Systemstabilität durch Leistungselektronik

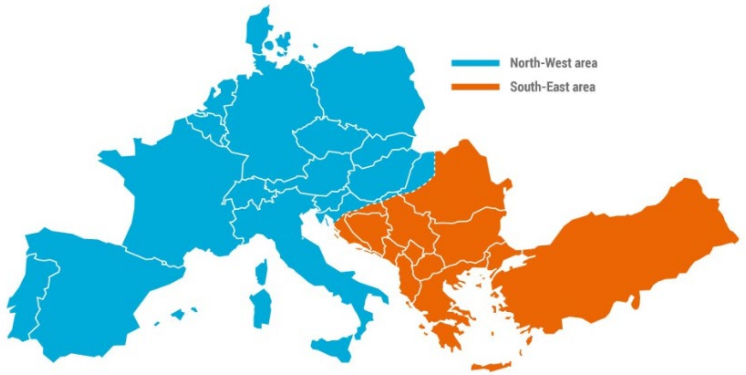
DLR	Nauman Beg, Frank Schuldt
Fraunhofer IEE	Dr. Philipp Strauß
Fraunhofer IEG	Dr. Anton Plietzsch, Christoph Nolden, Prof. Dr. Johannes Schiffer
Fraunhofer ISE	Rebekka Denninger
Fraunhofer IWES	Gesa Quistorf

Resilientes Energiesystem

Beispiele für Großstörungen

System-Split - 08. Januar 2021

- Auslöser: automatische Abschaltung eines 400 kV Sammelschienenkupplers in der Ukraine
- Aufteilung des europäischen Stromnetzes in einen nordwestlichen und südöstlichen Teil
- Event: 14.04 Uhr
- Resynchronisation: 15:07 Uhr



Quelle: Zweites Update: Systemauftrennung im europäischen Stromnetz am 8. Januar 2021 (amprion.net)

Resonanzinstabilität - 23. März 2014 BorWin Alpha

- Änderung der Netzimpedanz führten zu Reglerinstabilitäten
- Elektrische Interaktion der Regler mit dem offshore Netzes
- Anregung der Resonanzstellen des offshore Netzes
- Zerstörung von zwei Filtersystemen auf der Konverterplattform BorWin Alpha

Quelle: Knall auf hoher See – DER SPIEGEL; Stern 35/2014

Motivation

Transformation des Stromnetzes

Erzeugerseite

- Ausbau der erneuerbaren Energien
- Anschluss der Windenergie- und PV-Anlagen größtenteils im Verteilnetz

Lastseite

- Elektrifizierung: E-Mobilität, Wärmepumpen, Elektrolyseur, industrielle Prozesse

Ausscheiden der konventionellen Kraftwerke

- inhärente stabilisierenden Eigenschaften der Synchrongeneratoren im Übertragungsnetz fallen weg

Motivation

Transformation des Stromnetzes

Erzeugerseite

- Ausbau der erneuerbaren Energien
- Anschluss der Windenergie- und PV-Anlagen größtenteils im Verteilnetz

