispiel aktive Erkennung:

- Abstimmung Schwingkreis
- Inselung: $t=0$ s
- Stabiles Fangen der Insel
- Einschalten der Inselnetzerkennung über aktives Verfahren bei $t=12.6$ s
- Induktives Verhalten VCI resultiert in Destabilisierung der Spannung
- Abschalten der Insel bei $t=14.03$ s





Verhalten bei Netzfehlern

Prüfaufbau im IEE-Testzentrum SysTec

- Prog. AC-Netzsimulator (90 -270 kVA)
geeignet für UVRT & OVRT
- Leistungsfähiges
Messdatenerfassungssystem
- LE-Entwicklungsumgeb.(90 kVA)
zur Versorgung des Prüflings
- Prüfling:
HW: LE-Entwicklungsumgeb.(90 kVA),
SW: neue netzbildende Regelung in
Matlab-Simulink



Prüfaufbau im TPE-Labor des Prüfzentrums SysTec; Foto: Maximilian Döring



Verhalten bei Netzfehlern

Exempl. an

Prüfverfahren
Rev. 25)

- 3-poliger (symmetr.) Netzfehler
mit ca. 25% Restspannung
- Wirkleistung: $< 70\% P_n$
- Blindleistung: $< 10\% P_n$
- k-Faktor: 2
- Mehrfachsequenz mit untersch.
Dauern im Bereich von 1 bis 2sec.
 - Oben: Netzspannung
 - Mitte: Scheinstrom
 - Unten: Wirkstrom; Blindstrom

FRT-Tests können auch bei netzbildenden Stromrichtern erfolgreich angewendet werden



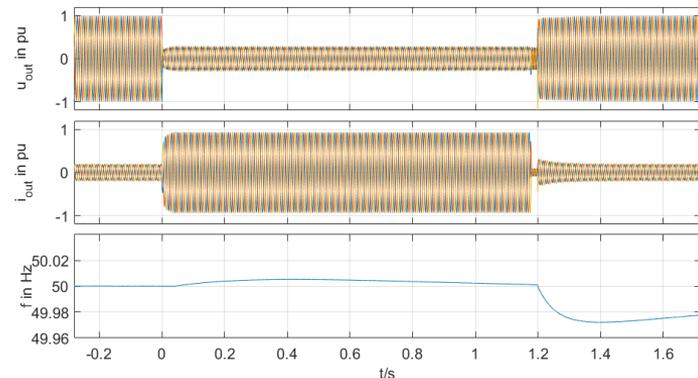
UVRT-Prüfung (Test 25.3 - Mehrfachfehler) an einer LE-Entwicklungsumgeb. mit netzbildender Regelung;
Quelle: Masterarbeit Maximilian Döring



Verhalten bei Netzfehlern

UVRT-Tests Universität Kassel

- 15 kVA Triphase Umrichter mit netzbildender Regelung
- Schaltschrank mit schaltbaren Induktivitäten:
6 Drosseln à 10 mH
- Konfigurierbar:
 - 1 pro Phase
 - 2 pro Phase seriell
 - 2 pro Phase parallel



- 3-poliger (symmetr.) Fehler
- Ziel Spannungsstützung



- Für die relevanten Eigenschaften von netzbildenden Stromrichtern wurden im Projektkonsortium Prüfverfahren, Testnachweise und grundlegende Anforderungen an ein „Prüfdokument“ in Workshops gemeinsam erarbeitet.
- Neue Verfahren für die Prüfung der netzbildenden Eigenschaften wurden auf der Grundlage bekannter nationaler aber auch internationaler Normen für Erzeugungseinheiten mit netzstützenden Stromrichtern weiterentwickelt.
- Neue Prüfverfahren wurden in verschiedenen Laborumgebungen der Projektpartner exemplarisch sehr detailliert untersucht.
- Für die neu entwickelten Prüfverfahren können in der Regel vorhandene Laborinfrastrukturen und Prüfeinrichtungen für netzstützende Stromrichter weiter verwendet werden.
- „Round-Robin“ Tests sinnvoll vor Festschreibung einer „Prüfrichtlinie“



Danke für ihre Aufmerksamkeit !

Fragen ?

Kontakt:

Dr. Gunter Arnold

gunter.arnold@iee.fraunhofer.de





Konsortium Netzregelung 2.0



Budget: ca. 10.5 Mio. €

Laufzeit: 12/2017-08/2022

Koordination: Fraunhofer IEE

Dr. Philipp Strauß, Dr. Thomas Degner
 netzregelung-2.0@iee.fraunhofer.de



Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter den Förderkennzeichen 0350023A-G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren und spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Projektkonsortiums Netzregelung 2.0 wider.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages