



## **Abschlusskonferenz Netzregelung 2.0** Einführung

7. Juli 2022

Dr.- Ing. Philipp Strauß

8:30 **Registrierung**  
*Foyer Fraunhofer IEE-Campus*

## Session 1 | Einführung und Beiträge der Stakeholder

- 9:00 **Begrüßung**  
*Dr. Philipp Strauß, Fraunhofer IEE*
- 9:15 **Projektvorstellung und Einführung in das Thema**  
*Dr. Philipp Strauß, Fraunhofer IEE*
- 9:30 **Sicht und Aktivitäten der Bundesregierung zu Systemstabilität**  
*Alexander Folz, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz*
- 9:45 **Beitrag BNetzA**  
*Tobias dos Santos, Bundesnetzagentur*
- 10:00 **Übertragungsnetzbetreiber**  
*Dr. Tobias Hennig, Amprion GmbH*
- 10:15 **Verteilungsnetzbetreiber**  
*Dr. Roland Hermes, E.ON SE*
- 10:30 **»Zum Klimaschutznetz bis 2030« mit Fokus auf den Systemumbau**  
*Heike Kerber, Forum Netztechnik/Netzbetrieb*
- 10:45 **Internationale Erfahrungen und Ausblick zum Einsatz von netzbildenden Wechselrichtern**  
*Dr. Thorsten Bülo, SMA Solar Technology AG*

11:00 **Netzbildende Funktionen von HGÜ-Systemen**  
*Dr. Robert Renner,  
Siemens Energy Global GmbH & Co. KG*

11:15 **Kaffeepause**

## Session 2 | Projektergebnisse – Vertiefungen

- 11:30 **Netzbildung durch Stromrichter trotz Strombegrenzung?**  
*Peter Unruh<sup>1</sup>, Florian Rauscher<sup>2</sup>, Tobias Erckrath<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Fraunhofer IEE | <sup>2</sup>TU Braunschweig – elenia*
- 12:00 **Frequenzstabilität im umrichterdominiertem Verbundnetz**  
*Dr. Thomas Degner, Fraunhofer IEE*
- 12:15 **Bereitstellung von Momentanreserve aus dem Verteilungsnetz**  
*Florian Rauscher, TU Braunschweig – elenia*
- 12:30 **Unsymmetrische Bereitstellung von Momentanreserve**  
*Walter Schitteck, Universität Kassel*
- 12:45 **Vermeidung ungewollter Inselnetzbildung und Inselnetzerkennung**  
*Björn Oliver Winter, TU Braunschweig – elenia*
- 13:00 **Kurzzeit- und Langzeit Spannungsstabilität in stromrichterdominierten Netzen (englisch)**  
*Dr. Luis Pabon, Fraunhofer IEE*

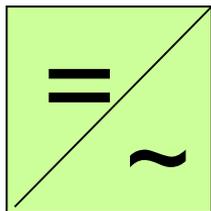
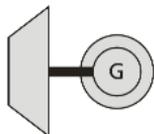
13:15 **Mittagspause – Posterausstellung**

## Session 3 | Prüfverfahren, Erfahrungen im Feld und Ausblick

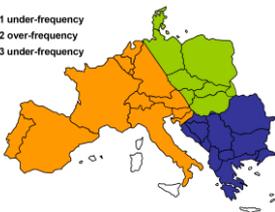
- 14:45 **Laborversuche mit netzbildenden Stromrichtern**  
*Florian Rauscher, TU Braunschweig – elenia  
Siddhi Kulkarni, Fraunhofer IEE*
- 15:00 **Prüfverfahren und Testen**  
*Dr. Gunter Arnold, Fraunhofer IEE*
- 15:15 **Regelungs- und gerätetechnische Lösungen für zukünftige netzbildende Stromrichtersysteme**  
*Andreas Knobloch, SMA Solar Technology AG*
- 15:30 **Ausblick Forschung**  
*Prof. Dr. Bernd Engel, TU Braunschweig – elenia*
- 16:35 **Diskussion zum weiteren Vorgehen mit den Stakeholdern (Technik, Regulierung, Markt)**  
*Prof. Dr. Bernd Engel, TU Braunschweig – elenia  
Dr. Philipp Strauß, Fraunhofer IEE*
- 16:45 **Gespräche bei Kaffee und Tee**
- 17:30 **Ende**