Lastseite

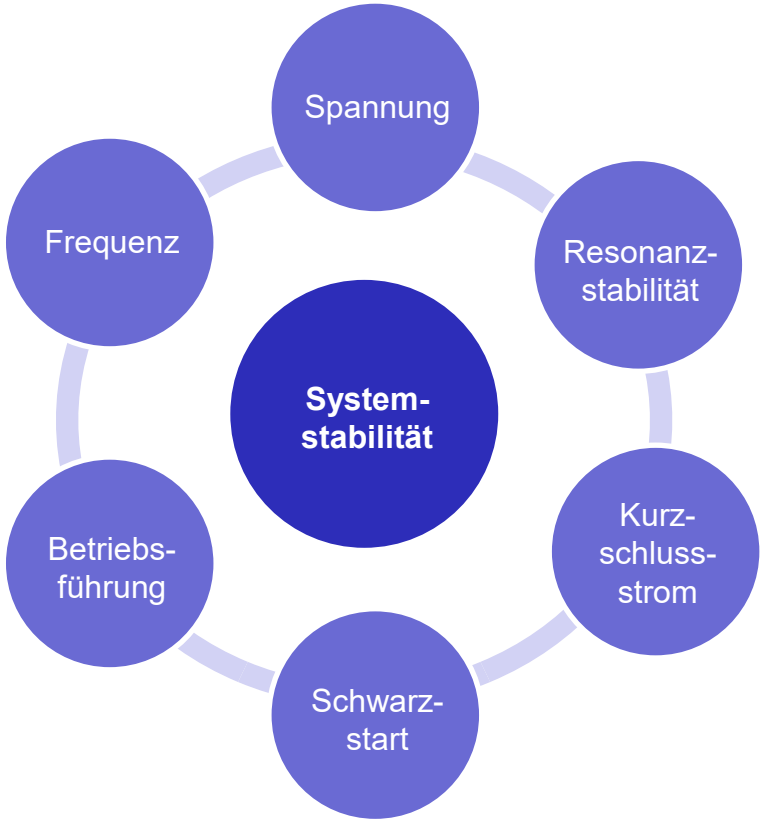
- Elektrifizierung: E-Mobilität, Wärmepumpen, Elektrolyseur, industrielle Prozesse

Ausscheiden der konventionellen Kraftwerke

- inhärente stabilisierenden Eigenschaften der Synchrongeneratoren im Übertragungsnetz fallen weg

Folge

- Systemadäquanz und Systemstabilität müssen anderweitig übernommen werden
- Übernahme bedeutet, dass das Aufgabenspektrum der erneuerbaren Energien, Speicher und weitere Anlagen oder Netzbetriebsmittel weiterentwickelt werden muss



Technischer Hintergrund

Leistungselektronik

Netzfolgende Stromrichter

- Funktionsweise: Anlage verhält sich wie eine Stromquelle
- Stromrichterregelung folgt dem Netz hinsichtlich Spannung, Frequenz und Phasenlage
- Kein Betrieb ohne bereits vorhandenes Netz möglich
- Aktuell werden erneuerbare Energieanlagen über netzfolgende Stromrichter angeschlossen

Netzbildende Stromrichter

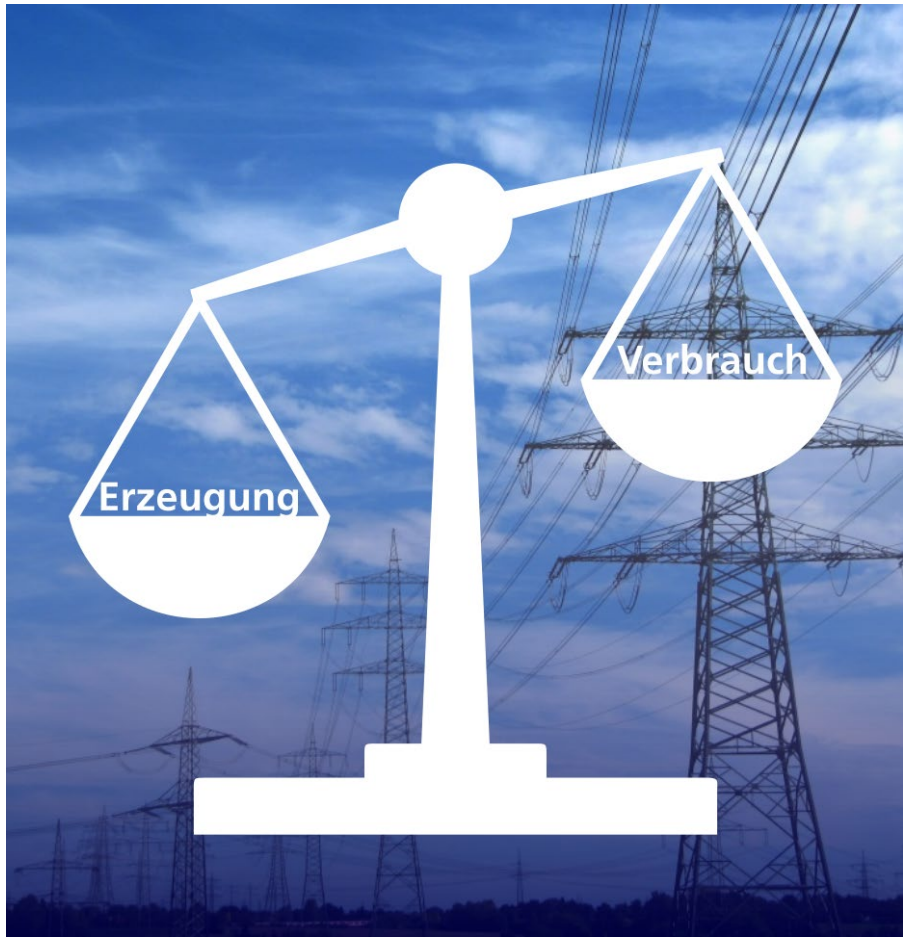
- Funktionsweise: Anlage verhält sich wie eine Spannungsquelle
- Aktive Regelung der Netzspannung und Netzfrequenz
- Virtuelles Nachahmen der physikalischen Eigenschaften und Funktionen Synchrongeneratoren ➔ unterschiedliche Umsetzungen
- Aktueller Einsatz: Micro-Grids und Off-Grid Anwendungen

Technischer Hintergrund

Netzeigenschaften folgen physikalischen Verhalten der Synchrongeneratoren

Frequenz

- Stabile Frequenz im Toleranzband um 50 Hz
- Zu viel Wirkleistung ➔ Frequenz steigt
- Zu wenig Wirkleistung ➔ Frequenz sinkt



Quelle: Rainer Sturm - pixelio.de

Technischer Hintergrund

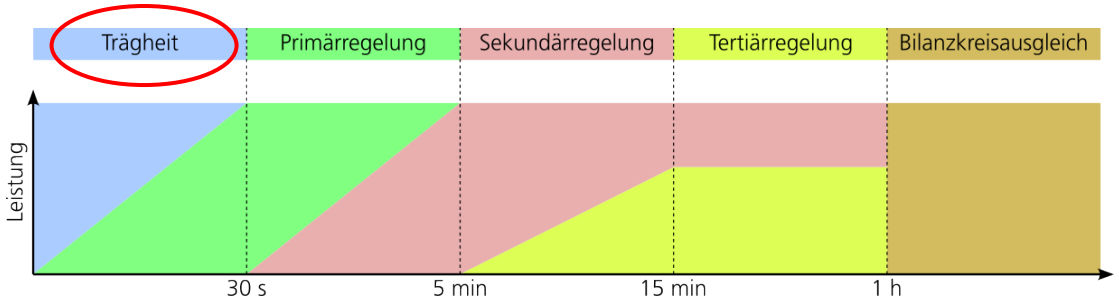
Netzeigenschaften folgen physikalischen Verhalten der Synchrongeneratoren

Frequenz

- Stabile Frequenz im Toleranzband um 50 Hz
- Zu viel Wirkleistung ➔ Frequenz steigt
- Zu wenig Wirkleistung ➔ Frequenz sinkt

Momentanreserve

- Zeitbereich: Millisekunden bis wenige Sekunden
- instantane, unverzögerte Reaktion auf eine Frequenzabweichung
- Bereitstellung durch anlageninhärente Trägheit der Synchrongeneratoren konventioneller Kraftwerke
- Drehende Bestandteile wirken aufgrund ihrer Rotationsenergie wie Puffer

