RINGVERSUCH ZUR ROCOF-IMMUNITÄT AN EINEM PV-WECHSELRICHTER

Abschlussworkshop zum Projekt ZuPrüVal, 22.04.2021

Nils Schäfer, Alexander Bitz, Dr. Gunter Arnold (Fraunhofer IEE), Philipp Löffelhardt (KACO new energy)

Fraunhofer IEE

DKE VDE DIN

KACO new energy.

BOSCH Technik fürs Leben

© Fraunhofer

INHALT

- Rückblick
- Zielstellung und Prüfaufbau des Ringversuchs
- Übersicht Prüfplatz Fraunhofer IEE
- Prüfsequenzen
- Exemplarische Messergebnisse
- Fazit / Schlussfolgerungen

© Fraunhofer

Rückblick auf Präsentation aus dem letzten Workshop am 17.9.2020

Anforderungen: International – CENELEC

Normenreihe EN 50549

EN 50549-1: 2019 (EZA für den Anschluss an das NS-Verteilnetz bis einschl. Typ B)

EN 50549-2: 2019 (EZA für den Anschluss an das MS-Verteilnetz bis einschl. Typ B)

prEN 50549-10: Entwurf Ende 2020 (Prüfnorm zu -1 und -2, Konformitätsnachweis)

Nachweisverfahren zur „RoCoF immunity" vorgeschlagen:

→ **Prüfverfahren** bzw. rechnerischer Nachweis / Simulation
(je nach Art und Leistungsgröße des Erzeugers)

→ Weiteres dazu siehe nachfolgende* Präsentation von Luca Guenzi
(*: im Workshop 17.9.2020)

Typ B: Nach NC RfG sind dies für Kontinentaleuropa Generatoren mit einer Leistung ≤ 1 MW.

© Fraunhofer

Rückblick auf Präsentation aus dem letzten Workshop am 17.9.2020

Anforderungen: National – Deutschland

RoCoF-Anforderung aus den deutschen Netzanschlussrichtlinien

→ VDE-AR-N 4105 (NS), 4110 (MS), 4120 (HS) und 4130 (HöS)

VDE-AR-N 4110: 2018-11, Kapitel 10.2.4.3 „Wirkleistungsanpassung bei Über- und Unterfrequenz“:

*… Erzeugungsanlagen müssen **schnelle Frequenzänderungen ohne Trennung vom Netz** (Frequenz-änderungsgeschwindigkeit, RoCoF) **durchfahren** können. Diese Anforderung gilt, solange die folgenden gemittelten Frequenzänderungsgeschwindigkeiten nicht überschritten werden:*

- *± 2,0 Hz/s für ein gleitendes Zeitfenster von 0,5 s oder*
- *± 1,5 Hz/s für ein gleitendes Zeitfenster von 1 s oder*
- *± 1,25 Hz/s für ein gleitendes Zeitfenster von 2 s. …*

National: Kein Prüfverfahren beschrieben (Herstellererklärung)

© Fraunhofer

Ringversuch zur RoCoF-Immunität an einem PV-Wechselrichter (50 kVA)
Zielstellung und Prüfaufbau

Zielstellung

- Vergleichende Messung an zwei unterschiedlichen Prüfständen
- Reproduzierbarkeit von Prüfergebnissen?
- Analyse der Genauigkeit der messtechnischen Erfassung von RoCoF-Ereignissen