# Netzregelung 2.0: Projektziele



■ Area 1 under-frequency  
■ Area 2 over-frequency  
■ Area 3 under-frequency



- Nachweis, dass das elektrische Verbundsystem auch mit sehr hohen Stromrichteranteilen durch geeignete Regelungsverfahren stabil betrieben werden kann
  
- Stabilitätsnachweis auch für elektrisch getrennte Teile während „System Split“
  
- Vorbereitung einer konkreten Umsetzung der Ergebnisse im deutschen Teil des kontinentaleuropäischen Verbundnetzes



# Netzregelung 2.0 / Interessenlage

*Netzbetreiber  
(ÜNB, VNB):*  
**Anforderungen des Netzes**

*Anlagenhersteller  
PV-, Wind-, Speicher, HGÜ Systeme:*  
**Fähigkeiten der Stromrichter**

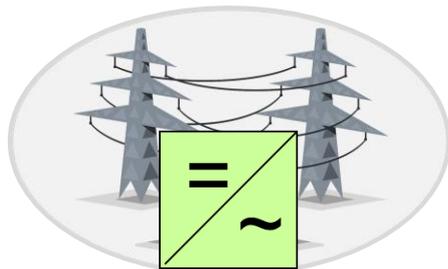
Projektziel:  
**Vorbereitung eines stabilen und  
effizienten stromrichterdominierten  
Verbundsystems**

*Andere Interessensvertreter:*  
**Standards / Anwendungsregeln**

*Forschungsinstitute:*  
**Innovative Lösungen**

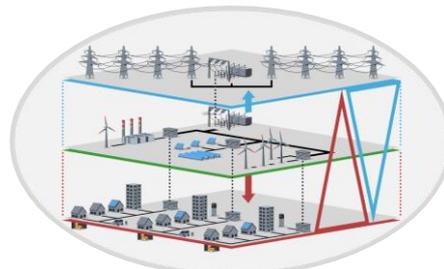


# Forschungsfragen des Projekts



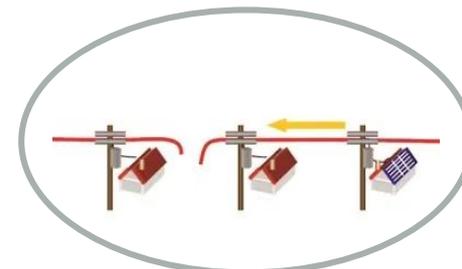
## (A) Stabiler Betrieb der Stromrichter im Verbundnetz

Netzbildende Regelungsverfahren mit optimierten Strombegrenzungsverfahren wurden weiter entwickelt.



## (B) Räumliche Verteilung

Eine räumliche Verteilung ist notwendig. Momentanreserve kann im Übertragungs- und im Verteilungsnetz bereit gestellt werden.

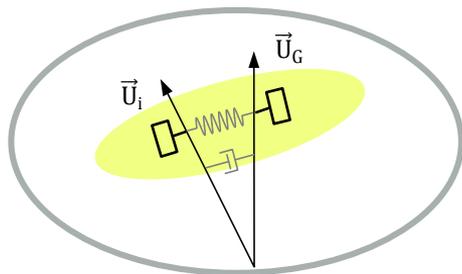


## (C) Vermeidung ungewollter Inselnetze

Neue Verfahren zur Inselnetzerkennung wurden entwickelt.

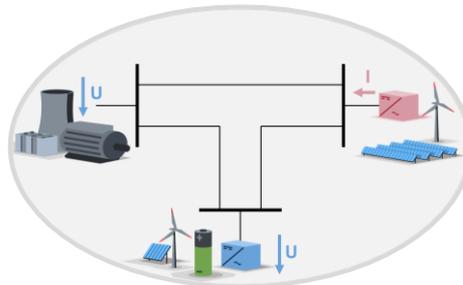


# Forschungsfragen des Projekts



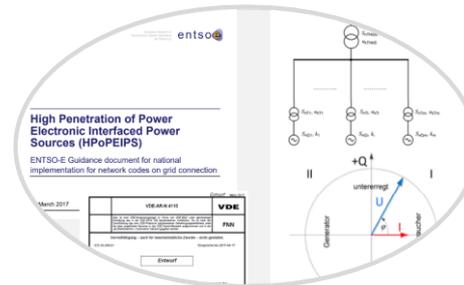
## (D) Technologien zur Bereitstellung von Momentanreserve

Batteriesysteme, Windenergieanlagen, PV-Anlagen, rotierende Phasenschieber, Statcoms, Lasten usw. können beitragen.