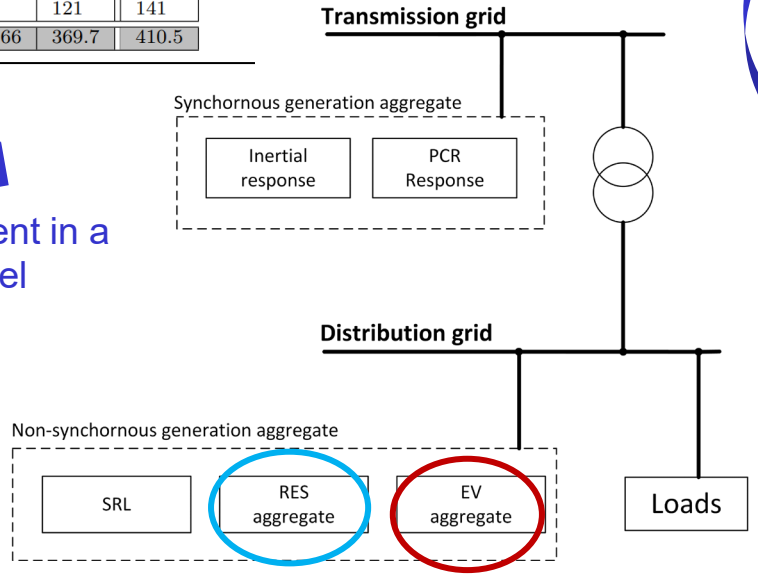


DLR | Aggregate flexibility model for simulating grid frequency dynamics

Step 1: creating Scenarios based on installed grid capacity [GW] based on NEP2035

Technology	2022	2035	2040
Hydro	4.94	5.6	5.6
Coal	39.87	0	0
Storage pumps	9.8	10.2	10.2
Gas	30.69	42.4	42.4
Biomass	9.42	7.5	8.2
Oil	4.68	1.3	1.1
Nuclear	8.11	0	0
Synchronous generation	107.51	67	67.5
Solar	60.56	117.8	125.8
Wind	64.5	116.8	128.8
PV storage	0.6	14.1	14.9
Non-synchronous generation	125.66	248.7	269.5
EVs	6	121	141
Total non-sync installations	131.66	369.7	410.5

Step 2: Implement in a Grid Model

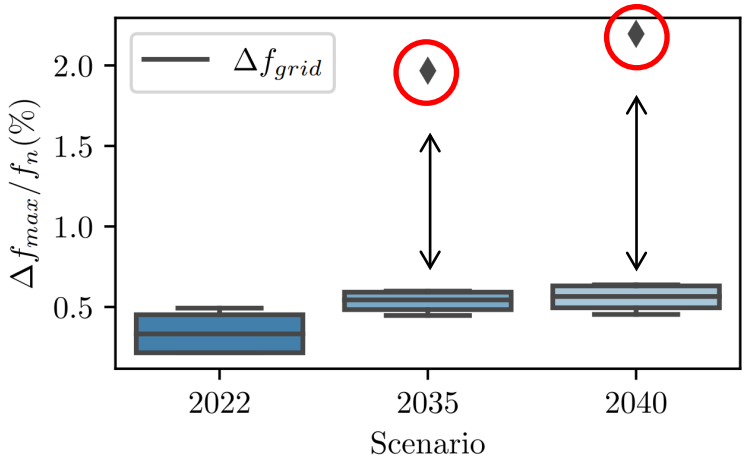


Step 3: Define Use-cases

Use-case	Loads (% of $P_{installed}$)	RES_{LFSM}	EV_{LFSM}
1	20%	Off	Off
1a	20%	On	Off
1b	20%	On	On
2	50%	Off	Off
2a	50%	On	Off
2b	50%	On	On

Step 4: Analyses

Result: lower LFSM requirements by utilizing RES and EV flexibility



without RES and EV flexibility (use case 2)

All other use cases

$\Delta P_{disturbance} = P_{Loads} - P_{generation} = 1\%$

*Contribution from Project **ROLLEN** FKZ 03ETE029D*

Supported by:

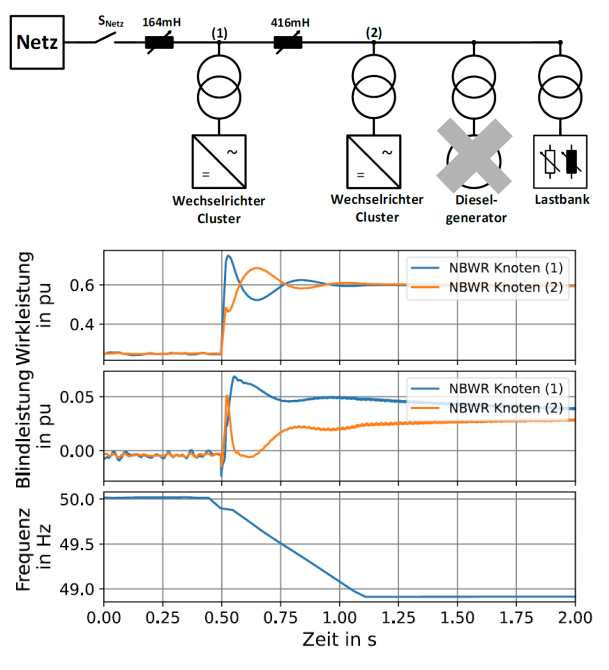
Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

on the basis of a decision by the German Bundestag

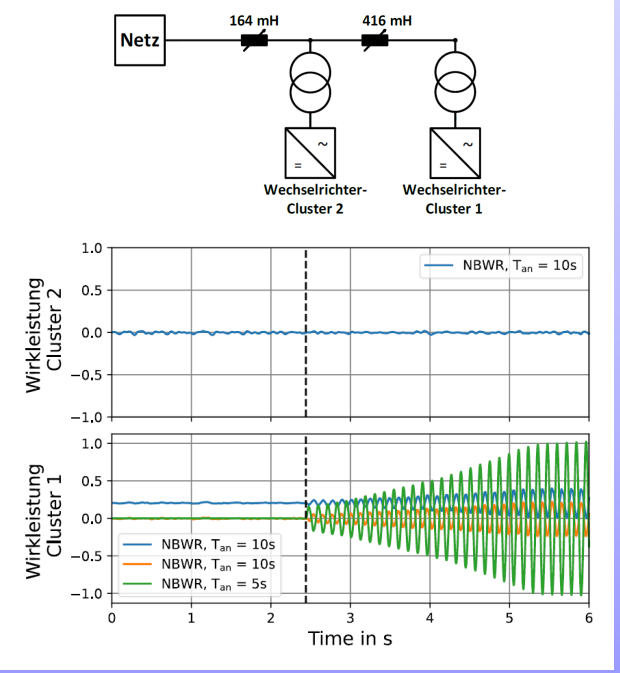
Fraunhofer ISE | VerbundnetzStabil (2017-2021)

Forschungsfrage: Wie verhalten sich Netzbildende Wechselrichter (NBWR) in Verbundsystemen mit bis zu 100 % Erneuerbarer Erzeugung?

System-Split mit 100 % NBWR-basierter Erzeugung



Instabilitäten im Netzbetrieb - Beispiel mit unterschiedlicher Parametrisierung von T_{an}



Forschungsfrage: Wie kann das netzbildende Verhalten von Wechselrichtern nachgewiesen werden?

„GFM Testing Guideline“

Projekt: GFM Benchmark

Vermessung Netzbildender Wechselrichter von verschiedenen Hersteller

Technischer Hintergrund

Resonanzstabilität

Bildung von Schwingkreisen aus unterschiedlichen Netzkomponenten

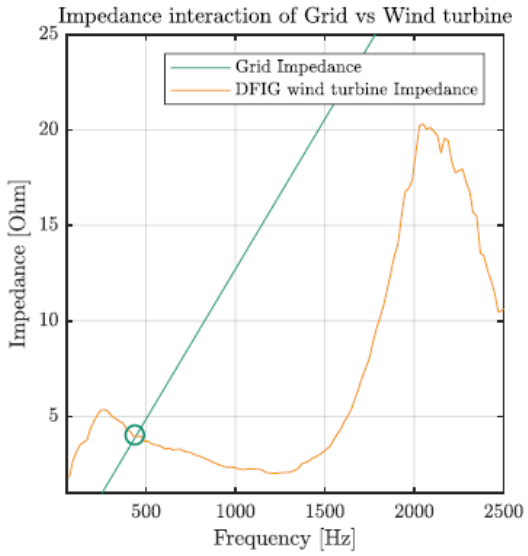
- Zwischen Spulen und Kondensatoren
- Zwischen Anlagenreglern von Stromrichtern
- Pendelung des Stroms