Prüfaufbau

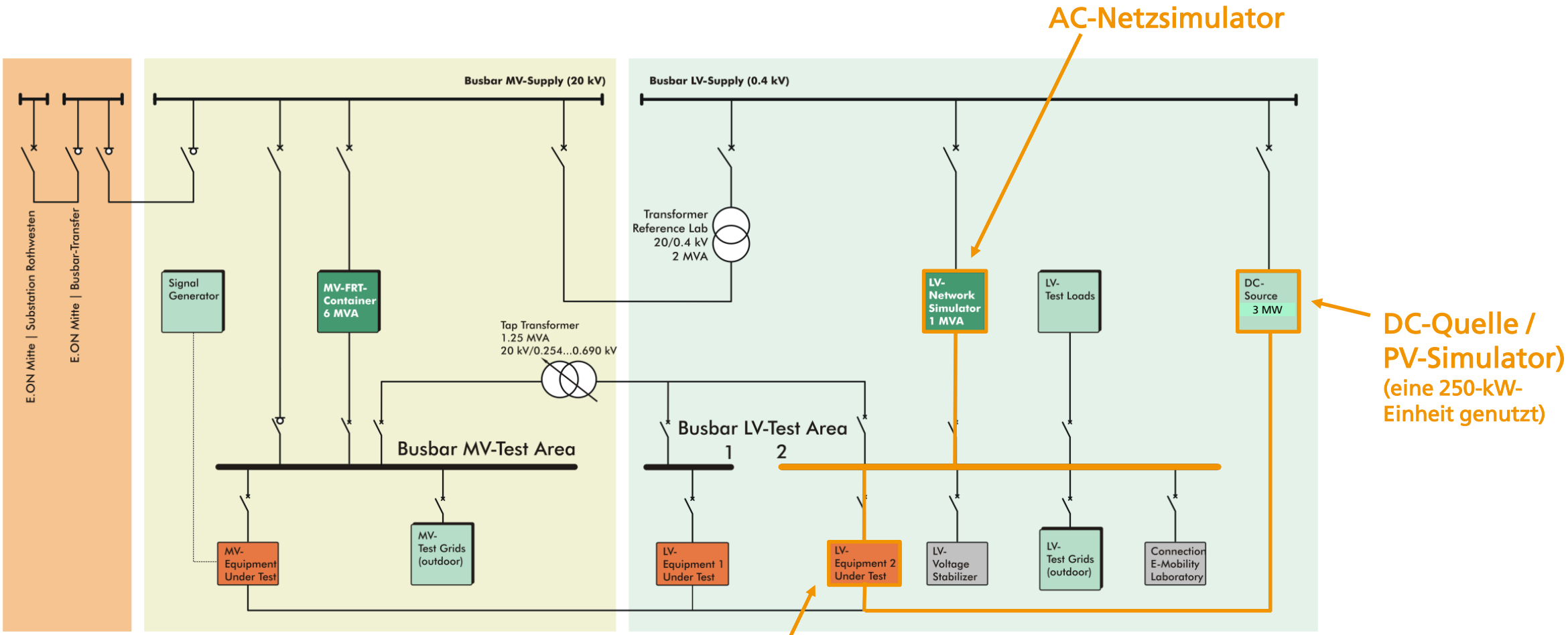
- Fraunhofer IEE → Film-Clip „Laboreinblick“
  - Netzsimulator (Gustav Klein), 1 MVA
  - DC-Quelle (Magna Power Electronics), 1 Einheit à 250 kW
- KACO new energy
  - Netzsimulator (California Instruments), 90 kVA
  - DC-Quelle (Regatron), 3x2 Einheiten mit in Summe 190 kW