## E) Maximaler Anteil an Stromrichtern

Reines Stromrichternetz durch netzbildende Regelung möglich. Nahtloser Übergang mit unterschiedlichen Anteilen an Synchronmaschinen realisierbar.



## F) Spezifikation und G) Prüfung netzbildender Stromrichter

Spezifikation und neue Prüfverfahren wurden entwickelt u.a. für: Elektrische Trägheit, Netzbildung, Dämpfung



# Netzbildung und Strombegrenzung

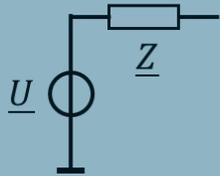
- Im spannungseinprägenden netzbildenden Betrieb stellt der Stromrichter eine netzsynchrone Sinusspannung.
- Bei transienten Spannungsänderungen am Netzanschluss wird die Stromrichterspannung verzögert und gedämpft nachgeführt.
  - synchronisierendes Verhalten
  - dämpfendes Verhalten
  - elektrisch träges Verhalten
- Überströme, die zur Beschädigung der Halbleiter führen, müssen vermieden werden: Strombegrenzung muss vorgesehen werden



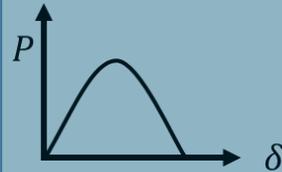
# Wichtige Eigenschaften netzbildender Stromrichter

## Eigenschaften netzbildender Stromrichter

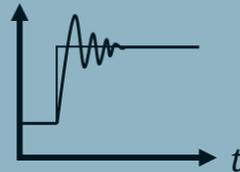
Spannungsquelle



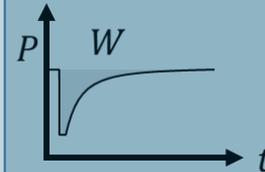
Synchronisierende  
Leistung



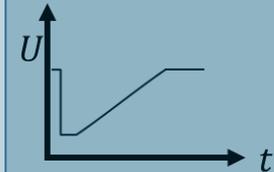
Dämpfung



Momentanreserve

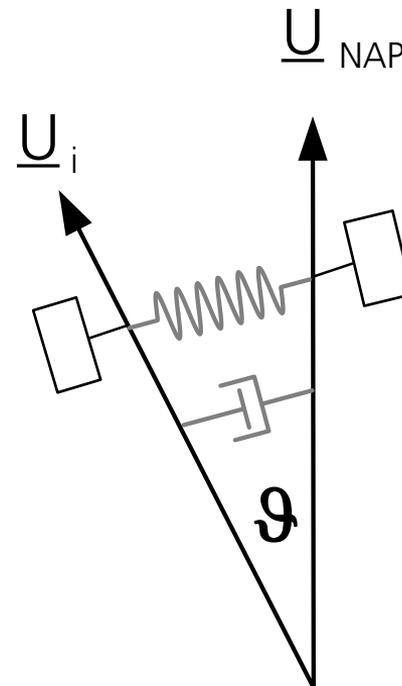
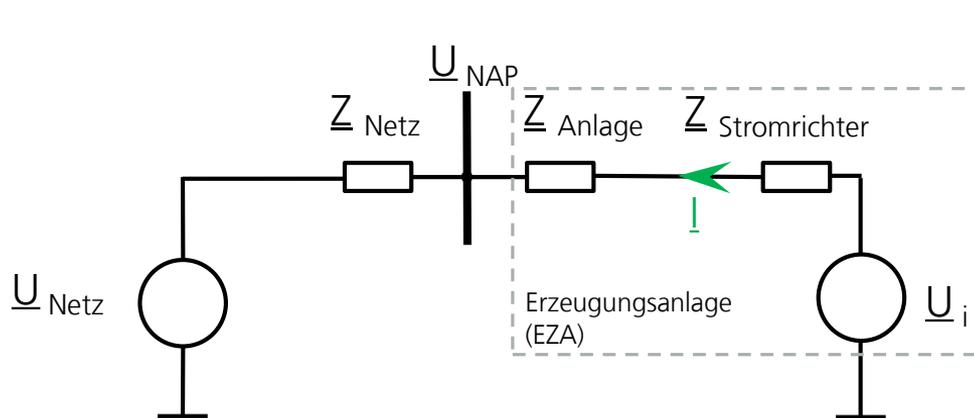


