
NETZWIEDERAUFBAU UNTER BERÜCKSICHTIGUNG ZUKÜNFTIGER KRAFTWERKSSTRUKTUREN – NETZ:KRAFT

Blitzlichter aus dem Projekt Netz:Kraft, Schwarzstart und Verhalten Erneuerbarer Energien



Wolfram Heckmann
Gruppenleiter Versorgungsqualität und Versorgungssicherheit
+49 (0)561 7294-126
wolfram.heckmann@iee.fraunhofer.de

FRAUNHOFER IEE

ENERGIEWIRTSCHAFT UND ENERGIESYSTEMTECHNIK



Das Fraunhofer IEE forscht in den Bereichen Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik.

Wir entwickeln Lösungen für wirtschaftliche und technische Herausforderungen bei der Transformation der Energieversorgungssysteme.



- Mitarbeiter: rund 360
- Jahresbudget: ca. 22,5 Mio EUR
- Leitung: Prof. Dr. Clemens Hoffmann

www.iee.fraunhofer.de

NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

- Projektvorstellung Netz:Kraft
- Netzwiederaufbau-Modus
- Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Offshore-Wind als Schwarzstarteinheit
 - 110 kV-Wind-Insel
 - Verteilnetz-Bilanz-Regler

- Weitere Fallstudien und Demonstrationen
 - Beiträge von Wind- und PV-Anlagen
 - Einsatz von HGÜ
 - Notfall - Versorgungsinsel
 - Großstadt
 - Mittelspannung: Biomasse und PV
 - Ortsnetze: Quartiers-Batterie
 - Demonstrationsvorhaben am Trainingssimulator und im Labor
 - Weiterentwicklung Testumgebung
- ⇒ www.netz-kraft-projekt.de

NETZ:KRAFT – PROJEKTTEAM UND FÖRDERUNG



Koordination: Fraunhofer IEE

Durchführung: 01/2015 – 06/2018

GEFÖRDERT DURCH



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

STROMNETZE

Forschungsinitiative der Bundesregierung

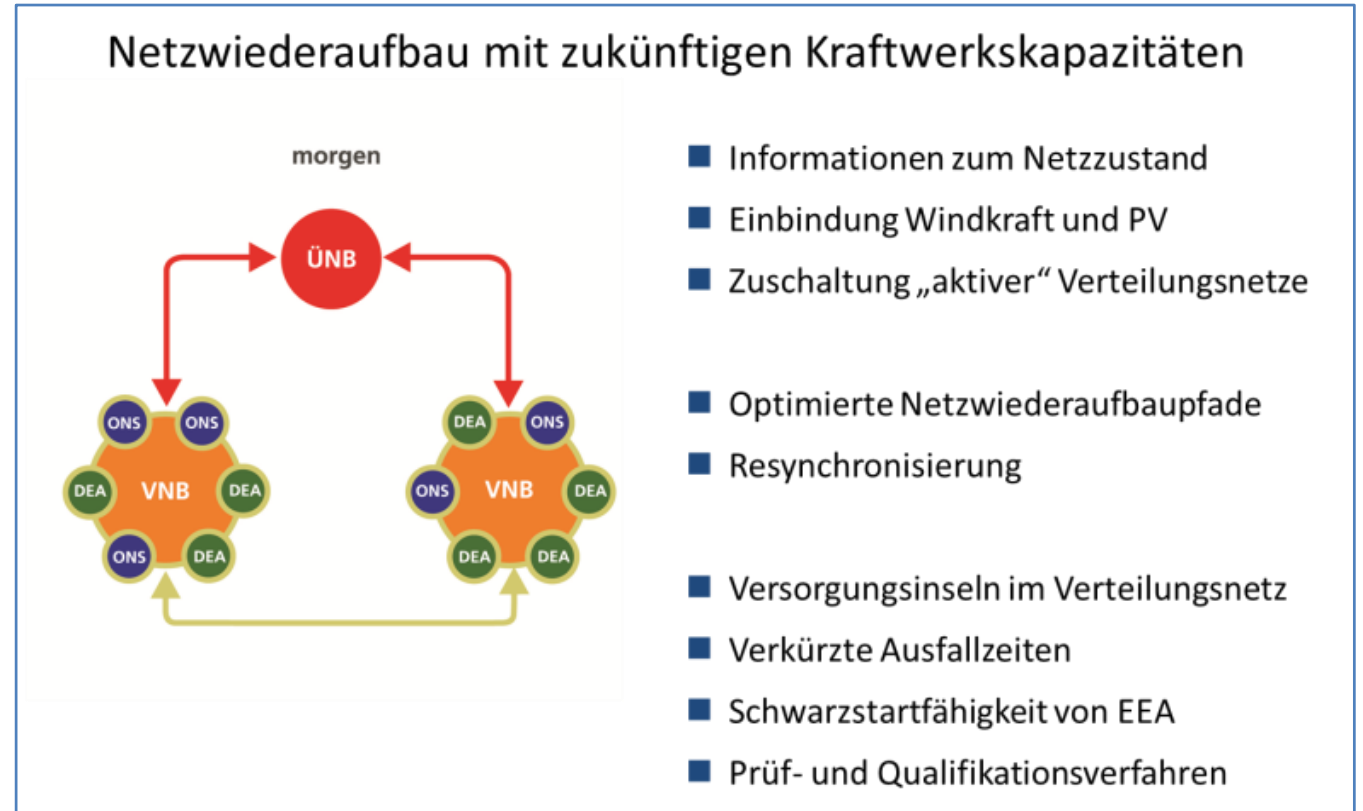
FKZ: 0325776

Projektpartner mit öffentlicher Förderung

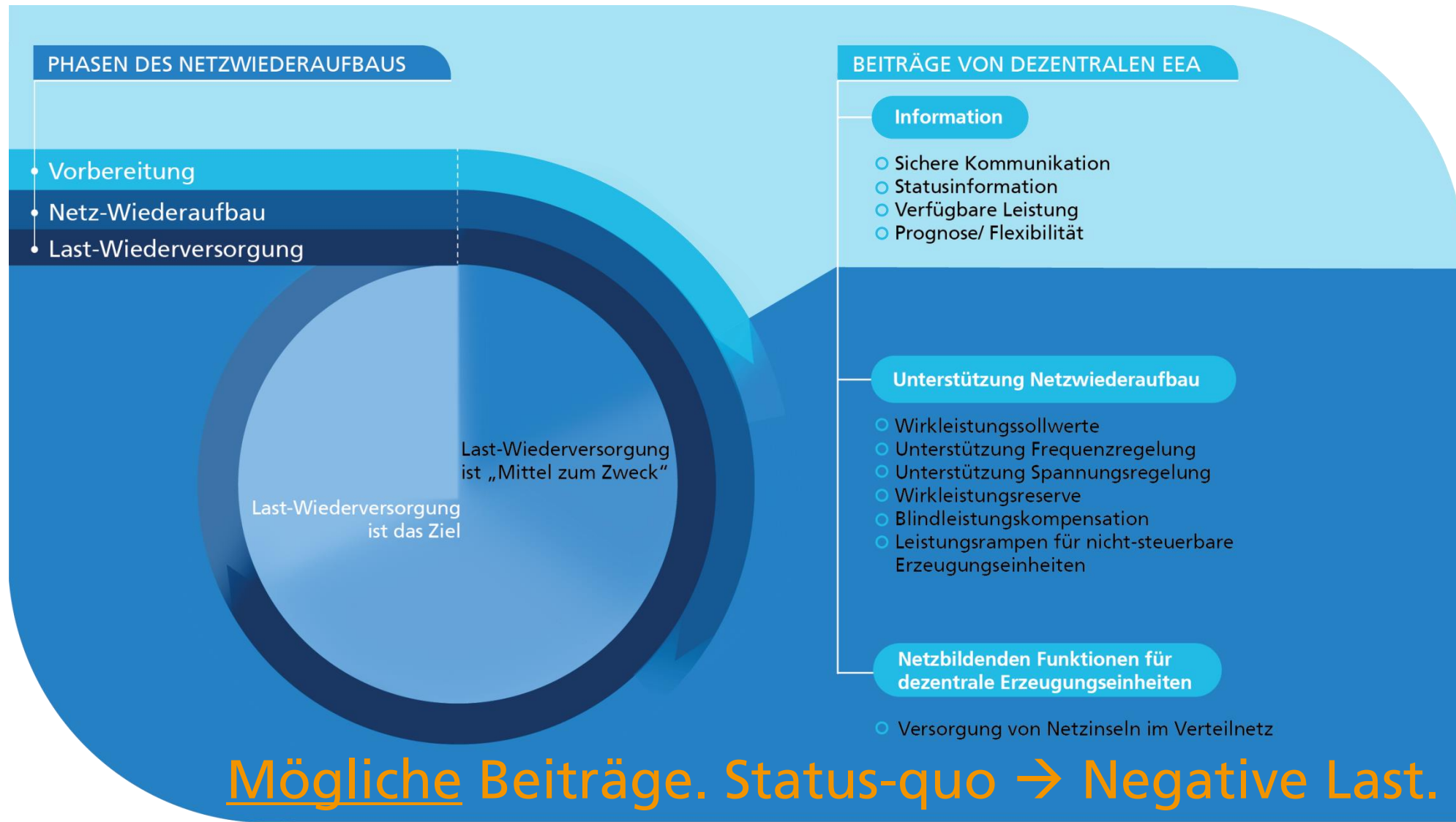
Projektpartner ohne öffentliche Förderung