Prüf- und Messaufbau am Fraunhofer IEE

© Fraunhofer

Übersicht Prüfplatz Fraunhofer IEE

Anschluss des Prüflings



Schaltplan PNI „Prüflabor Netzintegration“
Quelle: Fraunhofer IEE

© Fraunhofer

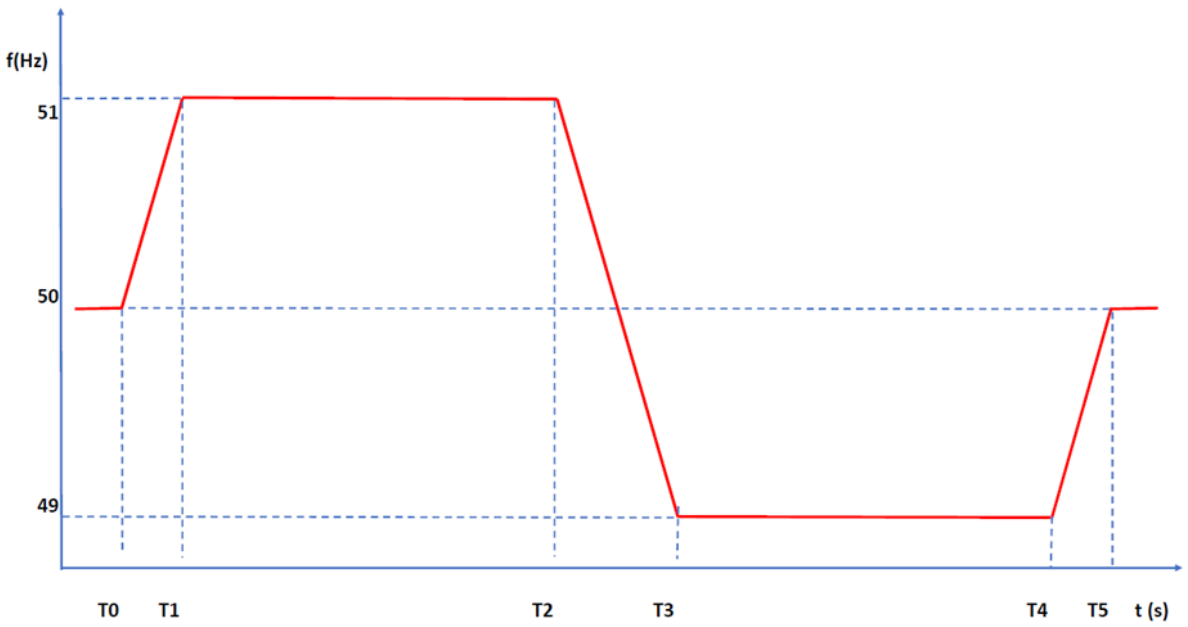
Fraunhofer IEE

Prüfsequenz (Teil 1)

RoCoF-Immunität nach prEN 50549-10 (Entwurf)

- P(f) deaktiviert, MPP-Tracking aktiv
- Frequenzgradienten vorgegeben mit:
  - 1,0 Hz/s
  - 1,25 Hz/s
  - 1,5 Hz/s
  - 2,0 Hz/s (nur Fraunhofer IEE)
  - 2,5 Hz/s
  - 3,5 Hz/s
  - 5,0 Hz/s
  - 10,0 Hz/s

Diese Werte sind unrealistisch / unwahrscheinlich im Verbundnetz, ggf. denkbar in Insel- oder Teilnetzen. Sie wurden verwendet zum Ausloten der Belastungsgrenzen des Prüflings.



Prüfsequenz zur RoCoF-Immunität
Quelle: prEN 50549-10, Kap. 5.3.1 Immunity to disturbances – Rate of Change of Frequency

Tabelle C.1 – Parametertabelle (1 von 5)

Abschnitt(e)/Unterabschnitt(e) dieser EN	Ref	Parameter	Typischer Wertebereich	Standardwert	VNB-Anforderung
4.5.2 Störfestigkeit gegen Frequenzänderungsraten (ROCOF)	A, B	ROCOF-Störfestigkeit (durch Messung mit einem gleitenden Fenster von 500 ms bestimmt) nicht synchrone Erzeugungs-technologie: synchrone Erzeugungstechno-logie:	nicht festgelegt	2 Hz/s 1 Hz/s	

Parametertabelle aus Anhang C der DIN EN 50549-1 / -2: 2020-10

© Fraunhofer

Prüfsequenz (Teil 2)

P(f) nach FGW TR3 Rev. 25

- Wirkleistungsreduzierung in Abhängigkeit der Netzfrequenz für den Fall Überfrequenz (LFSM-O)
- Vermessung für zwei P(f)-Modi:
  - Modus 1: mit Hysterese (Einfrieren der Wirkleistung bis zur Rückkehr auf 50,05 Hz)
  - Modus 2: keine Hysterese („Fahren auf der Kennlinie“)
- MPP-Tracking aktiv
- Frequenzgradienten vorgegeben mit:
  - 3,5 Hz/s (abweichend zu den VDE-Anwendungsregeln)
- → Film-Clip „Testeinblick“