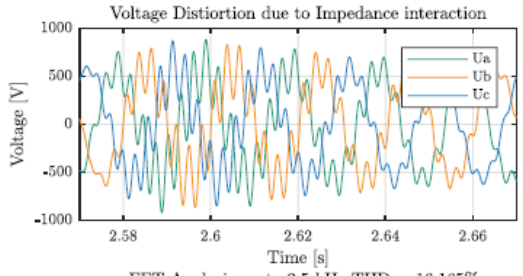
Anregung des Stroms in einer bestimmten Frequenz

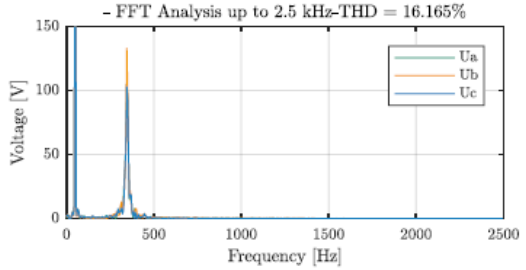
- Verstärkung der Schwingung
- Verstärkung der Schwingung kann bis zur Beschädigung der Komponenten führen

Herausforderung

- Wechselwirkung zwischen stromrichterbasierten Anlagen nimmt zu
- Spannung und Ströme gegenüber diesen Verstärkungen stabil halten
- Validierung von Oberschwingungsmodellen

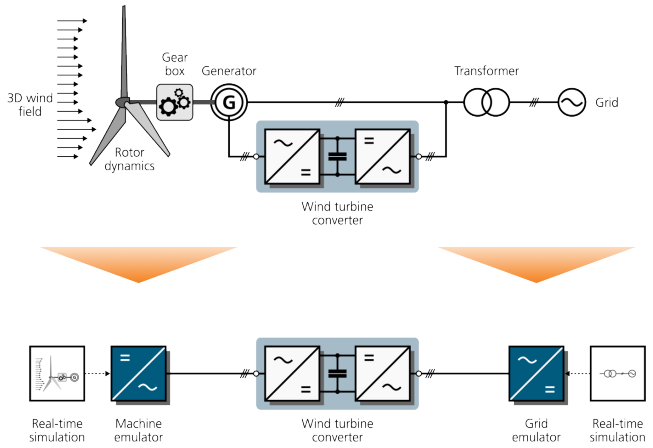






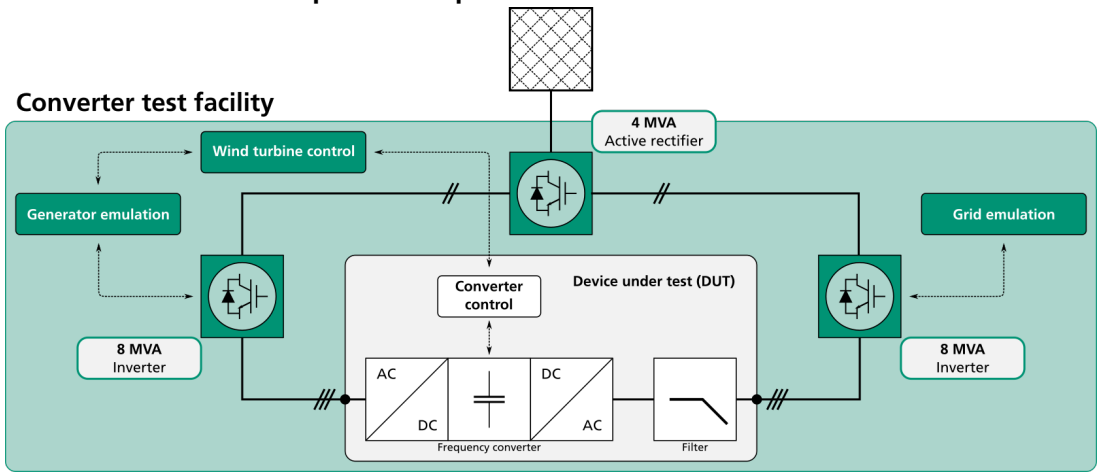
Fraunhofer IWES | Forschungsprojekt PQ4Wind