- Ist es möglich, vorhandene Konzepte für zukünftige Kraftwerksstrukturen so weiter zu entwickeln, dass der NWA möglich bleibt?
- Ist es möglich, dezentrale Anlagen aktiv für Versorgungseineln zu nutzen und somit die Ausfallzeiten zu minimieren?



Netz:Kraft – Mögliche Beiträge von Erneuerbaren zum Netzwiederaufbau



NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

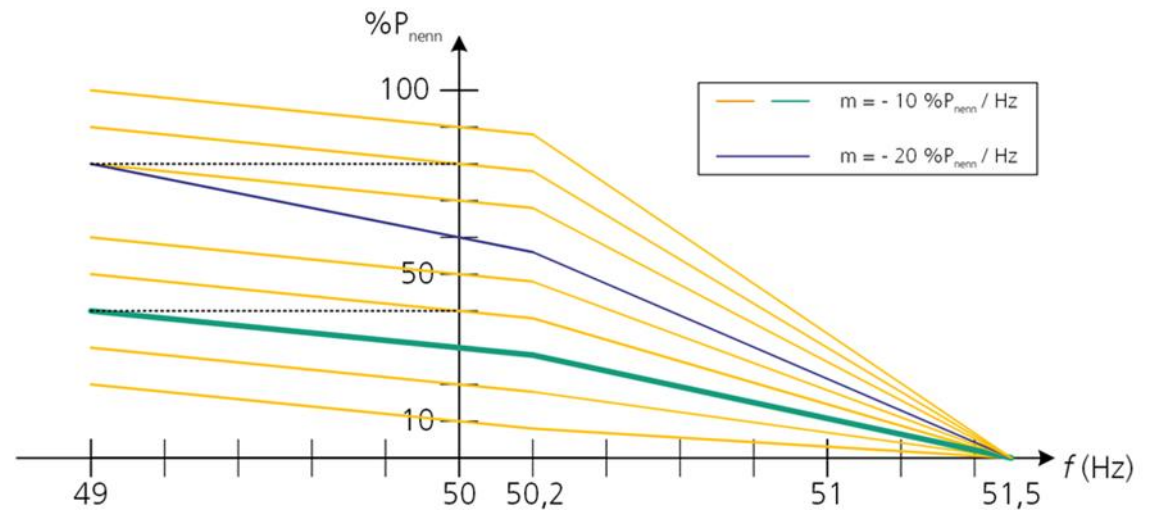
- Projektvorstellung Netz:Kraft
- Netzwiederaufbau-Modus
- Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Offshore-Wind als Schwarzstarteinheit
 - 110 kV-Wind-Insel
 - Verteilnetz-Bilanz-Regler
- Weitere Fallstudien und Demonstrationen
 - Beiträge von Wind- und PV-Anlagen
 - Einsatz von HGÜ
 - Notfall - Versorgungsinsel
 - Großstadt
 - Mittelspannung: Biomasse und PV
 - Ortsnetze: Quartiers-Batterie
 - Demonstrationsvorhaben am Trainingssimulator und im Labor
 - Weiterentwicklung Testumgebung

Netz:Kraft – „Netzwiederaufbau-Modus“



Veränderte Eigenschaften gegenüber Normalbetrieb

- Modus aktivierbar vom Netzbetreiber
 - bei kleinen Anlagen ggf. automatisch
- Vorgabe Wirkleistungssollwert durch den Netzbetreiber
- Gradientenbegrenzung $\pm 10\% P_{\text{nenn}} / \text{min}$
- Frequenzstützung über längeren Zeitraum gemäß Abbildung
- Spannungshaltung
 - Q(U)-Kennlinie in Bezug zur Vereinbarten Nennwirkleistung
 - Vorgabe Spannungssollwert durch Netzbetreiber



- Wirkleistungs-Sollwertvorgabe und Frequenzstützung
 - 2 Zonen und kontinuierlicher Anpassung der Einspeiseleistung
 - $f < 50,2 \text{ Hz} \rightarrow$ Steigung $-10\% P_{\text{nenn}} / \text{Hz}$
 - $f > 50,2 \text{ Hz} \rightarrow$ kontinuierliche Reduzierung
 - Grüne Linie: Sollwertvorgabe 30%
 - Violette Linie: Alternative Steigung $-20\% P_{\text{nenn}} / \text{Hz}$

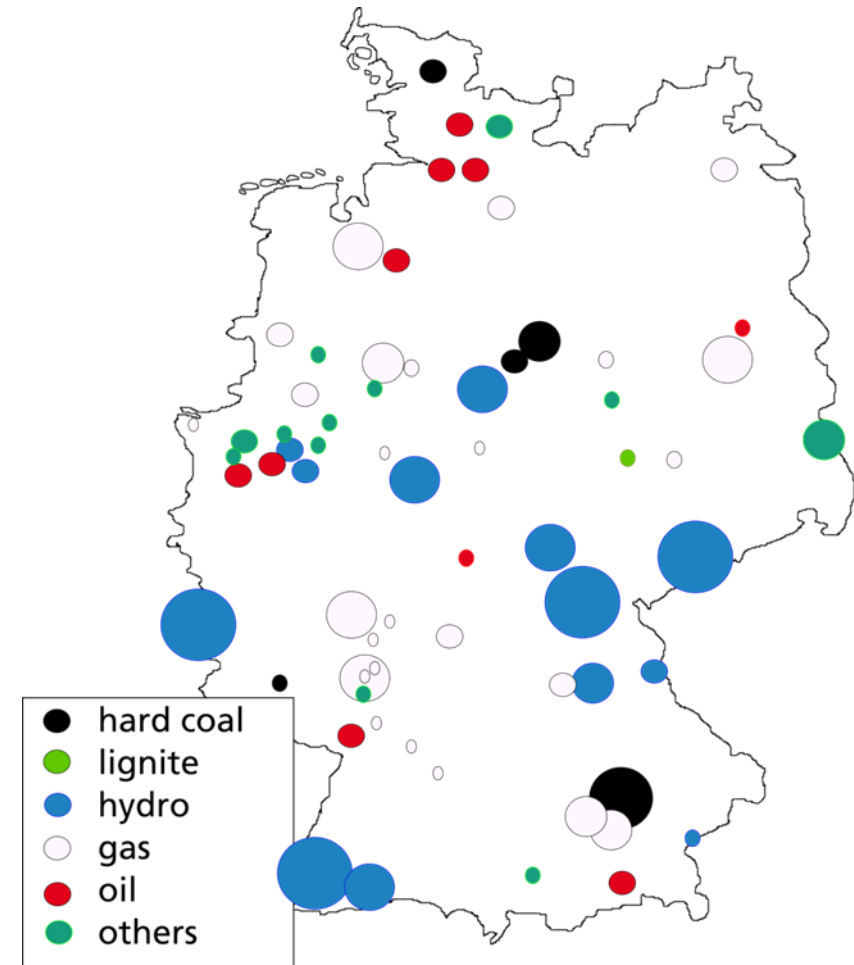
NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