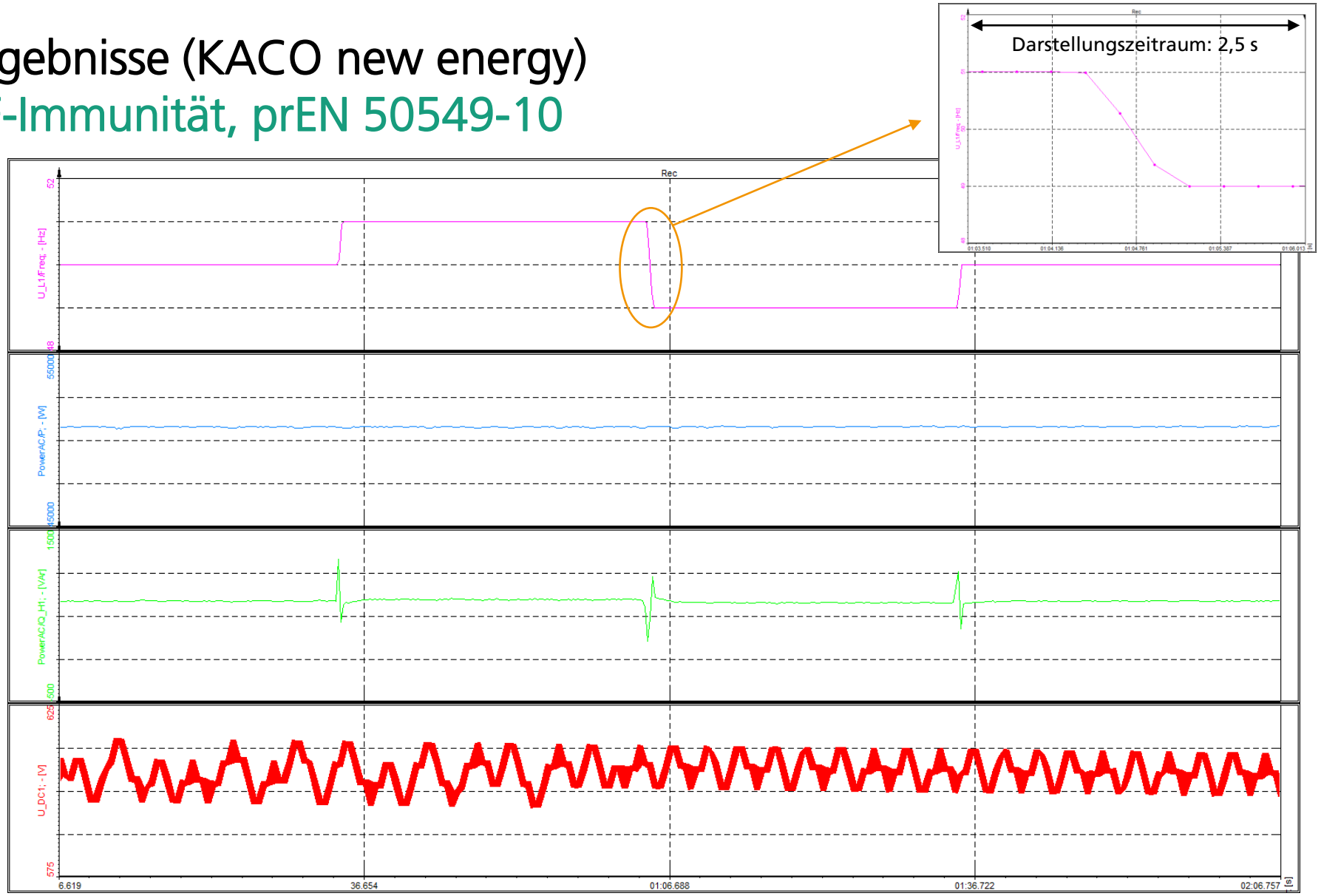
© Fraunhofer

Exemplarische Messergebnisse (KACO new energy)