Transientes  
Verhalten/ FRT





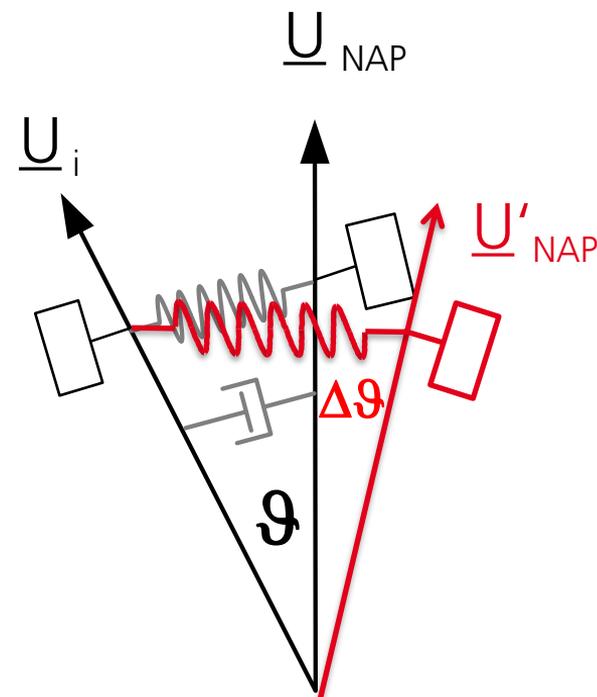
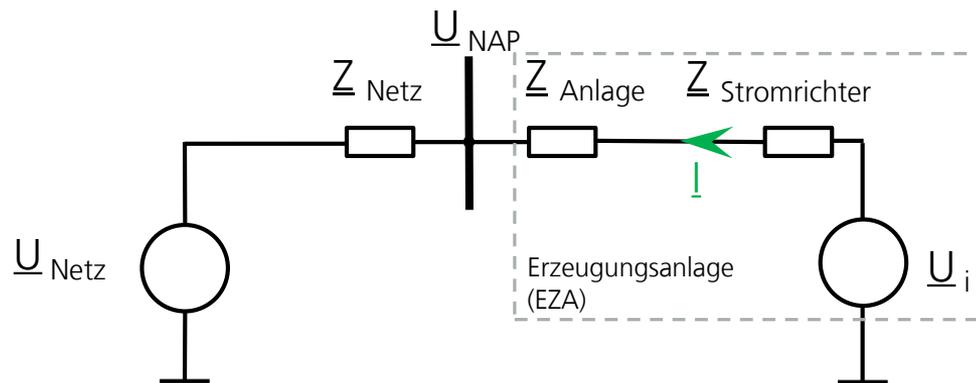
# Definition des spannungseinprägenden netzbildenden Stromrichterbetriebes



- Im spannungseinprägenden netzbildenden Betrieb stellt der Stromrichter eine netzsynchrone Sinusspannung.
- Im Falle transients Spannungsänderungen am Netzanschluss wird diese verzögert mit einem gedämpften Verhalten nachgeführt.
- Erläuterung: Im strombegrenzten Betrieb wird dieser Betriebszustand ggf. verlassen.