- Projektvorstellung Netz:Kraft
- Netzwiederaufbau-Modus
- Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Offshore-Wind als Schwarzstarteinheit
 - 110 kV-Wind-Insel
 - Verteilnetz-Bilanz-Regler
- Weitere Fallstudien und Demonstrationen
 - Beiträge von Wind- und PV-Anlagen
 - Einsatz von HGÜ
 - Notfall - Versorgungsinsel
 - Großstadt
 - Mittelspannung: Biomasse und PV
 - Ortsnetze: Quartiers-Batterie
 - Demonstrationsvorhaben am Trainingssimulator und im Labor
 - Weiterentwicklung Testumgebung

Netz:Kraft – Off-shore-Windpark mit HGÜ als Schwarzstarteinheit (1)



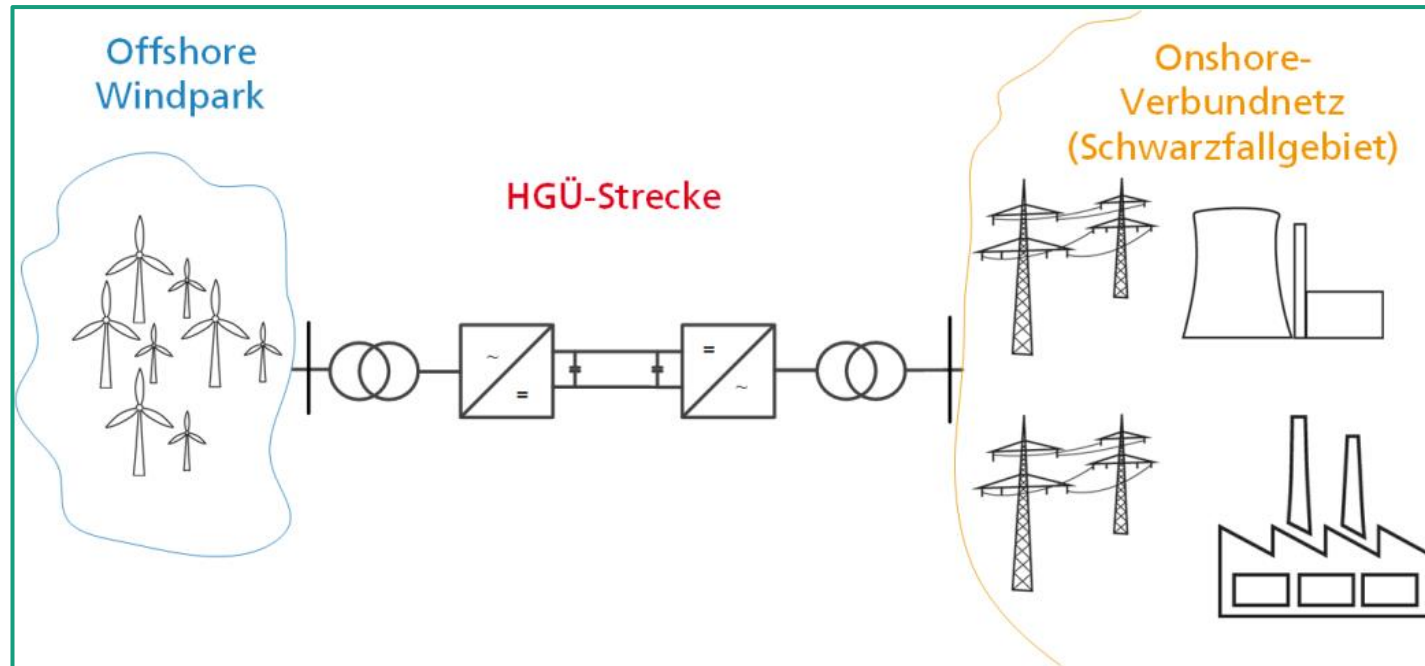
- Anforderungen an Schwarzstarteinheiten
 - Startfähigkeit ohne Energie aus dem Netz
 - Netzbildend und Laden von Leitungen
 - Wirkleistung muss der Last folgen können
- Schwarzstarteinheiten (Deutschland 2019)
 - überwiegend Wasserkraft
 - Gasturbinen
 - Wenig Steinkohle
 - Öl (für Spitzenlast)
- Fossil befeuerte Kraftwerke werden zukünftig weniger
- Nur wenige Schwarzstarteinheiten sind küstennah



Geografische Verteilung der Schwarzstarteinheiten (Deutschland, 2019)

Quelle : Becker, H., Naranovich, A., Hennig, T., Akbulut, A., Mende, D., Stock, S., Hofmann, L., 2017

Netz:Kraft – Off-shore-Windpark mit HGÜ als Schwarzstarteinheit (2)



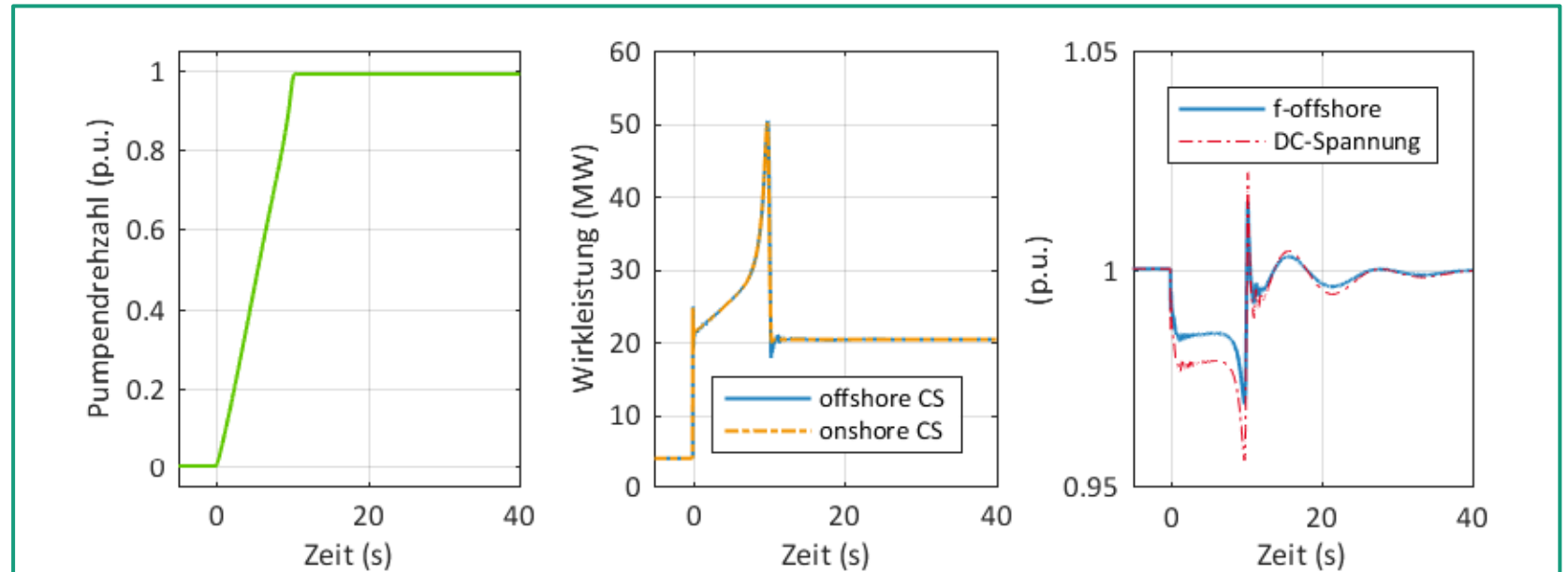
Prinzipische Skizze Off-shore-Windpark und On-shore-Schwarzfallgebiet

- Die Schwarzstartfähigkeit der HGÜ-Strecke ist Voraussetzung und Stand der Technik.
- Bei beiden Konverterstationen muss ein netzbildender Betrieb möglich sein.
- Landseitige Laständerungen werden zunächst aus dem DC-Zwischenkreis ausgeglichen.
- DC-Spannungshaltung über seeseitigen Umrichter mit indirekter Spannungsregelung.
- In Abhängigkeit der DC-Spannung wird die Frequenz im Offshore-Netz angepasst.
- WEA reagieren auf Frequenzänderung analog zu Primärregelleistung.