Prüfsequenz 1: RoCoF-Immunität, prEN 50549-10

- Frequenzsprünge:
  - 50 Hz → 51 Hz
  - 51 Hz → 49 Hz
  - 49 Hz → 50 Hz

  (jede Stufe 30 s gehalten)
- Wirkleistung (blau) sehr konstant
- Blindleistung (grün) schwankt leicht <u>bei Frequenzsprüngen</u>
- Frequenzgradient
  - Vorgabe: 3,5 Hz/s
  - Messung: 3,51 Hz/s
    (Mittelungszeit: 256 ms)



Zeitverläufe von Frequenz (rosa), Wirkleistung (blau), Blindleistung (grün), DC-Spannung (rot); Quelle: Messdaten KACO new energy

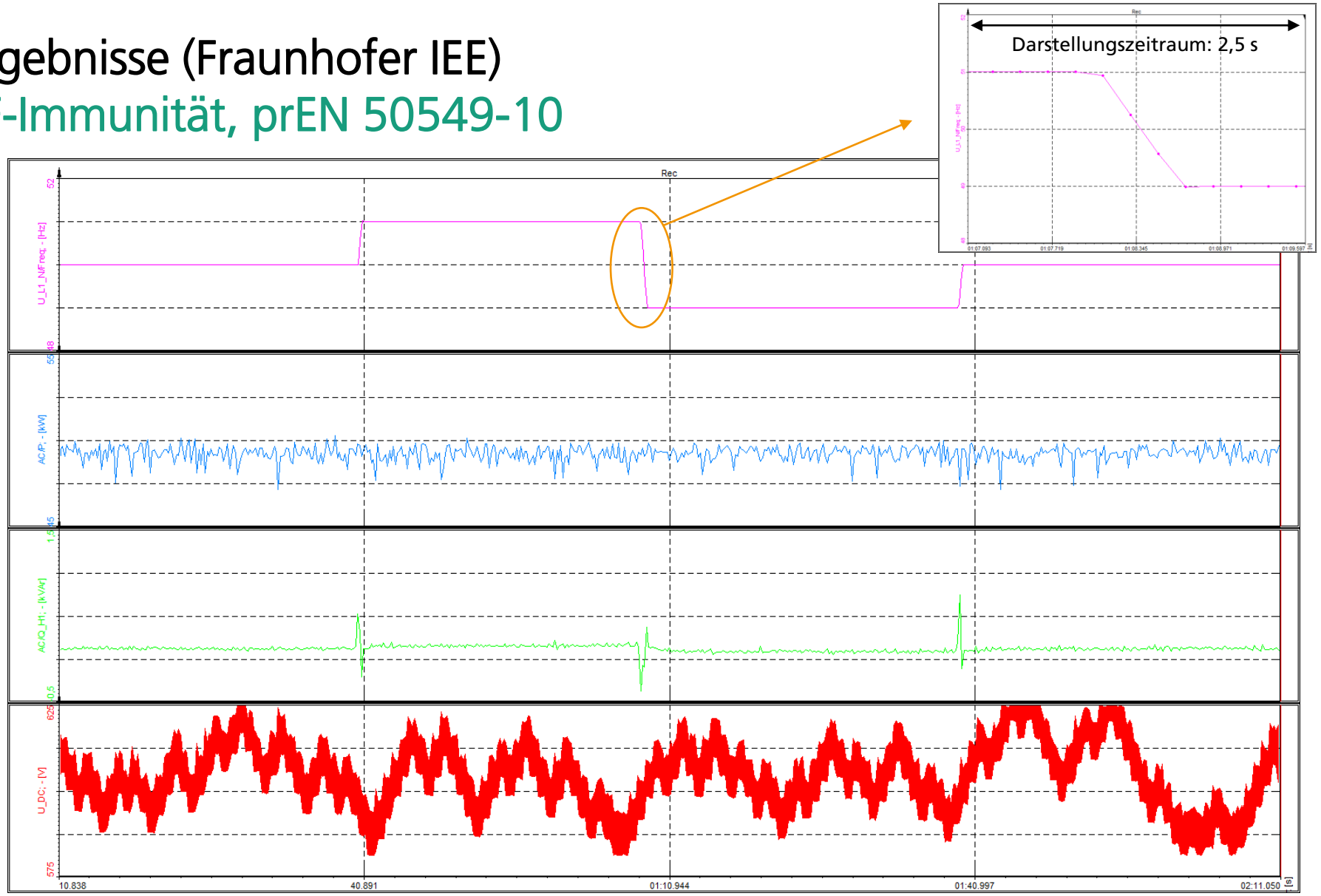
© Fraunhofer

Exemplarische Messergebnisse (Fraunhofer IEE)