Hochfrequenter Umrichterprüfstand für die Validierung von Oberschwingungsmodellen



Projektziel

- Entwicklung eines Messverfahrens zur Bestimmung des Oberschwingungsverhaltens bis zur 200. Oberschwingung von WEA-Umrichtern
- Spezifikation und Aufbau eines Umrichterprüfstands
- Ersetzen des Generators und des Netzes durch leistungselektronische Emulatoren mit Einsatz des Hardware-in-the-loop Prinzips



Key Facts Prüfstand

- Leistung: 8 MVA
- Frequenzbereich: 40 Hz – 70 Hz
- FRT-Eigenschaften: 150% OVRT und 0% UVRT
- Impedanz emulation > 2.5 kHz
- Harmonic injection > 10 kHz

Fraunhofer IEE | Netzregelung 2.0

Nachweis: elektrisches Verbundsystem kann mit sehr hohen Stromrichteranteilen durch geeignete netzbildende Regelungsverfahren stabil betrieben werden

- Resilienz: Stabilitätsnachweis Teilnetze während „System Split“
- Untersuchungen zur Frequenz-, Spannungs- und Winkelstabilität
- Bis 100 % Stromrichteranteile möglich – nahtloser Übergang realisierbar
- Beantwortung von zentralen Forschungsfragen
- Einführung der Technologie für netzbildende Stromrichter ist Konsens
- Input zur „Roadmap Systemstabilität“ der Bundesregierung

➢ Weitere wesentlicher Fragen im Verteilungsnetz zur Teilnetz-Erkennung, Regler-Interaktionen, Koordination mit Netzschutz etc. vor breiter Einführung wichtig → neu: BMWK-Verbundprojekt: Verteilnetz 2030+

➢ Schrittweise Einführung der Technologie im Verteilungsnetz: z.B. zunächst durch Demonstration und Ausschreibungen um Erfahrung zu sammeln