Quelle : Becker, H., Naranovich, A., Hennig, T., Akbulut, A., Mende, D., Stock, S., Hofmann, L., 2017



Lastzuschaltung
(Speisewasserpumpe
eines Kraftwerks)
im On-shore-Inselnetz



- Leistung der Off-shore-Konverterstation (CS) folgt on-shore CS nahezu unverzögert
 - Lastzuschaltung reduziert DC Spannung und dadurch Frequenz im Offshore-Netz
 - Erhöhung der Einspeiseleistung durch die WEA
- Offshore-Windpark mit HGÜ-Anbindung als Schwarzstarteinheit einsetzbar
- Voraussetzungen
 - Windleistung
 - Zeitnahe Verfügbarkeit der HGÜ-Strecke nach Spannungsausfall

Quelle : Becker, H., Naranovich, A., Hennig, T., Akbulut, A., Mende, D., Stock, S., Hofmann, L., 2017

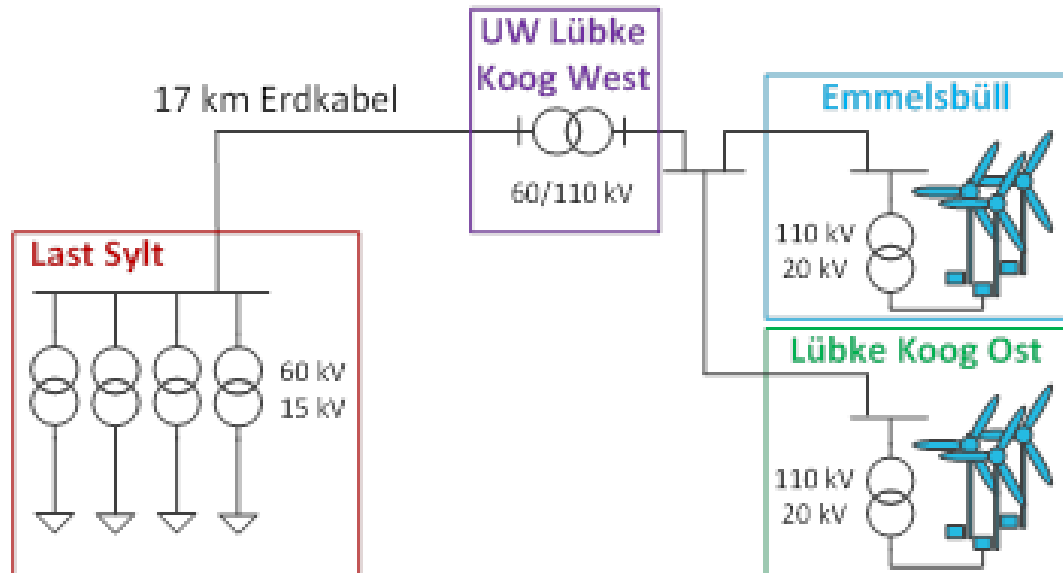
NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

- Projektvorstellung Netz:Kraft
- Netzwiederaufbau-Modus
- Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Offshore-Wind als Schwarzstarteinheit
 - 110 kV-Wind-Insel
 - Verteilnetz-Bilanz-Regler
- Weitere Fallstudien und Demonstrationen
 - Beiträge von Wind- und PV-Anlagen
 - Einsatz von HGÜ
 - Notfall - Versorgungsinsel
 - Großstadt
 - Mittelspannung: Biomasse und PV
 - Ortsnetze: Quartiers-Batterie
 - Demonstrationsvorhaben am Trainingssimulator und im Labor
 - Weiterentwicklung Testumgebung

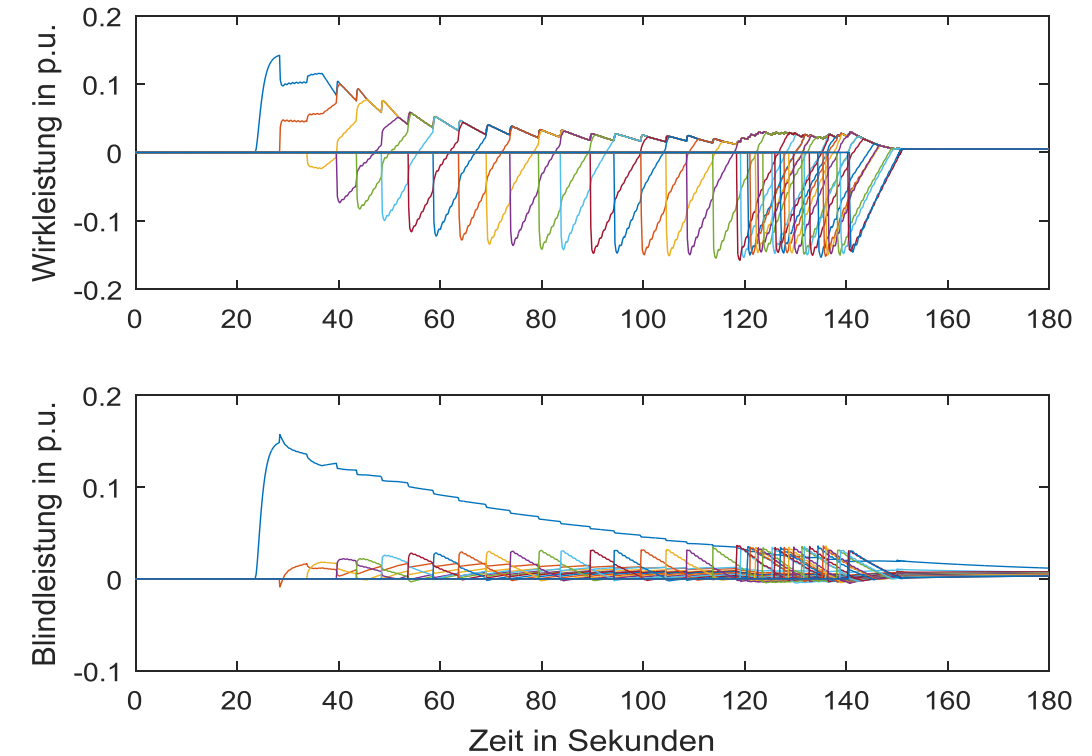
Netz:Kraft – 110 kV-Wind-Insel | Simulation



Aufbau der Hochspannungsnetzinsel, WEA als virtuelle Synchronmaschinen



Betrachteter Netzabschnitt



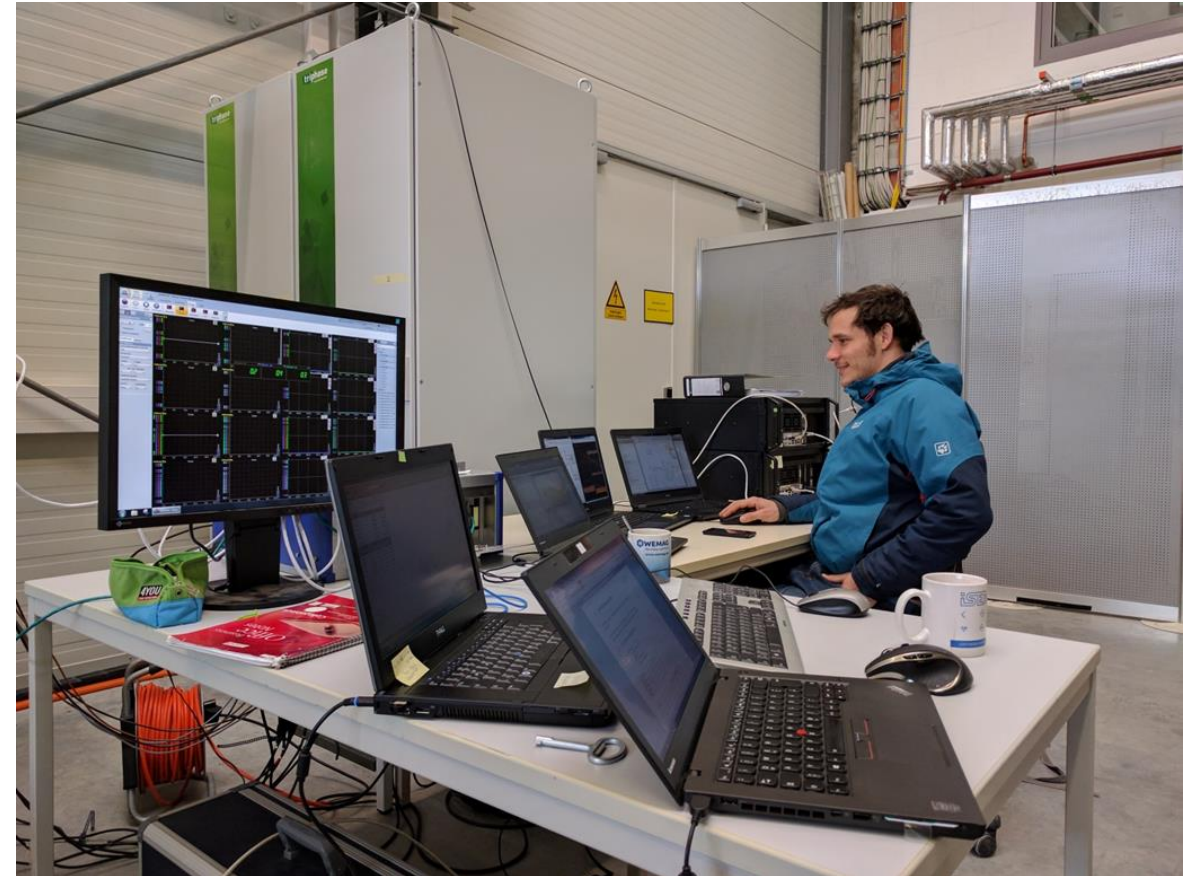
Wirk- und Blindleistungsverlauf an den Anschlusspunkten aller WEA beim Netzaufbau.