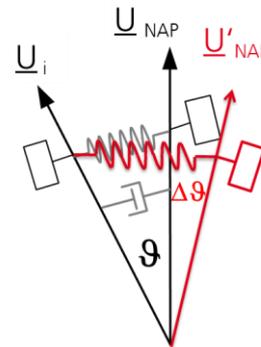
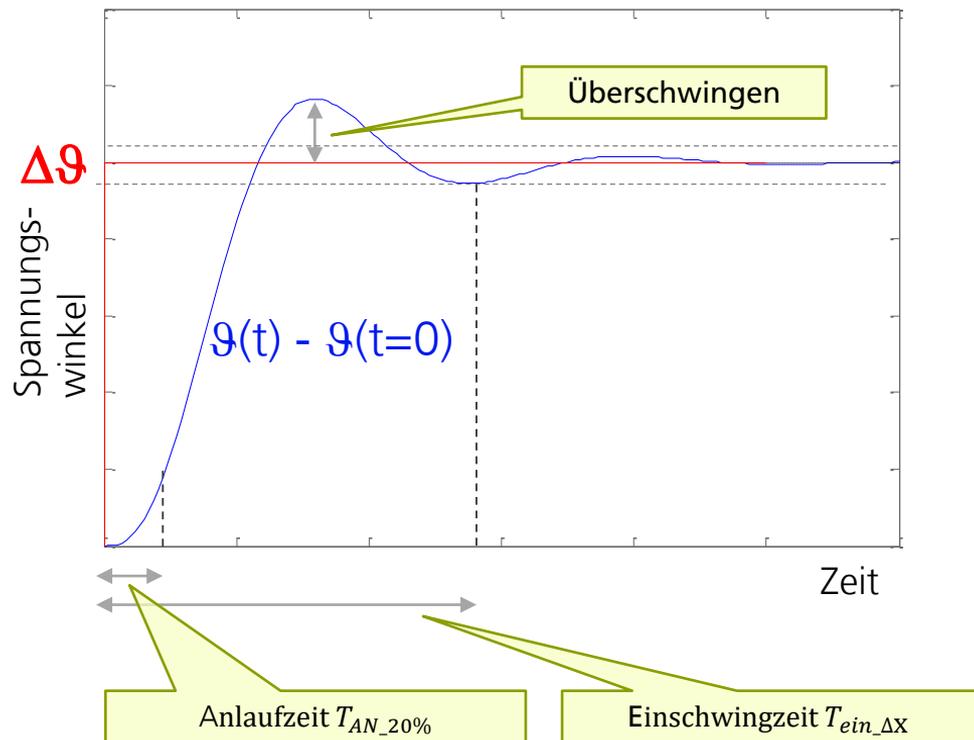
# Definition des spannungseinprägenden netzbildenden Stromrichterbetriebes



- Im spannungseinprägenden netzbildenden Betrieb stellt der Stromrichter eine netzsynchrone Sinusspannung.
- Im Falle transients Spannungsänderungen am Netzanschluss wird diese verzögert mit einem gedämpften Verhalten nachgeführt.
- Erläuterung: Im strombegrenzten Betrieb wird dieser Betriebszustand ggf. verlassen.



# Definition des spannungseinprägenden netzbildenden Stromrichterbetriebes



- Im Falle transientser Spannungsänderungen am Netzanschluss wird  $\underline{U}_i$  verzögert mit einem gedämpften Verhalten nachgeführt.
  - -> Synchronisierendes Verhalten
  - -> Dämpfendes Verhalten
  - -> Beitrag zur Gesamtträgheit durch sofortige Leistungsänderung



# Netzbildende Stromrichter

## Größenordnung: 10..250 Kilowatt (Niederspannung)



- Fraunhofer IEE - RICOSO Stromrichter
- Rapid Prototyping für Regelungsverfahren von Stromrichtern
- Bibliothek Regelungsverfahren für netzbildende SR
  - Schnelle Fehlererkennung
  - SelfSYNC (plus)
  - Strombegrenzung virt. Impedanz
  - Strombegrenzung SelfLIM (netzbildung während Strombegrenzung)
- 4-Leg-ANPC Topologie, SiC

Bild: Fraunhofer IEE



# Netzbildende Stromrichter

## Größenordnung: Megawatt



SMA Sunny Central Storage:

Netzbildendes Stromrichtersystem mit aufeinander abgestimmten Komponenten

- Netzbildender Wechselrichter
- Mittelspannungstransformator und
- Mittelspannungsschaltanlage
- für Großanlagen im Megawatt-Maßstab
- zur Bereitstellung netzbildender Systemdienstleistungen in Inseln und großen öffentlichen Verbundnetzen.

