

Analyse des realen Verhaltens einer heterogenen PV-Anlagenpopulation bei Überfrequenz-Situationen mithilfe eines Inselnetz-Feldversuchs

EnInnov 2018

TU Graz, Österreich | 14. -16. Februar 2018

Christoph Steinhart, Michael Gratza,
Sonja Baumgartner, Michael Finkel,
Rolf Witzmann, Georg Kerber,

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Forschungsprojekt LINDA



LINDA (Lokale Inselnetzversorgung und beschleunigter Netzwiederaufbau mit dezentralen Erzeugungsanlagen bei großflächigen Stromausfällen)

Verbesserung des Versorgungsniveaus bei Großstörungen insbesondere für kritische Infrastrukturen

Verzicht auf eigene Kommunikationsinfrastruktur

Forschungsmethodik basiert auf Feldversuchen und transientem Simulationsmodell

Projektpartner:



Untersuchung des realen Verhaltens von PV-Anlagen in Überfrequenz-Situationen mithilfe eines Inselnetz-Feldtests



1. Methodische Vorgehensweise
2. Verhalten von Anlagen mit festen Frequenz-Abschaltschwellen
3. Verhalten von Anlagen mit $P(f)$ -Rampenfunktion
4. Gesamtverhalten Inselnetz
5. Einfluss des realen Anlagenverhaltens auf die Frequenzstabilität
6. Fazit

Methodik Frequenzregelung im Inselnetz-Feldversuch



Agenda:

Methodische Vorgehensweise

Anlagen mit Abschalt-schwellen

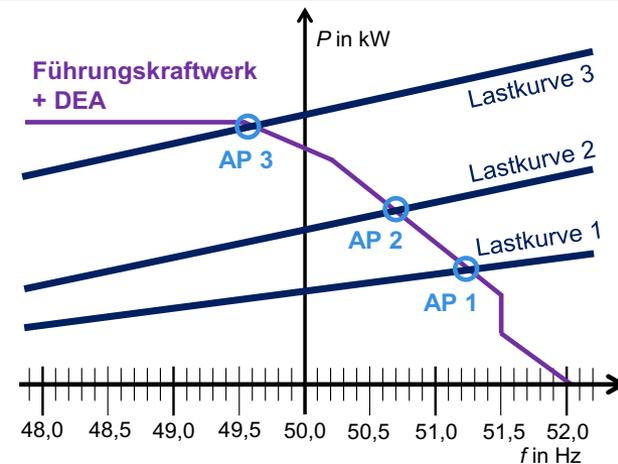
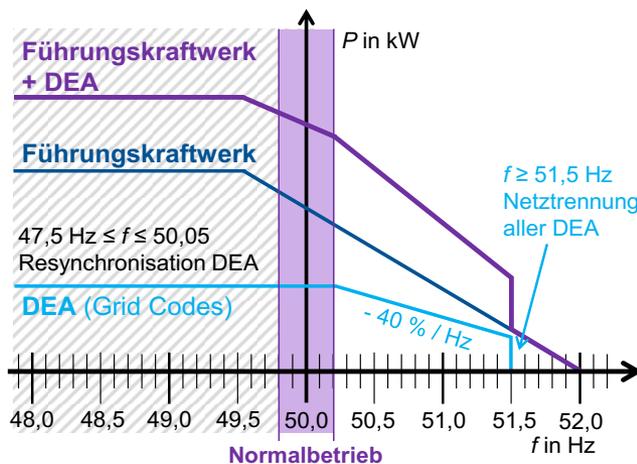
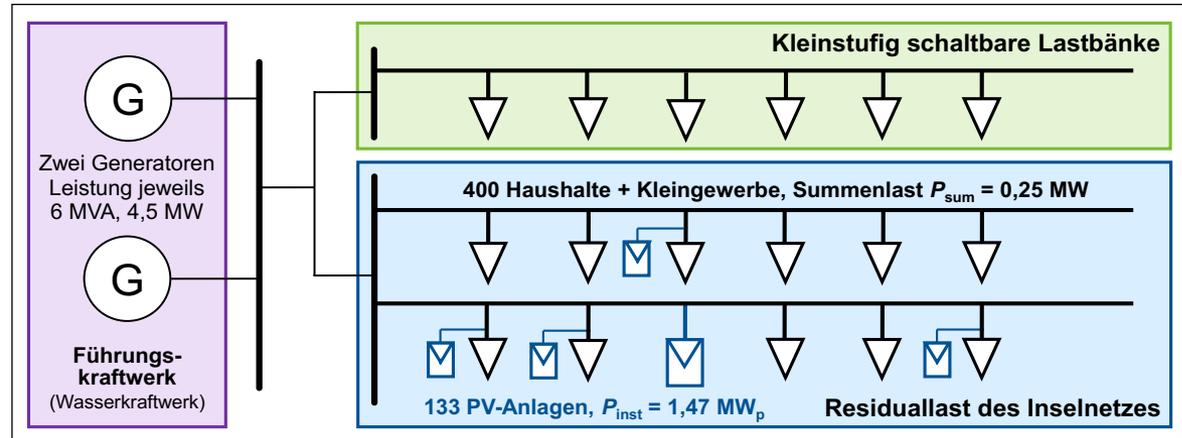
Anlagen mit Rampenfunktion

Gesamtverhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenzstabilität

Fazit

Schematische Darstellung des untersuchten Inselnetzgebiets



Einstellung der stationären Frequenz mithilfe der Lastbänke

Übersicht Wirkleistungsreduktion



Wirkleistungsreduktion von PV-Anlagen in Überfrequenz-Situationen

Agenda:

Methodische Vorgehensweise

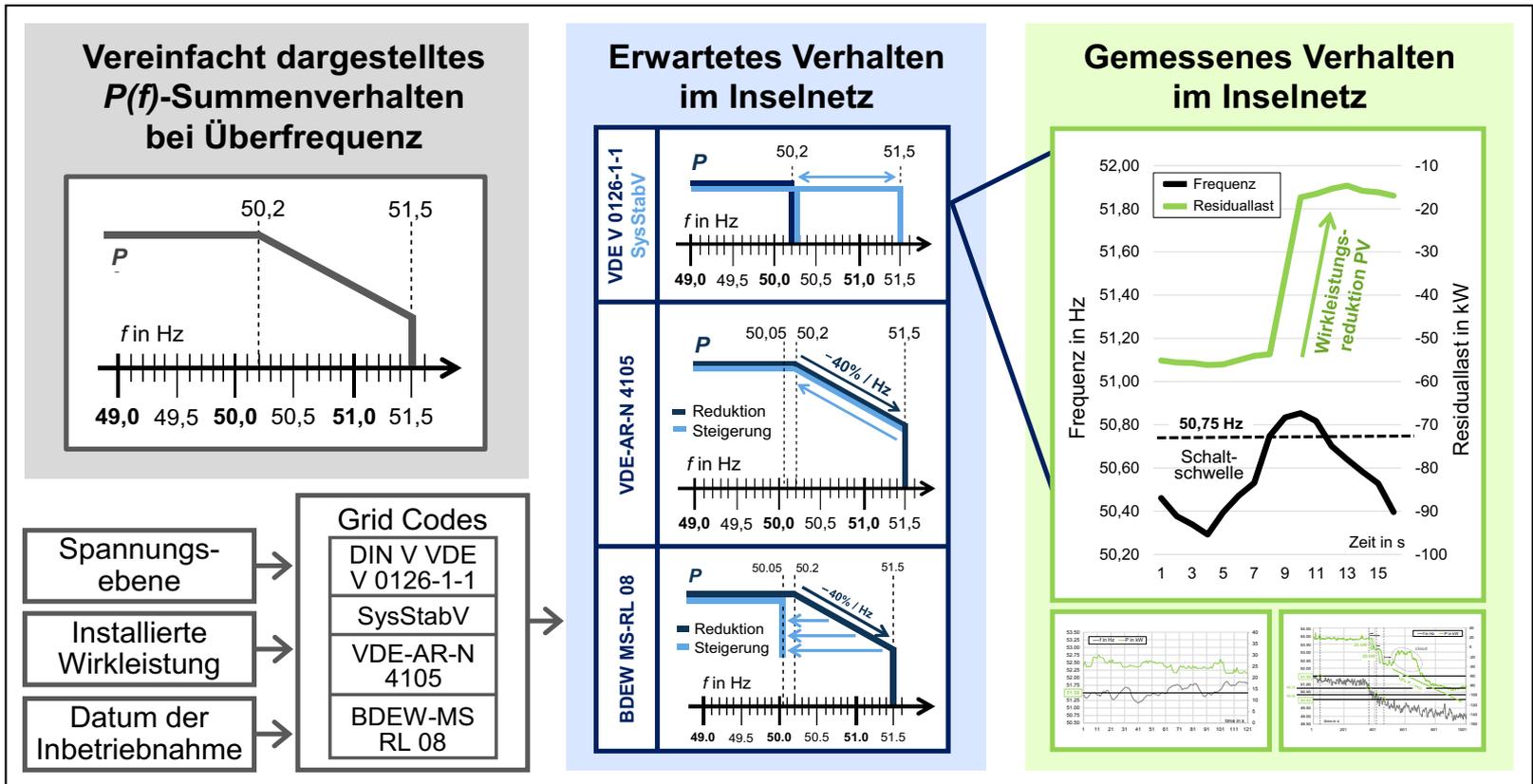
Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampenfunktion

Gesamtverhalten Inselnetz

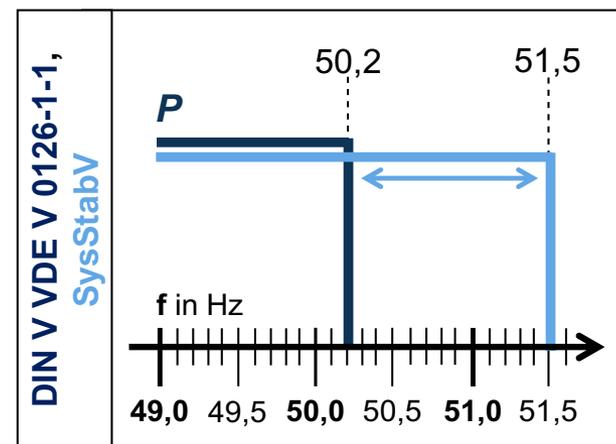
Einfluss auf Frequenzstabilität

Fazit



Anlagen mit Abschaltsschwellen

- Wirkleistungsreduktion durch Netztrennung innerhalb 0,2 s bei festem Frequenz-Schwellwert
- Rücksynchronisation erfolgt nach mindestens 30 s kontinuierlicher Unterschreitung des Schwellwertes
- Gefahr für die Systemstabilität bei zeitgleicher, sprunghafter Ab-/Zuschaltung



Agenda:

Methodische Vorgehensweise

Anlagen mit Abschaltsschwellen

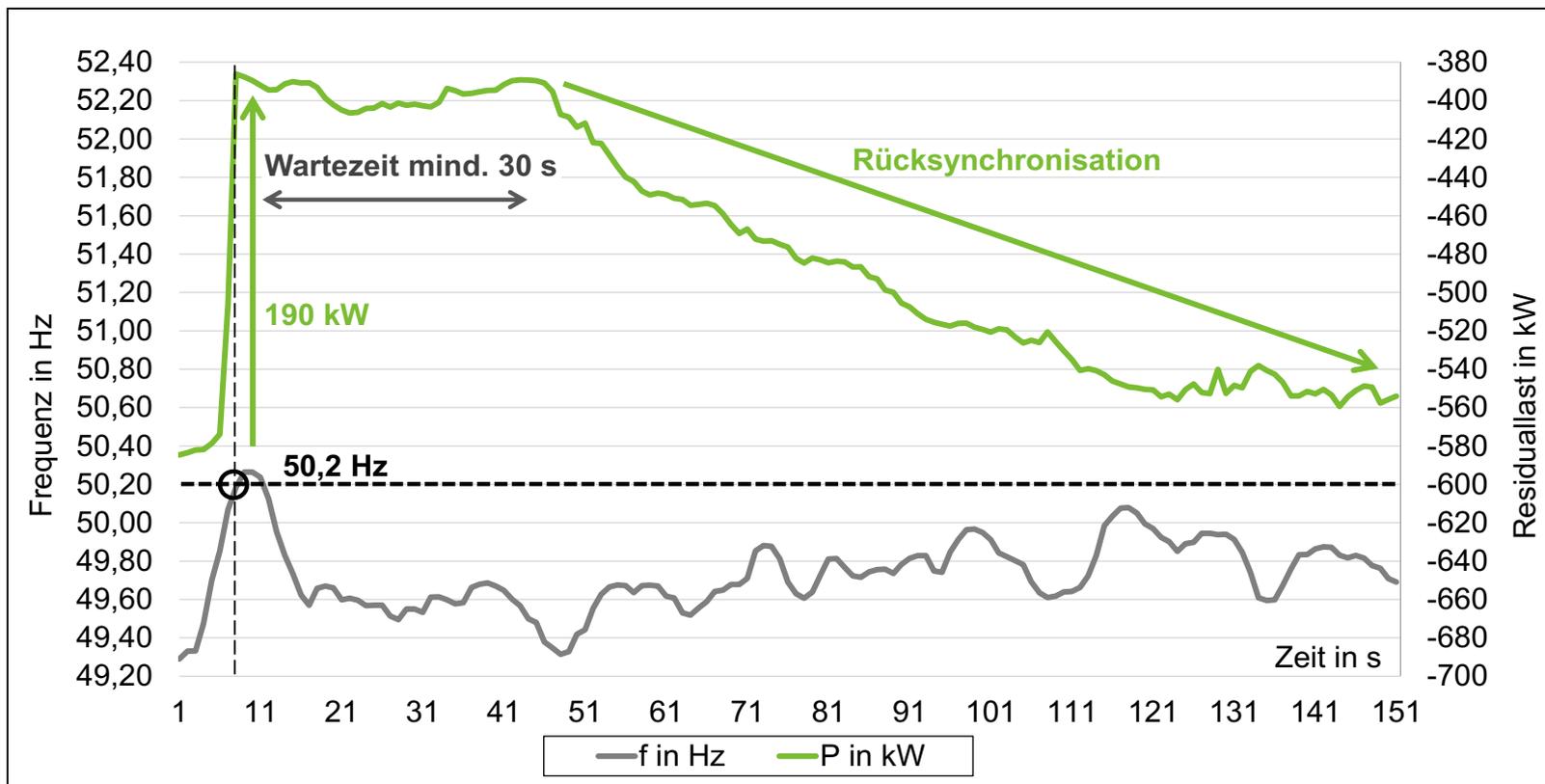
Anlagen mit Rampenfunktion

Gesamtverhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenzstabilität

Fazit

50,2 Hz Schwellwert



- Netztrennung der Anlagen über 2 s
→ Mögliche Erklärung: Streuung bei den tatsächlichen Schwellwerten
- Netztrennung von Anlagen vor Erreichen der 50,2 Hz
- Rampenförmige Rücksynchronisation

Vergleich Zu-/Abschaltung

Agenda:

Methodische Vorgehensweise

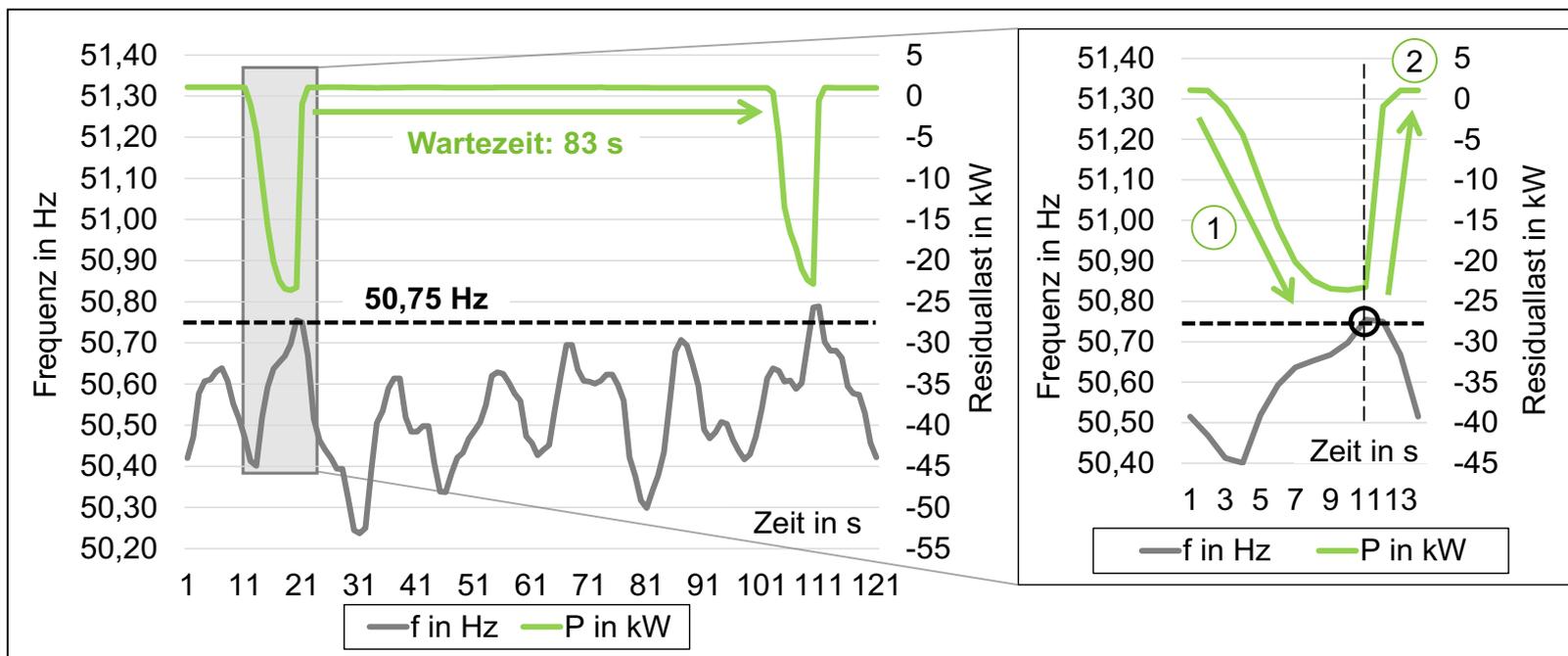
Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampenfunktion

Gesamtverhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenzstabilität

Fazit



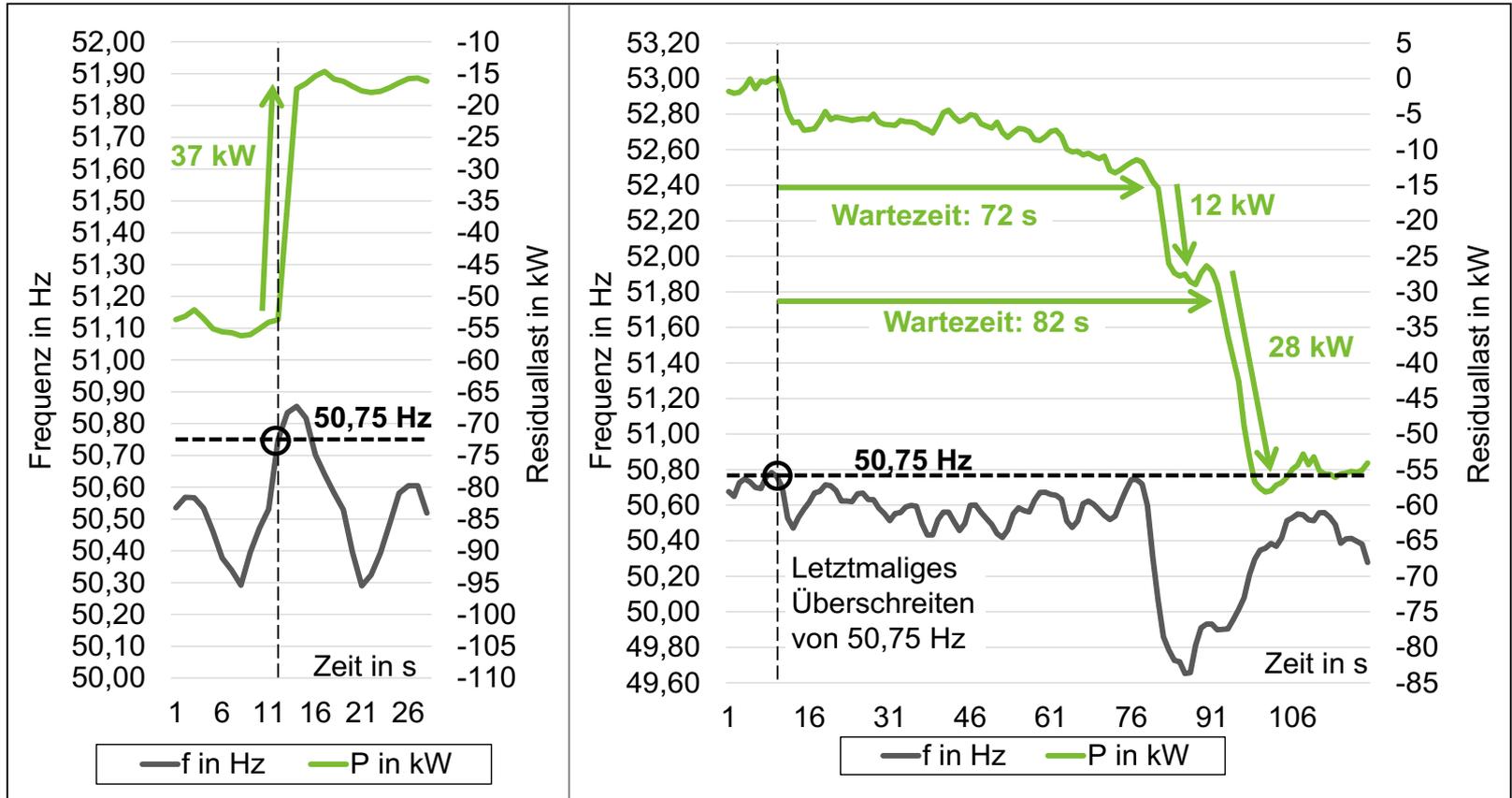
Leistungsgradient bei Abschaltung (2) deutlich höher als bei Zuschaltung (1)

Vergleich Wartezeit Rücksynchronisation



Agenda:

- Methodische Vorgehensweise
- Anlagen mit Abschalt-schwellen
- Anlagen mit Rampenfunktion
- Gesamtverhalten Inselnetz
- Einfluss auf Frequenzstabilität
- Fazit



Wartezeiten bis zur Rücksynchronisation nach Abschaltung differieren

Fazit Verhalten von Anlagen mit Schaltschwellen



Agenda:

Methodische Vorgehensweise

Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampenfunk-tion

Gesamt-verhalten Inselnetz

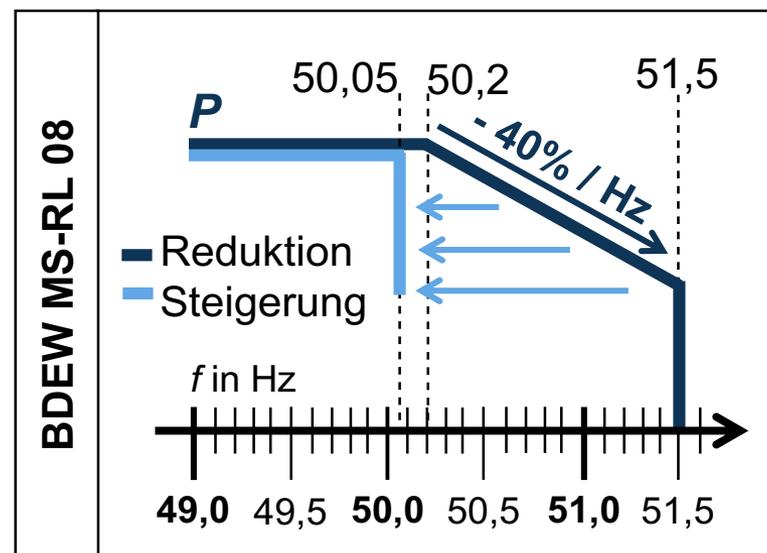
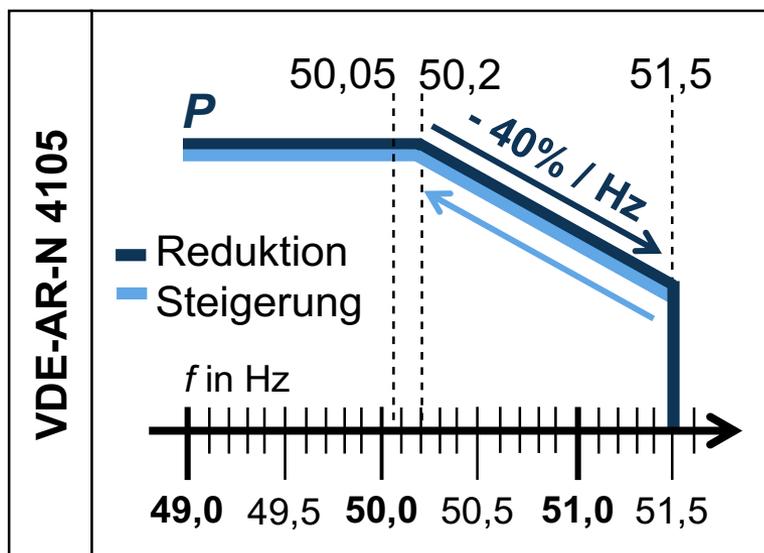
Einfluss auf Frequenz-stabilität

Fazit

- Netztrennung der Anlagen bei Frequenz-Schwellwert
 - Netztrennung bei 50,2 Hz erfolgte über einen Zeitraum von 2 s
 - Ein Teil der Anlagen trennte sich schon vor Erreichen des Schwellwertes vom Netz
- Summenverhalten bei Rücksynchronisation rampenförmig
 - Wartezeiten zwischen Netztrennung und Rücksynchronisation differieren
 - Leistungsgradient niedriger als bei Netztrennung
 - Verhalten ist für die Systemstabilität dienlich
 - Untersuchungen mit dynamischem Simulationsmodell werden später vorgestellt

Verhalten von Anlagen mit Rampenfunktion

- Wirkleistungsreduktion von 40 % P_m / Hz im Bereich $50,2 \text{ Hz} \leq f \leq 51,5 \text{ Hz}$
- Netztrennung bei 51,5 Hz
- Leistungssteigerung bei Rücksynchronisation mit 10 % $P_{\text{max}} / \text{min}$



Verhalten gemäß VDE-AR-N 4105

Agenda:

Methodische Vorgehensweise

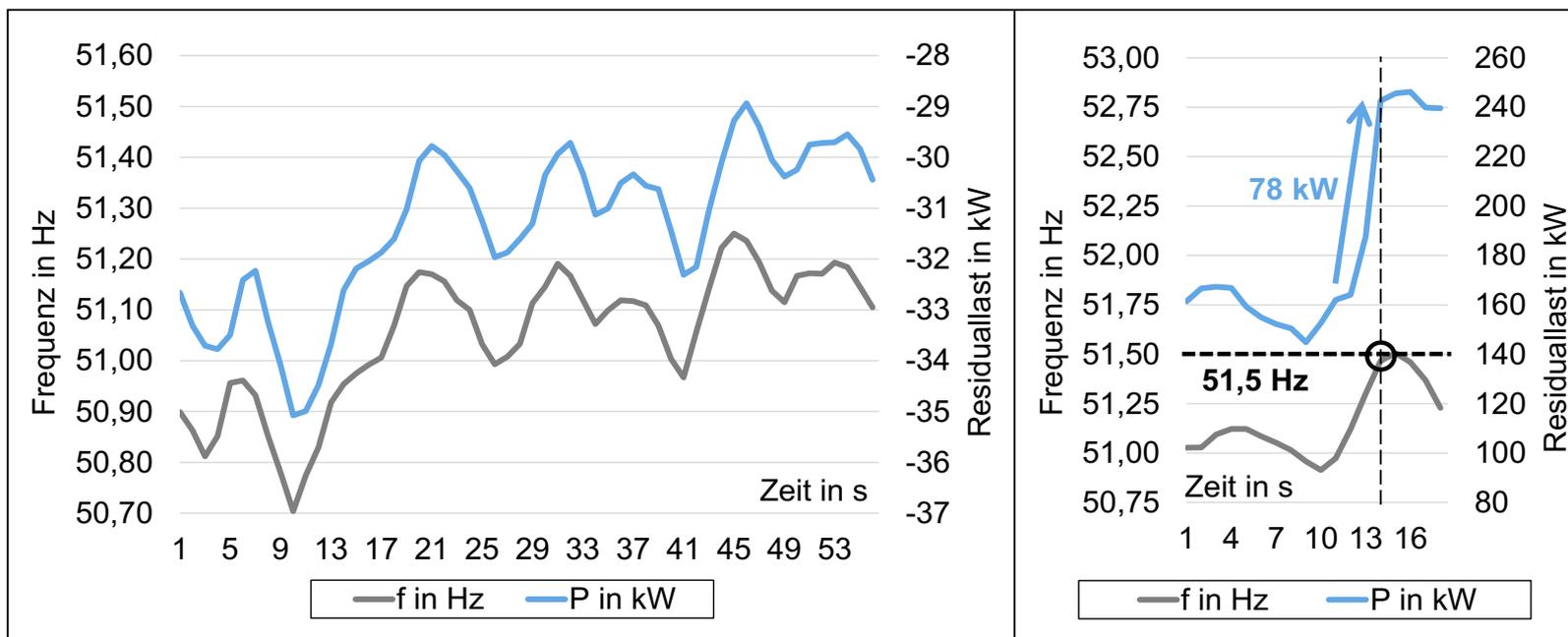
Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampen-funktion

Gesamt-verhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenz-stabilität

Fazit



Einspeiseleistung reagiert im Bereich zwischen 50,2 Hz und 51,5 Hz instantan auf Frequenzänderungen

Die Netztrennung bei 51,5 Hz ist bei Erreichen des Schwellwertes bereits nahezu abgeschlossen

Agenda:

Methodische
Vorgehens-
weise

Anlagen mit
Abschalt-
schwellen

Anlagen mit
Rampenfunk-
tion

Gesamt-
verhalten
Inselnetz

Einfluss auf
Frequenz-
stabilität

Fazit

- Messung der Wirkleistungsreduktion von PV-Anlagen durch langsame Frequenzsteigerung im Inselnetzgebiet
 - Rückführung der Messergebnisse auf das grundlegende Wirkleistungsregelungskonzept
- Messung der Leistungssteigerung bei Rücksynchronisation des gesamten Inselnetzes

$P(f)$ -Reduktion aller PV-Anlagen im Inselnetzgebiet



Agenda:

Methodische Vorgehensweise

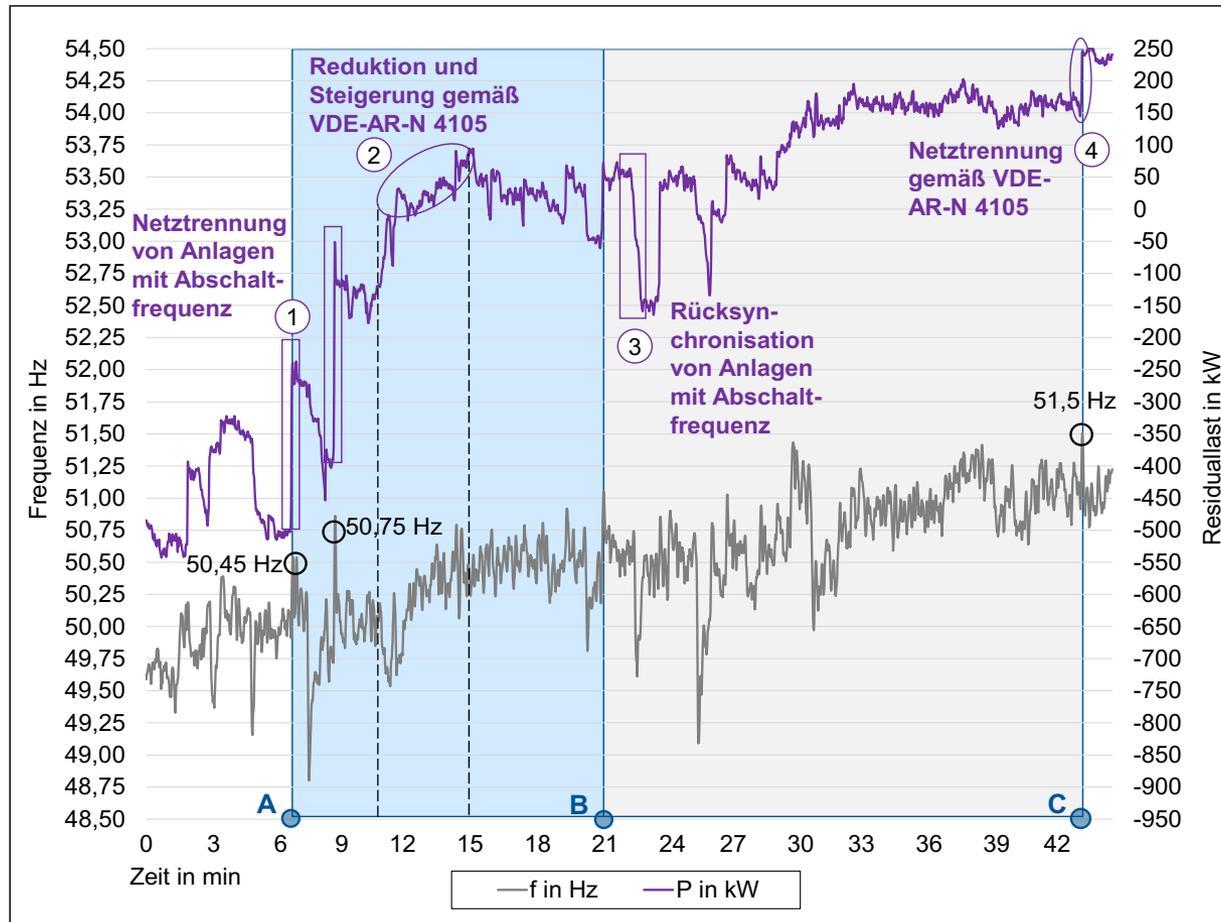
Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampenfunktion

Gesamtverhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenzstabilität

Fazit



Bereich A-B: Dominiert von Abschaltungen bei Schwellwerten
 Bereich B-C: Dominiert vom Verhalten nach VDE-AR-N 4105

Rückführung auf grundlegendes Wirkleistungsregelungskonzept



Agenda:

Methodische Vorgehensweise

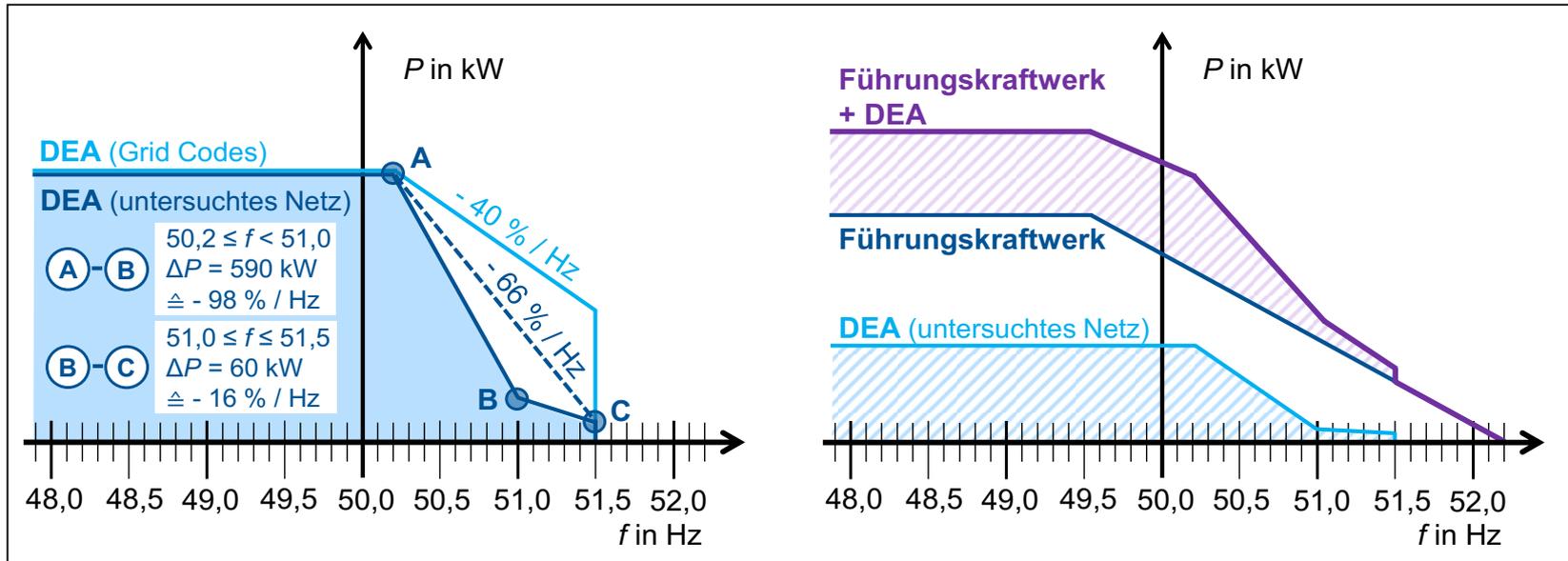
Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampenfunktion

Gesamtverhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenzstabilität

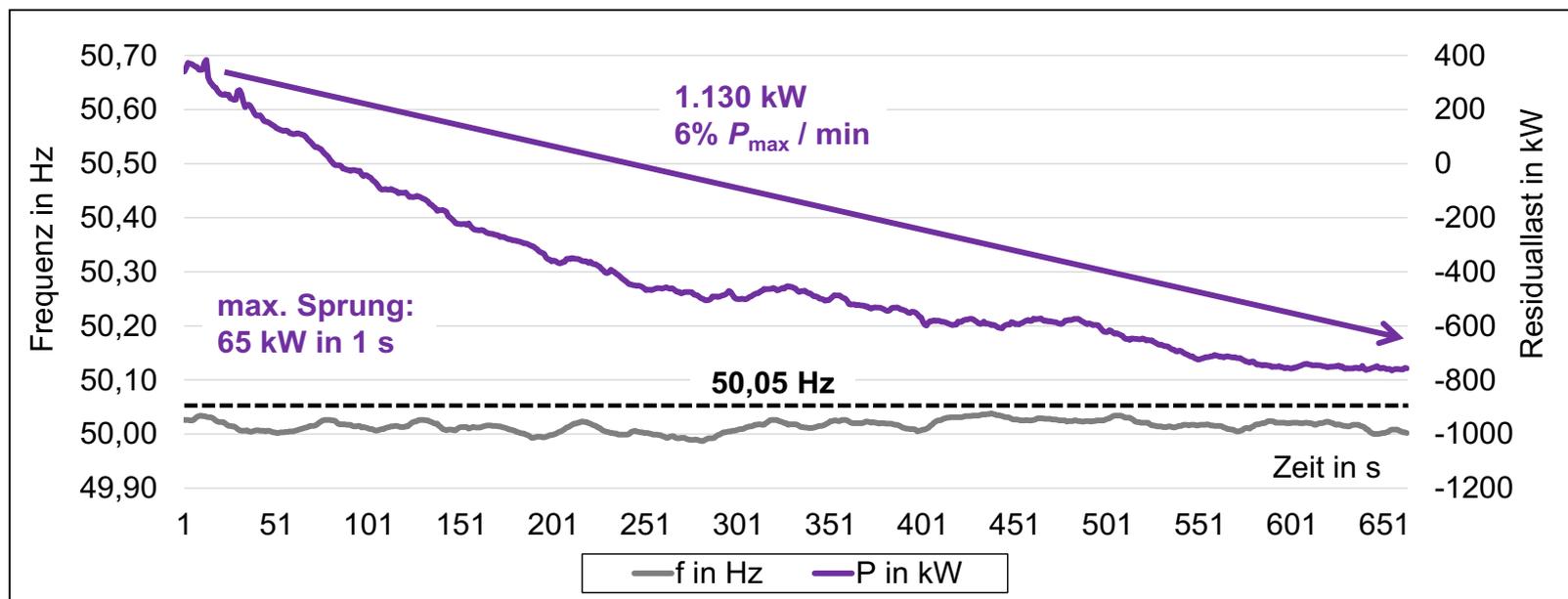
Fazit



Die Verteilung der Anlagen mit Frequenzschwellenwerten im Inselnetzgebiet führt zu stärkerer Leistungsreduktion im Bereich A-B als Durchschnittswert über gesamte Regelzone

Die tatsächliche kumulierte Erzeugungskennlinie liegt im Bereich zwischen den oberen beiden Kennlinien. Gründe sind Fluktuationen der Sonneneinstrahlung und Wartezeiten bis zur Leistungssteigerung.

Rücksynchronisation



Das Summenverhalten der gesamten Netzinsel zeigt eine rampenförmige Leistungssteigerung bei Rücksynchronisation nach Netztrennung

Das Verhalten ist im Vergleich zu einem Leistungssprung deutlich unkritischer für die Frequenzstabilität im Inselnetz

Agenda:

Methodische Vorgehensweise

Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampenfunktion

Gesamtverhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenzstabilität

Fazit

- Untersuchung des Einflusses der PV-Anlagen auf die Frequenzstabilität im Inselnetz
 - Lastabschaltversuche während des Inselnetz-Feldversuchs
 - Dynamische Simulation zur Analyse des Einflusses des Leistungsgradienten bei Rücksynchronisation

Agenda:

Methodische Vorgehensweise

Anlagen mit Abschalt-schwellen

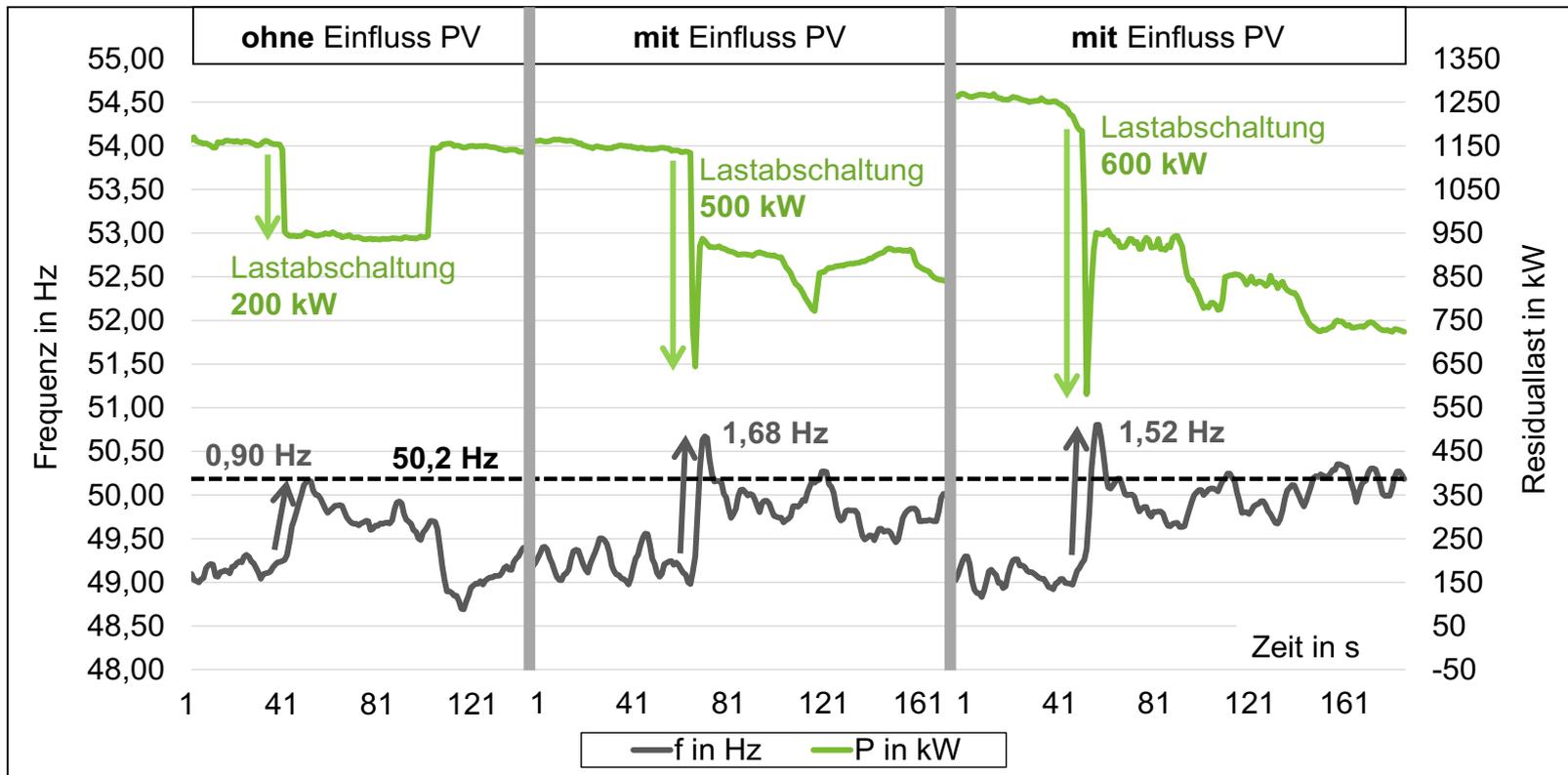
Anlagen mit Rampenfunk-tion

Gesamt-verhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenz-stabilität

Fazit

Einfluss der PV-Anlagen auf Frequenzabweichungen bei Lastabschaltungen



PV- Anlagen reduzieren durch ihre Wirkleistungsreduktion die Frequenzabweichungen bei Lastabschaltungen

Verhältnis aus Frequenzabweichung zu Lastsprunghöhe reduziert sich

Agenda:

Methodische Vorgehensweise

Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampenfunk-tion

Gesamt-verhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenz-stabilität

Fazit

Agenda:

Methodische Vorgehensweise

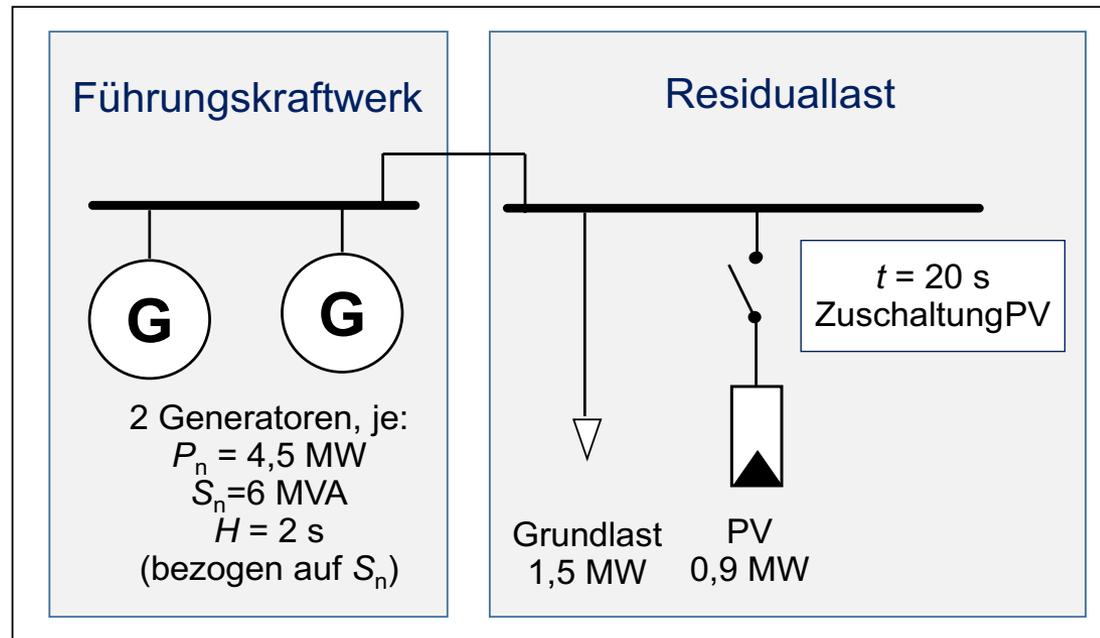
Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampenfunktion

Gesamtverhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenzstabilität

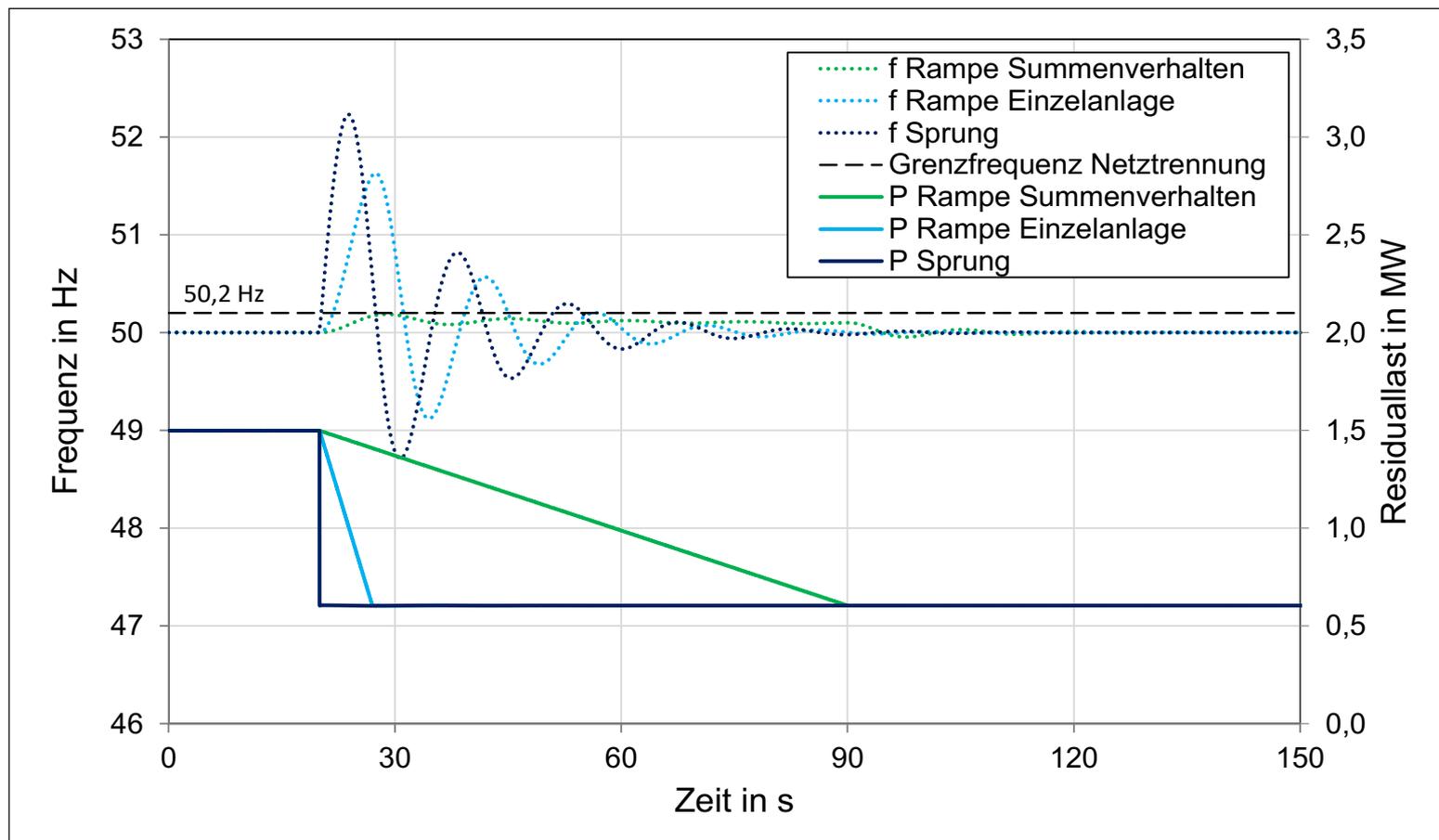
Fazit



Inselnetz versorgt Grundlast im stationären Zustand.
Nach 20 s erfolgt jeweils die Zuschaltung der PV-Anlagen mit einstellbaren Leistungsgradienten.

Untersuchung des Einflusses des Leistungsgradienten bei Rücksynchronisation auf die Frequenzstabilität im Inselnetz.

Simulationsergebnisse



Rampenförmige Rücksynchronisation führt zu deutlich geringeren Frequenzabweichungen im Vergleich zu einem Leistungssprung.

Agenda:

Methodische Vorgehensweise

Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampenfunktion

Gesamtverhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenzstabilität

Fazit

- Stabiler Inselnetzbetrieb mit Wasserkraftwerk und heterogener PV-Anlagenpopulation möglich
 - Frequenzabhängige Wirkleistungsreduktion stützt das grundlegende Regelungskonzept gemäß LINDA
 - Verteilung der Schaltschwellen im untersuchten Netzgebiet weicht von der Idealverteilung einer gesamten Regelzone ab
 - $P(f)$ -Reduktion dämpft Frequenzabweichung bei Lastabschaltung
 - Inselnetzerkennung führte nicht zur Anlagenabschaltung
- Anlagen mit Netztrennung bei festen Frequenz-Schwellwerten sind unkritischer für Systemstabilität als erwartet
 - Netztrennung erfolgt nicht genau synchron
 - Rücksynchronisationsverhalten in Summe rampenförmig
- Einzelne Anlagen haben sich nicht normgerecht verhalten
 - Bei systemrelevanter Leistung Verhalten vor Inselbetrieb messen

Agenda:

Methodische Vorgehensweise

Anlagen mit Abschalt-schwellen

Anlagen mit Rampenfunktion

Gesamtverhalten Inselnetz

Einfluss auf Frequenzstabilität

Fazit

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Christoph Steinhart, M.Eng.
Hochschule Augsburg
Fakultät für Elektrotechnik
An der Hochschule 1
86161 Augsburg