Quelle: F. Welck, Netz:Kraft Öffentlicher Abschlussbericht, 2019

Netz:Kraft – 110 kV-Wind-Insel | Umsetzung im Testzentrum SysTec (1)



- Diesel Generator
 - Nennleistung 200 kW
 - Synchronisationsrelais für Netzaufschaltung
- 2x RLC-Lastbänke
 - Skalierbar in 1 kW / 1 kVar Schritten
- 2x Triphase 90 kVA
 - Frei programmierbarer Umrichter als VSM
- Beckhoff Echtzeitsystem simuliert 2x Windturbinenmechanik

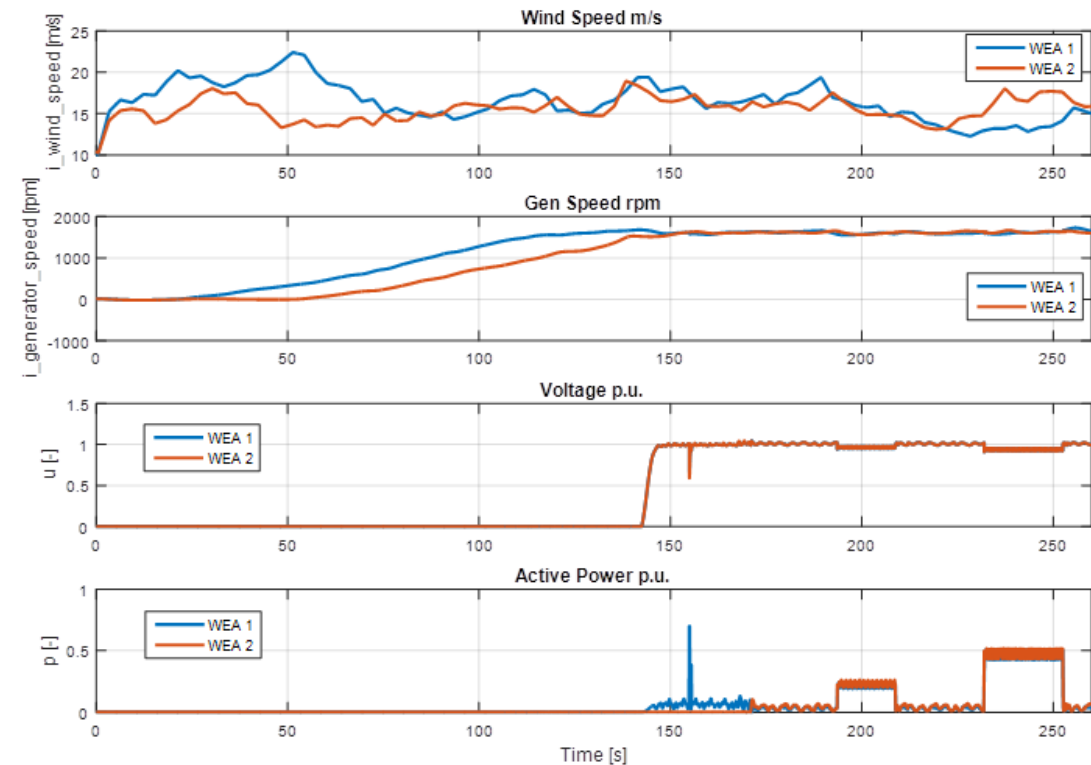
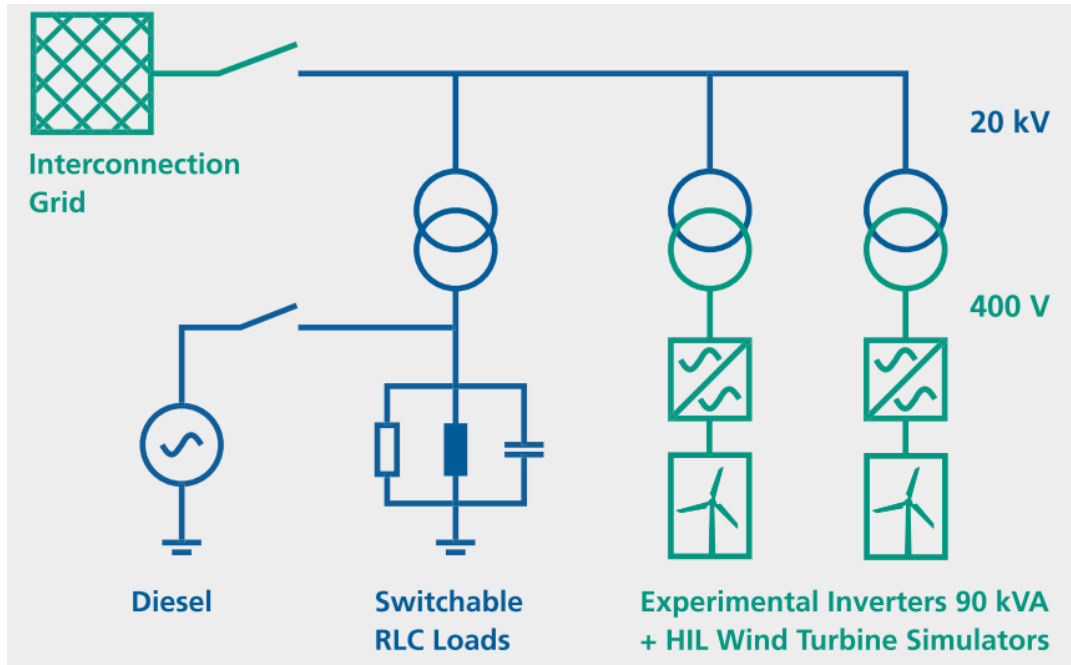


Netz:Kraft – Durchführung der Labordemonstration Windinsel am Fraunhofer IEE Testzentrum SysTec

Netz:Kraft – 110 kV-Wind-Insel | Umsetzung im Testzentrum SysTec (2)



Aufbau der Hochspannungsnetzinsel, WEA als virtuelle Synchronmaschinen



Betrachteter Netzabschnitt

Simulierte Daten (Windgeschwindigkeit, Rotordrehzahl) und gemessene Daten (Spannung, Wirkleistung) für den Schwarzstart des Labornetzes mit zwei simulierten WEA



Projektskizze „REFLEX“

- Schutzsysteme für den Betrieb und die Schwarzstartfähigkeit von Verteilnetzinseln
- Projektpartner: Schneider electric, E.DIS, Energienetz Mitte, Westnetz, Fraunhofer IEE, FAU Erlangen-Nürnberg