Bild: SMA Solar Technology AG



# Netzbildende Stromrichter

## Größenordnung: Gigawatt



**SIEMENS**  
energy

HVDC PLUS Converter (ALEGrO, Oberzier)  
Courtesy of Siemens Energy

- ALEGrO: Erste HGÜ-Verbindung zwischen Deutschland (Amprion) und Belgien (Elia Group) zur Stärkung des Europäischen Strombinnenmarkts
- Leistung: ca. 1000 MW
- Netzbildende Fähigkeit: Schwarzstartfähigkeit (demonstriert in realem Testszenario)

Bild: Siemens Energy



# Netzregelung 2.0: Workshops

Dritter Workshop mit FNN zum Projekt Netzregelung 2.0  
„Diskussion der Projektergebnisse, Einführung in  
die Regelsetzung und Standardisierung“



Teilnehmer vor Ort in Kassel (23. u. 24.6.2022)



# Netzregelung 2.0: FNN-Workshops

Dritter Workshop mit FNN zum Projekt Netzregelung 2.0  
„Diskussion der Projektergebnisse, Einführung in  
die Regelsetzung und Standardisierung“

u.a. Diskussion: wie geht es weiter?

-> Einführung der Technologie ist Konsens

-> Klärung weiterer wesentlicher Fragen im Verteilungsnetz zur Teilnetz-Erkennung, Regler-Interaktionen, Koordination mit Netzschutz etc. vor breiter Einführung wichtig

-> Schrittweise Einführung der Technologie im Verteilungsnetz (z.B. zunächst als wissenschaftlich begleitete Demonstration und/oder Zubau in Chargen, z.B. per Ausschreibung um Erfahrung zu sammeln (ähnlich zu Vorgehen in UK).



# Konsortium Netzregelung 2.0



Budget: ca. 10 Mio. €

Laufzeit: 12/2017- 08/2022

Koordination: Fraunhofer IEE

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

**Fraunhofer**  
IEE

**elenia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen

**UNIKASSEL**  
**VERSITÄT**

**50hertz**

**amprion**

**Tennet**  
Taking power further

**TRÄNSNET BW**

**e.on**

**westnetz**

**MITNETZ**  
STROM

**EWEnetz**

**DERlab**

**dena**  
Deutsche Energie Agentur

**FNN** FORUM NETZTECHNIK /  
NETZBETRIEB IM VDE

**SIEMENS**  
**ENERGY**

**SMA**

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



# Publikationen 1

- „Enhanced Grid-Forming Inverters in Future Power Grids“, Peter Unruh et. al., EPE'18 ECCE.
- "Frequenzstabilität im Umrichter-dominierten Verbundsystem - Erste Ergebnisse mit einem ÜN-Testmodell", Maria Nuschke, Björn Oliver Winter, Florian Rauscher, IRED Side Event "Grid control for inverter dominated power systems“, Wien, Oktober 2018
- "Impact of inverters with virtual synchronous machine control in low voltage grids", Florian Rauscher, Edwin Rebak, Bernd Engel (alle elenia), 8th Solar Integration Workshop, Stockholm, October 2018
- "Grid Control 2.0 – Control and Stability in Inverter Dominated Power Systems", Ph. Strauß, M. Nuschke, P. Unruh, L. Pabon, Workshop "Grid-forming Inverters for Low-inertia Power Systems, Seattle, April 2019
- Load frequency control for frequency stability analysis of prospective power systems with high shares of inverter based generation“. Arun Kannan, M. Nuschke, D. Strauß-Mincu, „13th IEEE PES PowerTech Conference, Mailand, June 2019
- “Power System Stability Analysis for System-split Situations with Increasing Shares of Inverter-based Generation“, Maria Nuschke, Björn Oliver Winter, Diana Strauß-Mincu, Bernd Engel, elenia. NEIS Konferenz Hamburg, September 2019
- "Weiterentwicklung der Stromnetze – stromrichterdominiertes Versorgungssystem.", Ph. Strauß, S. Rogalla, F. Schuldt, T. Leibfried, FVEE Jahrestagung 2019: Energy Research for Future - Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, Berlin, Oktober 2019