Prüfsequenz 1: RoCoF-Immunität, prEN 50549-10

- Frequenzsprünge:
  - 50 Hz → 51 Hz
  - 51 Hz → 49 Hz
  - 49 Hz → 50 Hz

  (jede Stufe 30 s gehalten)
- Wirkleistung (blau) schwankt leicht
- Blindleistung (grün) schwankt leicht <u>bei Frequenzsprüngen</u>
- Frequenzgradient
  - Vorgabe: 3,5 Hz/s
  - Messung: 3,34 Hz/s
    (Mittelungszeit: 205 ms)



Zeitverläufe von Frequenz (rosa), Wirkleistung (blau), Blindleistung (grün), DC-Spannung (rot); Quelle: Messdaten Fraunhofer IEE

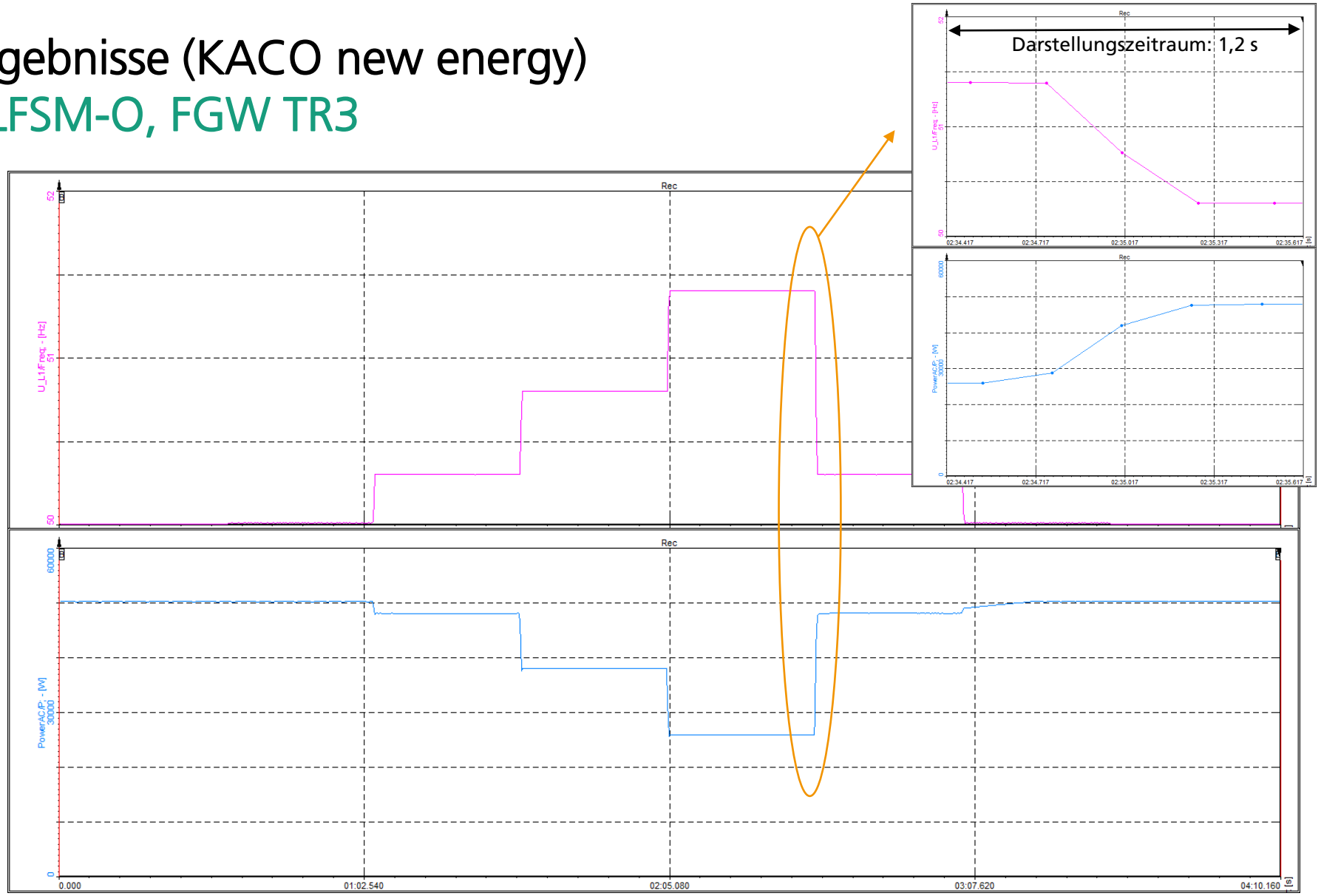
© Fraunhofer

Exemplarische Messergebnisse (KACO new energy)

Prüfsequenz 2: P(f) – LFSM-O, FGW TR3

- P(f) mit 40 %P_n / Hz ohne Hysterese
- Prüfpunkte (je 30 s gehalten)
  - 50,0 Hz; 50,012 Hz
  - 50,3 Hz
  - 50,8 Hz
  - 51,4 Hz
  - 50,3 Hz
  - 50,012 Hz; 50,0 Hz
- Frequenzgradient
  - Vorgabe: 3,5 Hz/s
  - Messung: 2,49 Hz/s (Mittelungszeit: 256 ms)

Sprung um -1,1 Hz



Zeitverläufe von Frequenz (rosa) und Wirkleistung (blau), Messung zur Prüfsequenz P(f); Quelle: Messdaten KACO new energy

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Fazit / Schlussfolgerungen

Ergebnis des Ringversuchs zur RoCoF-Immunität an einem PV-Wechselrichter

- Prüfsequenzen mit vorgegebenen Frequenzgradienten (auch für Werte größer 2 Hz/s) stellen **keine Herausforderung** für den vermessenen PV-Wechselrichter dar
- Bei Inbetriebnahme des Prüfaufbaus ist auf eine **gute Abstimmung** von DC-Quelle (PV-Simulator) und PV-Wechselrichter zu achten*