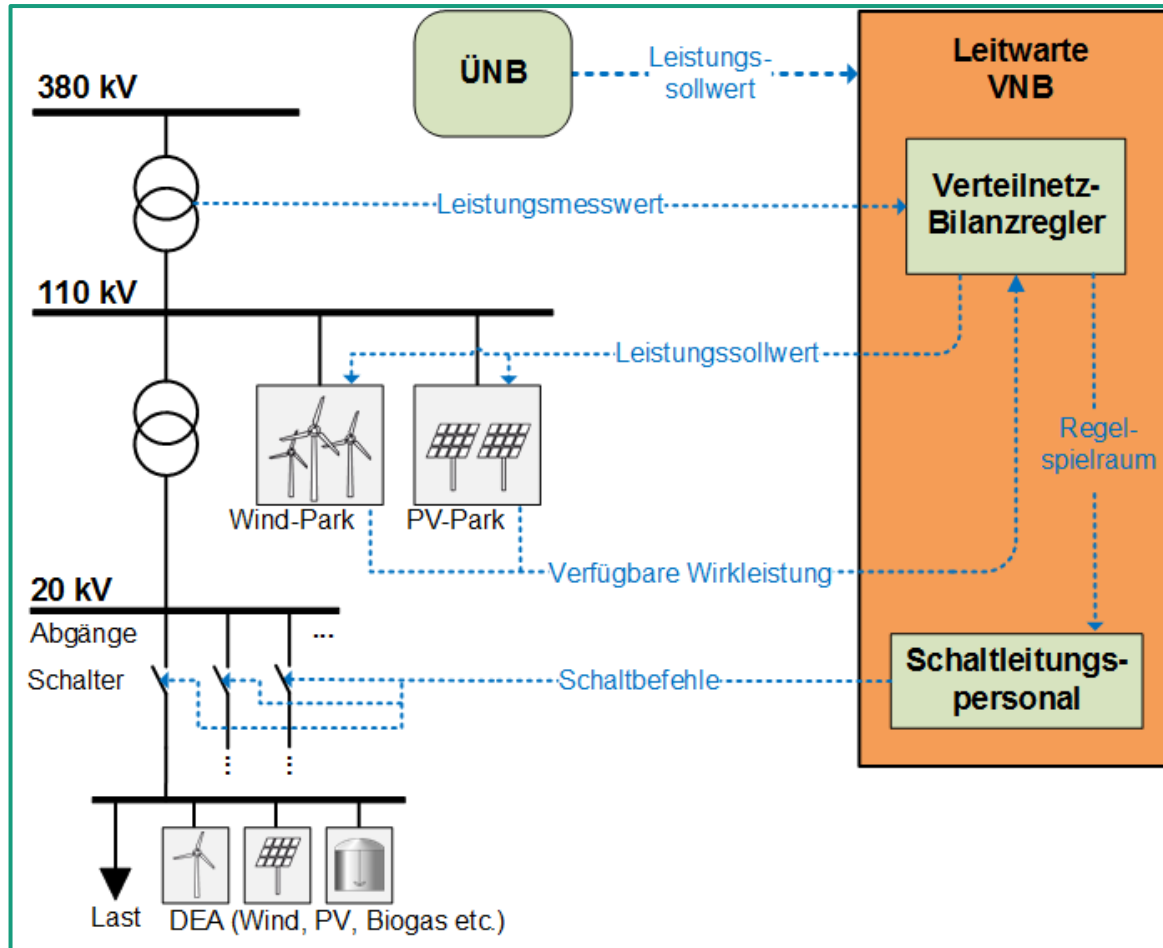
AP 6: Netzregelungskonzept für Versorgungswiederaufbau in Netzinseln

- Netzregelungskonzept für den Betrieb von Netzinseln und den Prozess des Versorgungswiederaufbaus
- Parameter der Statik für Wirkleistungs- und Spannungsregelung
- Dynamische Anforderungen an steuerbare Erzeugungseinheiten und Speicher und Wahl geeigneter Systemträgheit
- Möglichkeiten der Verbindung von Netzgruppen/ horizontalen Erweiterung von Netzinseln (Weiterführung von Fallstudien aus dem Projekt Netz:Kraft)

NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

- Projektvorstellung Netz:Kraft
- Netzwiederaufbau-Modus
- Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Offshore-Wind als Schwarzstarteinheit
 - 110 kV-Wind-Insel
 - Verteilnetz-Bilanz-Regler
- Weitere Fallstudien und Demonstrationen
 - Beiträge von Wind- und PV-Anlagen
 - Einsatz von HGÜ
 - Notfall - Versorgungsinsel
 - Großstadt
 - Mittelspannung: Biomasse und PV
 - Ortsnetze: Quartiers-Batterie
 - Demonstrationsvorhaben am Trainingssimulator und im Labor
 - Weiterentwicklung Testumgebung

Netz:Kraft – Verteilnetz-Bilanz-Regler



Prinzip der Ausregelung eines Verteilnetzabschnittes mit steuerbaren EE-Anlagen

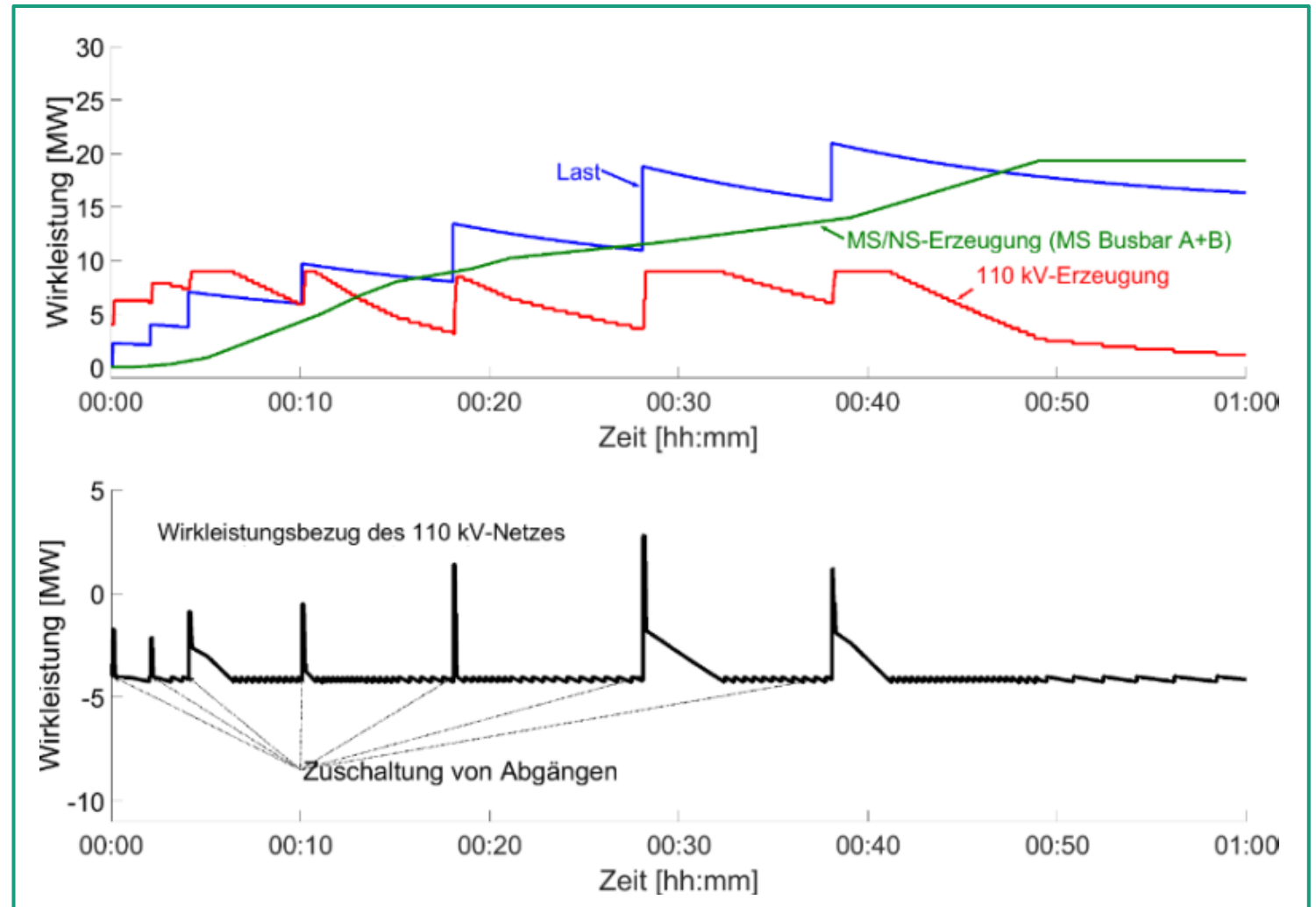
Quelle: C. Hachmann, M. Valov, G. Lammert, W. Heckmann, M. Braun, 2018