## Publikationen 2

- „Frequenzstabilität im umrichterbasierten Verbundsystem“, Maria Nuschke, FNN Kongress Netze Nürnberg, Dezember 2019
- „Frequenzstabilität bei Netzauftrennungen im umrichterdominierten Verbundsystem“, Maria Nuschke, RETCon Konferenz Februar 2020, Nordhausen.
- „Bewertung verschiedener Regelungsansätze für Speichersysteme zur Verbesserung der Kurzzeit-Frequenzstabilität“, Florian Rauscher, Björn Oliver Winter, Julia Seidel, Bernd Engel, 16. Symposium Energieinnovation, Graz, Februar 2020.
- "Control and Stability of Inverter Dominated Power Systems", Philipp Strauss, Thomas Degner, Maria Nuschke, Luis Pabon Ospina and Peter Unruh, Entso-e Workshop on 27.2.2020 in Brussels: "Outcome of Research Projects and Ongoing Activities on Grid Forming Control"
- „PV-Speichersysteme für den stabilen und sicheren Betrieb regenerativ dominierter Energienetze“, A. Knobloch, T. Bülo, C. Hardt, A. Falk, G. Bettenwort, 35. PV-Symposium Bad Staffelstein, März 2020
- „Overview on Grid-Forming Inverter Control Methods“, Peter Unruh, Maria Nuschke, Friedrich Welck, Philipp Strauß, MDPI Energies, Special Issue Modern Power System Dynamics, Stability and Control, May 2020, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/10/2589/htm>
- „Frequency Stability Analysis for Inverter Dominated Grids during System Split“, Arun Kannan, Maria Nuschke, Bogdan-Petru Dobrin, Diana Strauß-Mincu, PSCC 2020 in Porto, Portugal.
- „Emergency Support of Transmission Voltages by Active Distribution Networks: A Non-intrusive Scheme“, Luis David Pabón Ospina, Thierry van Cutsem, submitted to IEEE Transactions



## Publikationen 3

- „Power Factor Improvement by Active Distribution Networks During Voltage Emergency Situations“, Luis Pabón Ospina, Thierry van Cutsem, 21st PSCC 2020 Conference, Porto, June 2020.
- „Advanced Laboratory Testing Methods Using Real-Time Simulation and Hardware-in-the-Loop Techniques: A Survey of Smart Grid International Research Facility Network Activities“, Juan Montoya et al, MDPI energies, Special Issue ISSN 1996-1073, June 2020.
- „Voltage imbalance resilience and mitigation using grid forming inverters in low-voltage distribution grids“, Björn Oliver Winter, Bernd Engel, In: Energynautics GmbH (Hg.): 10th Solar & Storage Integration Workshop. International Workshop on Integration of Solar Power and Storage into Power Systems, Darmstadt, November 2020.
- „Experimental validation of current limitation methods for grid forming inverters“, Florian Rauscher, Timo Sauer, Bernd Engel, 19th Wind Integration Workshop, Darmstadt, November, 2020.
- „Dynamic equivalents of nonlinear active distribution networks based on Hammerstein-Wiener models: an application for long-term power system phenomena“, Luis Pabon Ospina, Valeria Usuga Salazar and Daniel Pabon Ospina, IEEE Transactions on Power Systems.
- „Determination of the frequency characteristic of grid forming inverters by laboratory measurements“, Maria Nuschke, Bernd Engel, Florian Rauscher, NEIS Conference, Hamburg, September 2021.
- „Fault operation of grid-forming converters with focus on a system stability“, Nils Wiese, Daniel Duckwitz, Maria Nuschke, Yonggang Zhang, Martin Braun, 11<sup>th</sup> Solar & Storage Integration Workshop, September 2021.



## Publikationen 4

- „Synchronous Energy Storage System with Inertia Capabilities for Angle, Voltage and Frequency Stabilization in Power Grids”, A. Knobloch, C. Hardt, A. Falk, T. Bülo, S. Scheurich, C. Khalfet, R. Hesse, T. Becker, R. Bhattia, 11<sup>th</sup> Solar & Storage Power System Integration Workshop, September 2021.
- “Unsymmetrische Beiträge zur Momentanreserve durch Erzeugung, Verbrauch und Speicher”, Johannes Heid, Walter Schitteck, Christian Hachmann und Martin Braun, Konferenz Zukünftige Stromnetze, Januar 2022.

### Dissertationen:

- David Luis Pabón Ospina: „Long-term voltage stability of electric power systems hosting inverter-interfaced energy sources“, 5. November 2021.
- Maria Nuschke: „Frequenzstabilität im umrichterdominierten Verbundsystem“, 15. November 2021.
- Zwei weitere Dissertationen erwartet zu:
  - Stabilität durch netzbildende Wechselrichter im Verteilnetz und
  - Netzbildende Wechselrichter / Inselnetzbildung
- Poster der Abschlusskonferenz:
- Öffentlicher Abschlussbericht in Vorbereitung