https://www.iee.fraunhofer.de/de/projekte/suche/2021/new/netzregelung-2-0.html

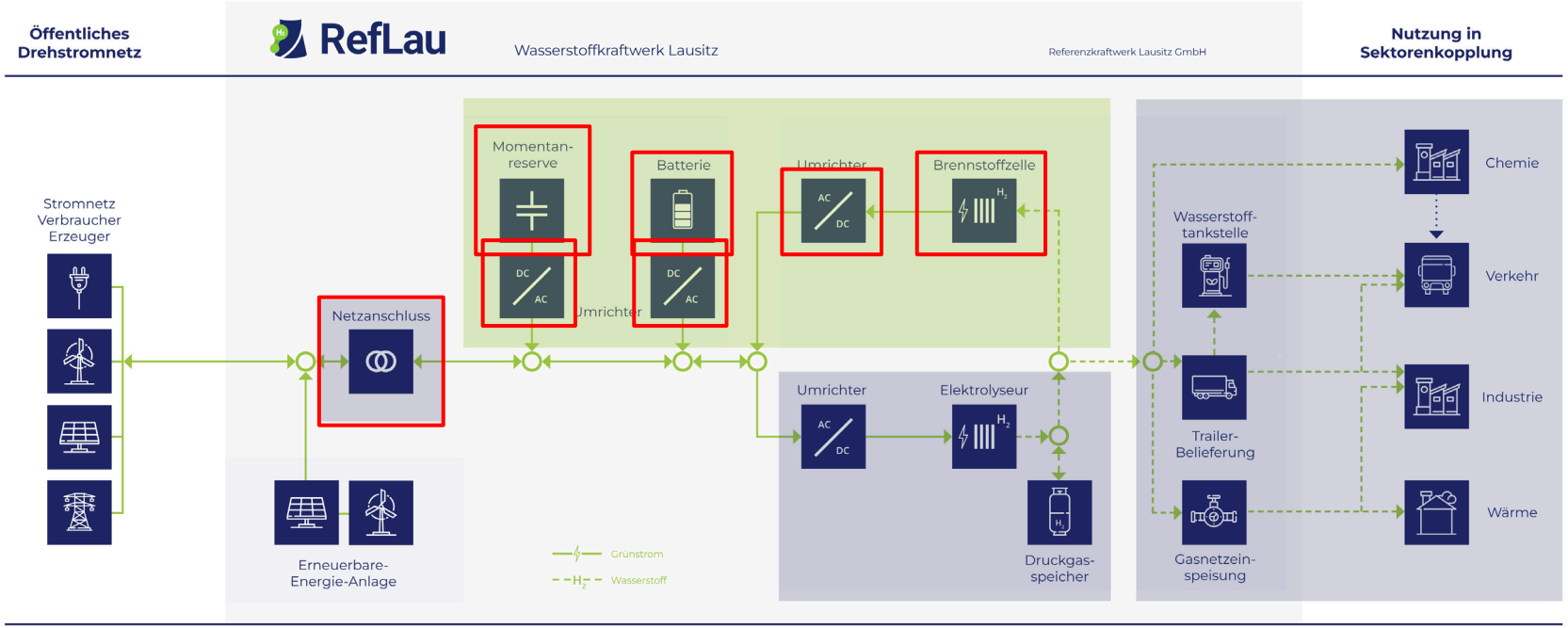
Partner:
Netzbetreiber: 4 ÜNB und mehere VNB
Stromrichter-Hersteller,
VDE-FNN, Forschungsinstitute …

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:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Fraunhofer IEG | Referenzkraftwerk Lausitz

Reallabor für ein hybrides Speicherkraftwerk



© 2023 Referenzkraftwerk Lausitz GmbH

Icons: Flaticon.com

Forschungsziele

- Schwarzstartfähigkeit durch netzbildende Stromrichter
- Spannungsstützendes Verhalten am Netzanschlusspunkt
- Bereitstellung von Momentanreserve
- Bereitstellung von Frequenzregelleistung
- Stromversorgung durch Brennstoffzelle auch während einer Dunkelflaute

1 Im **Projektteil 1** wird begonnen mit der Errichtung der Wasserstofferzeugung, Speicherung und –verteilung (Sektrorenkopplung).

2 Im **Projektteil 2** sollen im Rahmen eines F&E-Vorhabens alle relevanten Systemdienstleistungen für das Stromnetz wie bei einem konventionellen Kraftwerk bereitgestellt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Aktuelle Situation

- Onshore: Transformation des Stromnetzes zu einem umrichterdominierten Stromnetz
- Offshore: umrichterdominiertes Stromnetz
- Über netzbildende Regelstrategien können die physikalischen Eigenschaften und Funktionen von Synchrongeneratoren nachgebildet werden
- Ein Beitrag kann auf Erzeugungs- und Lastseite über die Stromrichter geleistet werden
- Es fehlt an einheitlichen Definitionen und elektrischen Anforderungen in den Grid Codes

Sicherstellung der Systemintegration

- Es müssen geeignete Testverfahren und Validierungsprozesse entwickelt und erprobt werden. Dabei müssen die Unterschiede der Erzeugerseite berücksichtigt werden
- Einführung der netzbildenden Stromrichter im Verteilnetz über Demonstratoren

Vielen Danke für Ihre Aufmerksamkeit!