- Ausregelung von ungesteuerter Erzeugung und Lastschwankungen
- Einhaltung eines Sollwertes/ Leistungsbandes an der Koppelstelle ÜNB/VNB
 - Wirkleistungseinspeisung oder -aufnahme
 - (Blindleistung möglich)
- Wiederversorgung mit reduziertem Wirkleistungsbedarf aus Übertragungsnetz
- Notwendige Steuerbarkeit und Kommunikation sind heute verfügbar
- Zusätzliche Anforderungen an Prognosen



Wirkleistungs-Zeitverlauf

- Zuschalten von Mittelspannungsabgängen (blau)
- Ausregelung der ungesteuerten Erzeugung (grün)
- mit Wind-/PV-Parks in 110 kV (rot)
- Übergabeleistung (schwarz, Wirkleistungs-Sollwert beträgt -4 MW)



Quelle: C. Hachmann, M. Valov, G. Lammert, W. Heckmann, M. Braun, 2018



■ Beiträge Erneuerbarer zur Systemsicherheit und zum Systemwiederaufbau sind möglich

| | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Erhalt Frequenzstabilität | Wie kann der stabile Betrieb des Versorgungssystems mit sehr hohen Stromrichteranteilen durch geeignete Regelungsverfahren ermöglicht werden? | Projekt Netzregelung 2.0 Projektleitung: Philipp.Strauss@iee.fraunhofer.de |
| Erhalt Spannungsqualität | | |
| Unterstützung im Netzwiederaufbau | Wie können die Eigenschaften von EE in der Leitwarte genutzt werden? | Projektantrag SySanDUk - Systemdienliche Anforderungen an DEA zur Unterstützung in kritischen Netzsituationen |

■ Beiträge Erneuerbarer zur Verringerung von Ausfallzeiten sind möglich

- Welche Aufgaben soll das Verteilnetz übernehmen?
- Wie sollen verteilte Erzeuger und Speicher zur Erhöhung der Resilienz im Verteilnetz genutzt werden?
 - Wann und wo sind Inselnetze sinnvoll umsetzbar?
 - Welche Anforderungen ergeben sich an den Netzschutz in Teilnetzen/ Inselnetzen?
 - Projektskizze „Reflex - Schutztechnik im Kontext des Versorgungswiederaufbaus und flexibler Verteilnetzinseln“

NETZWIEDERAUFBAU UNTER BERÜCKSICHTIGUNG ZUKÜNFTIGER KRAFTWERKSSTRUKTUREN – NETZ:KRAFT



Bergpark Wilhelmshöhe Teufelsbrücke

(Bild: microfink, Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bergpark_Wilhelmshoehe_Teufelsbruecke.jpg)

Alles schön und gut,
aber der Teufel steckt im Detail!

- Wie kommen wir zur Umsetzung?
 - Verfahren
 - Betriebsweisen
 - Komponenten

- Wie können wir Forschungsergebnisse in der Praxis validieren?

- Welche Schritte können wir gemeinsam tun?



Referenzen

Becker, H., Naranovich, A., Hennig, T., Akbulut, A., Mende, D., Stock, S., Hofmann, L., System Restoration using VSC-HVDC connected Offshore Wind Power Plant as Black-Start Unit, 19th European Conference on Power Electronics and Application (IEEE EPE'17 ECCE Europe), Warsaw, 2017

C. Hachmann, M. Valov, G. Lammert, W. Heckmann, M. Braun, 2018, „Unterstützung des Netzwiederaufbaus durch Ausregelung der dezentralen Erzeugung im Verteilnetz“, Tagung Zukünftige Stromnetze für erneuerbare Energien, Berlin, 30.-31.01.2018

D. Lafferte, A. Klingmann, D. Fetzer, G. Lammert, C. Hachmann, T. Paschedag, M. Braun, 2017, „Black start and island operation of distribution grids with significant penetration of renewable resources,“ Proc. 1st International Conference on Large-Scale Grid Integration of Renewable Energy in India, New Delhi, India, 6-8 September 2017

M. Nuschke, 2017, „Development of a Micro-Grid-Controller for Black Start Procedure and Islanding Operation“, IEEE INDIN 17, Emden, 2017

M. Valov, M. Nuschke, 2018, „Implementation and Real-Time Validation of an Adaptive Protection System during Microgrid Restoration“, EPE 2018, Iasi, Rumänien, 18.-19. Oktober 2018, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8559892>

NETZ:KRAFT -
Öffentlicher Abschlussbericht

Koordination
Fraunhofer IEE

Projektkonsortium

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
STROMNETZE
Forschungsinitiative der Bundesregierung

ausgehend vom Beschluss des Deutschen Bundestages
Förderkennzeichen 0325776 [A bis L]. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.
Kassel, 08.02.2019

NETZ:KRAFT
Netzwiederaufbau unter Berücksichtigung zukünftiger Kraftwerksstrukturen

www.netz-kraft-projekt.de

NETZWIEDERAUFBAU UNTER BERÜCKSICHTIGUNG ZUKÜNFTIGER KRAFTWERKSSTRUKTUREN – NETZ:KRAFT



Anwendungsnahe Forschung und Entwicklung

Das Fraunhofer IEE in Kassel forscht für die Transformation der Energieversorgungssysteme und entwickelt Lösungen für technische und wirtschaftliche Herausforderungen.

Sprechen Sie uns an!

Dr. Thomas Degner
Abteilungsleiter Systemstabilität und
Netzintegration
+49 (0)561 7294-232
thomas.degner@iee.fraunhofer.de

Wolfram Heckmann
Gruppenleiter Versorgungsqualität und
Versorgungssicherheit
+49 (0)561 7294-126
wolfram.heckmann@iee.fraunhofer.de
www.iee.fraunhofer.de
www.pruefung-netzeigenschaften.de

FRAUNHOFER IEE

ENERGIEWIRTSCHAFT UND ENERGIESYSTEMTECHNIK



Das Fraunhofer IEE forscht in den Bereichen Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik.

Wir entwickeln Lösungen für wirtschaftliche und technische Herausforderungen bei der Transformation der Energieversorgungssysteme.



- Mitarbeiter: rund 360
- Jahresbudget: ca. 22,5 Mio EUR
- Leitung: Prof. Dr. Clemens Hoffmann