  - strom- / spannungsgeregelter Betrieb von DC-Quelle und Wechselrichter aufeinander abstimmen
  - bei schlechter Abstimmung evtl. Regler-Oszillationen insbes. bei Frequenzsprüngen
- **Exakte messtechnische Erfassung** von Frequenzwerten ist anspruchsvoll und damit auch die genaue Bestimmung von hohen RoCoF-Gradienten (siehe auch Anmerkung auf Slide 7 zu höheren RoCoF-Werten)

*: Tests / Messungen mit aktivierter MPP-Regelung sind nur erfolgreich / aussagekräftig, wenn die DC-Quelle auf den individuellen PV-Wechselrichter abgestimmte Solargenerator-Kennlinien ermöglicht und das Regelverhalten der Quelle angepasst werden kann. Hinsichtlich P(f) sind Frequenzsprünge besonders anspruchsvoll, weil sich gleichzeitig (anhand der Frequenzänderung) meist auch ein geänderter Leistungssollwert ergibt.

© Fraunhofer

RINGVERSUCH ZUR ROCOF-IMMUNITÄT AN EINEM PV-WECHSELRICHTER

Smart Grid / Hybridsystem Labor, Fraunhofer IEE
www.iee.fraunhofer.de/mess

Vielen Dank!

Haben Sie Fragen?

Nils Schäfer, Alexander Bitz, Dr. Gunter Arnold
Fraunhofer IEE, Kassel

Philipp Löffelhardt
KACO new energy, Neckarsulm

nils.schaefer@iee.fraunhofer.de | alexander.bitz@iee.fraunhofer.de
gunter.arnold@iee.fraunhofer.de | philipp.loeffelhardt@kaco-newenergy.de

Das dieser Präsentation zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03TNH027A-C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

© Fraunhofer