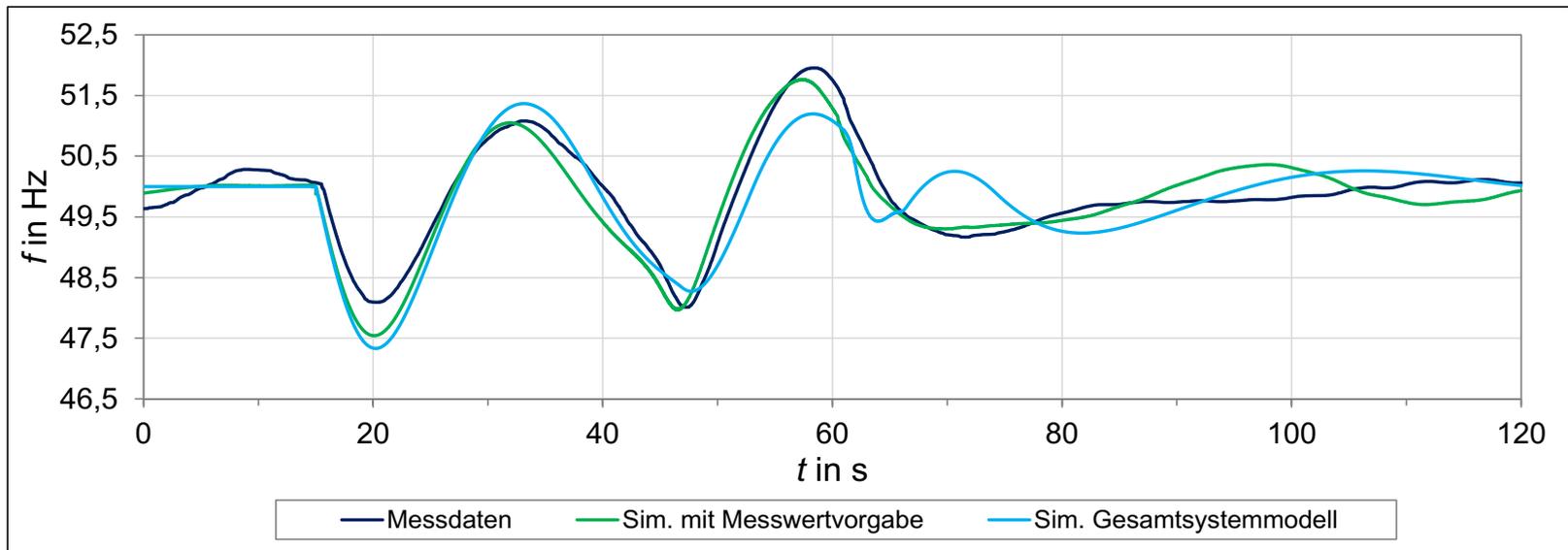
Tel.: +49 821 5586-3362

Fax: +49 821 5586-3360

E-Mail: christoph.steinhart@hs-augsburg.de

www.hs-augsburg.de/LINDA

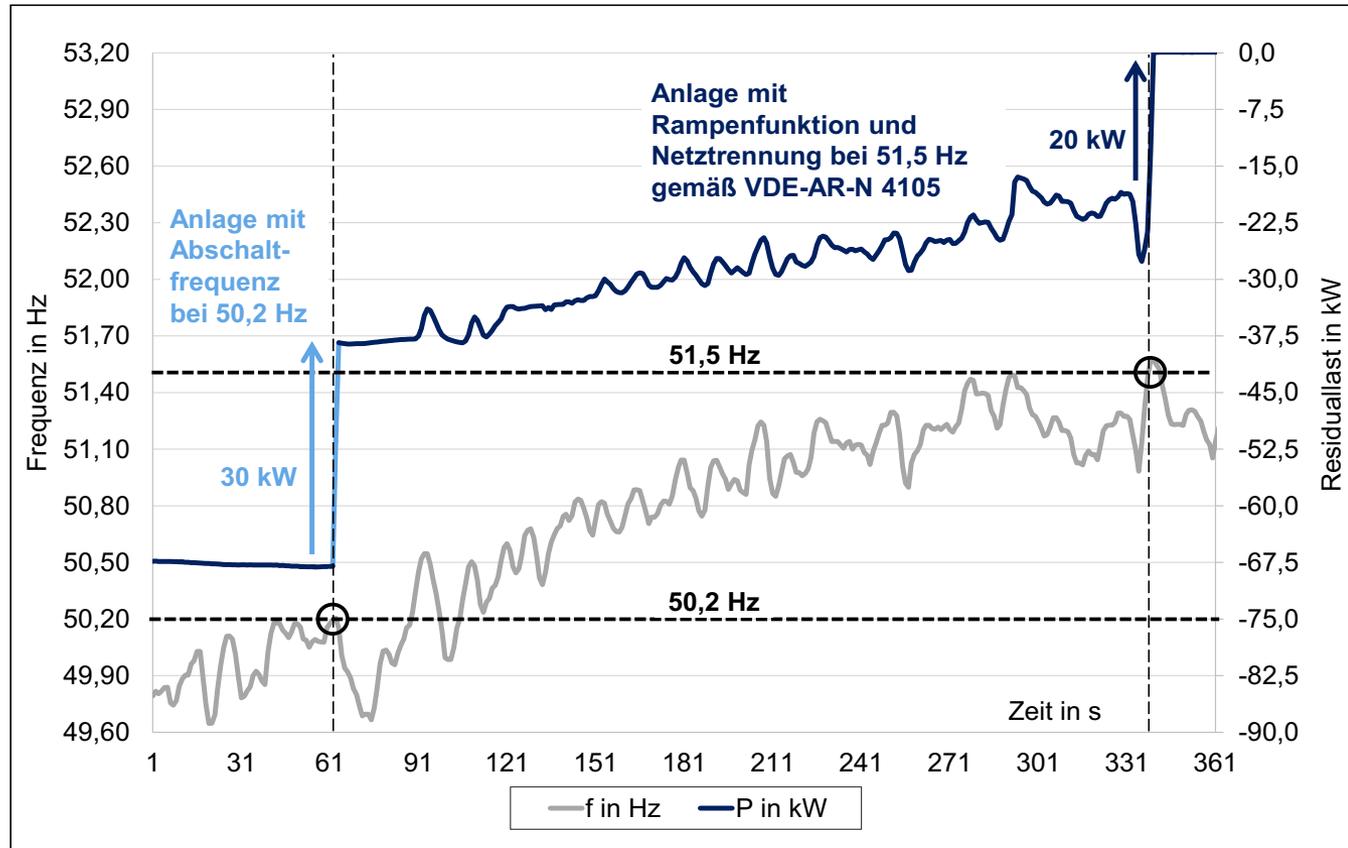
Backup



Gemessener und simulierter Frequenzverlauf nach einer Zuschaltung einer 700 kW Pumpe auf das Führungskraftwerk

- Prognostizierbarkeit des Anlagenverhaltens abhängig von
 - Datengrundlage
 - Übereinstimmung des tatsächlichen Verhaltens mit dem zu erfüllenden Normverhalten
- Datengrundlage:
 - Der Dokumentationsstand erlaubte die Bestimmung des Normverhaltens von 75 % der Anlagen
 - Verbleib von unbestimmtem Anlagenverhaltens
- Übereinstimmung des gemessenen Verhaltens mit dem erwarteten Normverhalten
 - Das Gesamtverhalten im Inselnetz hat gut mit dem erwarteten Verhalten übereingestimmt
 - Einzelne Anlagen sind jedoch vom Normverhalten abgewichen

Vergleich mit Normverhalten gemäß BDEW-Mittelspannungsrichtlinie 2008



Eine Anlage verhält sich gemäß VDE-AR-N 4105 und eine Anlage hat eine Schaltschwelle bei 50,2 Hz.
Damit weichen beide Anlagen von der BDEW-MS Stand 2008 ab.