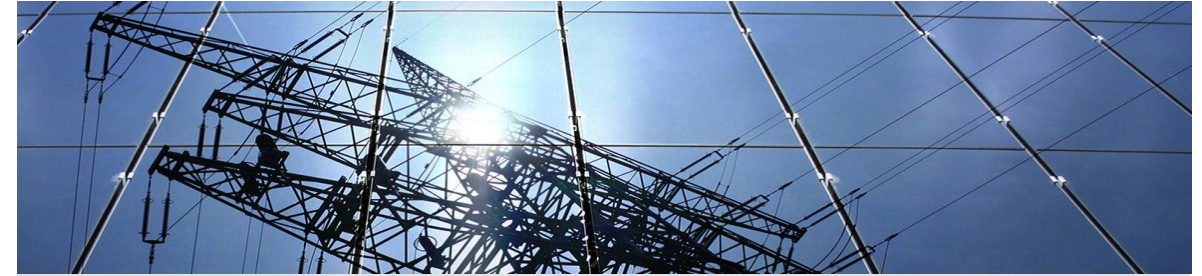
www.iee.fraunhofer.de

GESCHÄFTSBEREICHE



ENERGIEWIRTSCHAFT

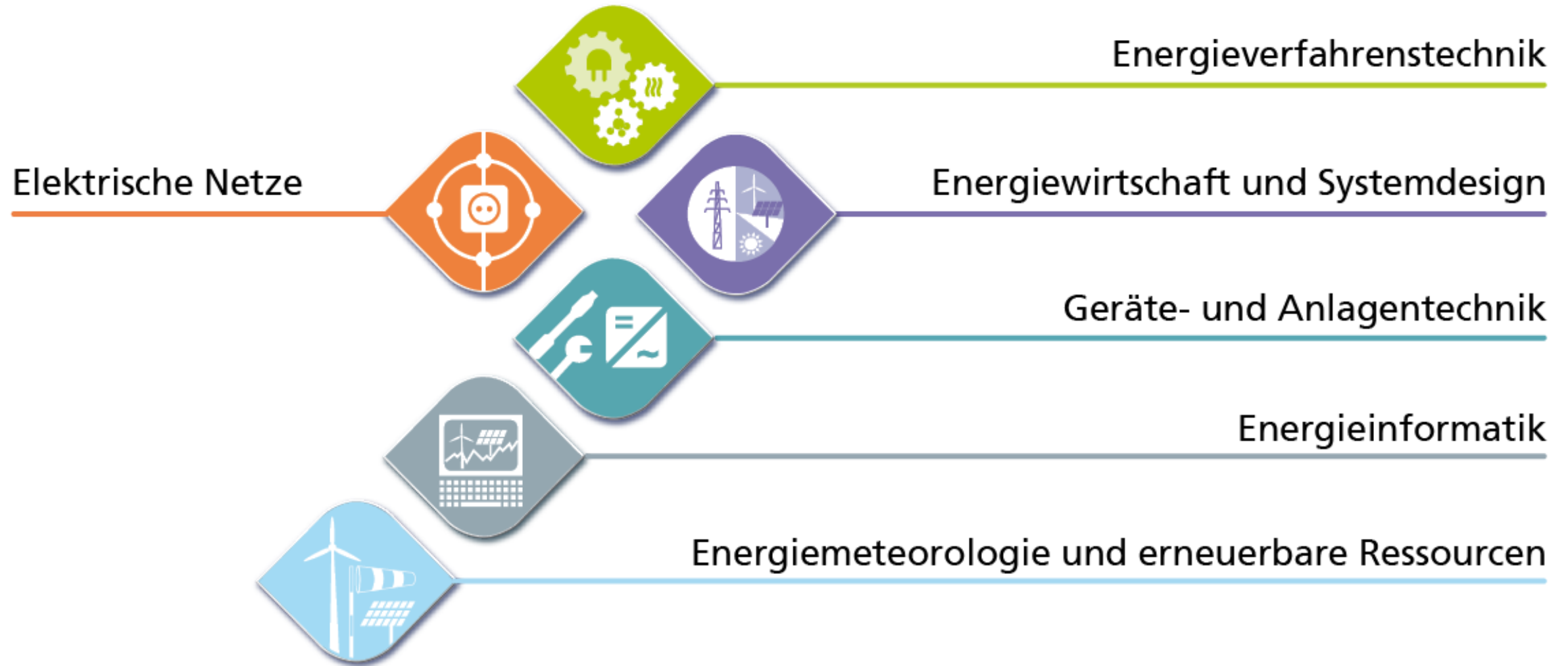
- Energiewirtschaftliche Analysen und Beratung
- Energiemeteorologische Informationssysteme
- Virtuelle Kraftwerke
- LiDAR-Windmessungen
- Weiterbildung und Wissenstransfer



ENERGIESYSTEMTECHNIK

- Netzplanung und Netzbetrieb
- Leistungselektronik und elektrische Antriebssysteme
- Hardware-in-the-Loop Systeme
- Dezentrales Energiemanagement
- Anlagentechnik
- Weiterbildung und Wissenstransfer

Kompetenzfelder



KOMPETENZFELD ELEKTRISCHE NETZE



Unsere zentrale Forschungsfrage:

Wie können wir das elektrische Energieversorgungssystem weiterentwickeln, um möglichst große Anteile erneuerbarer Energien zu integrieren?

Unsere Stärken

- Netzintegration erneuerbarer Energien
- Netzanalyse und Netzplanung
- Netzregelung und Netzführung
- Testzentrum für elektrische Netze
- Simulationswerkzeuge



Forschungsthemen

- Umfassende Untersuchungen zur Netzintegration von Erneuerbaren Energien und dezentralen Speichern in Verteilungsnetzen
- Erhöhung Netzaufnahmefähigkeit
- Netzstabilität
- Netzanschluss und Netzintegrationstests
- Intelligente Spannungs- und Blindleistungsregelung für alle Spannungsebenen
- Netzbildende/Netzstützende Regelungsverfahren
- Automatisierte Netzanalysen und Netzoptimierungen
- Testzentrum Intelligente Netze IEE SysTec
- Test- und Simulationsumgebung für Betriebsführungen

NETZWIEDERAUFBAU UNTER BERÜCKSICHTIGUNG ZUKÜNFTIGER KRAFTWERKSSTRUKTUREN – NETZ:KRAFT

Blitzlichter aus dem Projekt Netz:Kraft, Weitere Fallstudien und Demonstratoren zu Versorgungsinseln

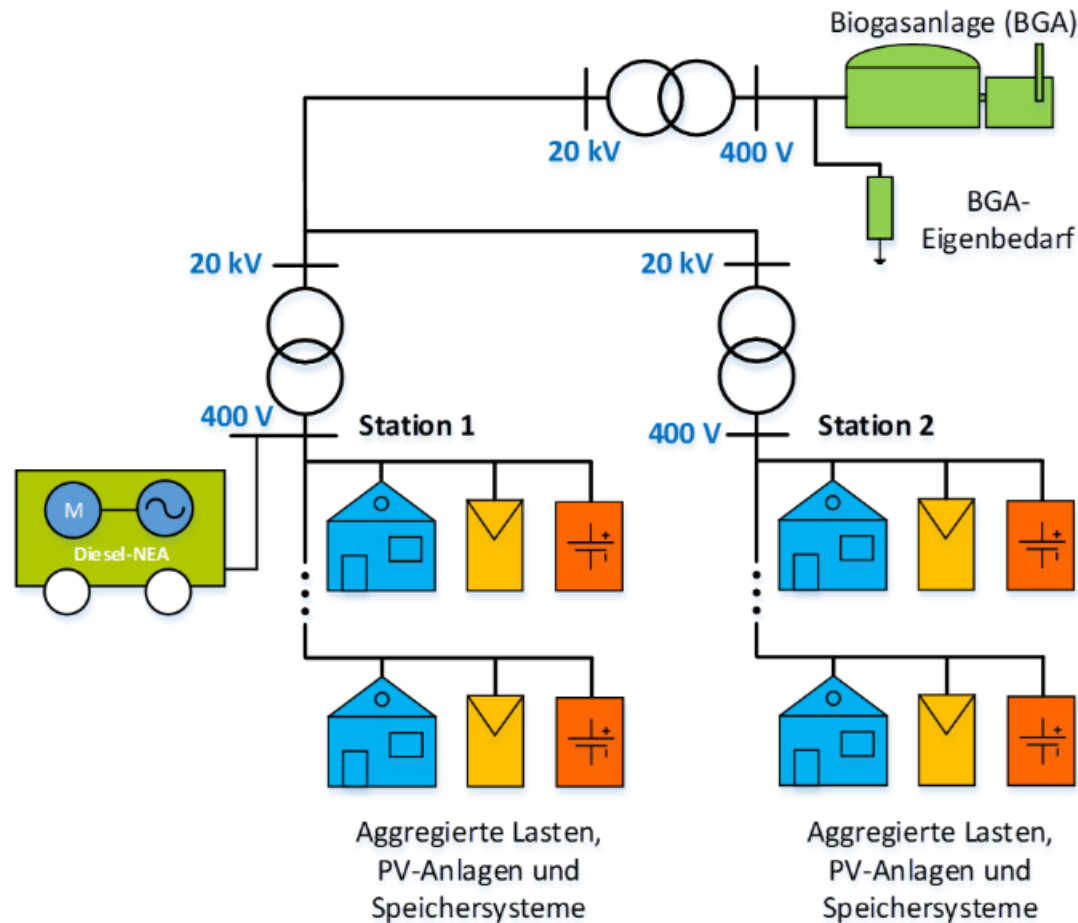


Wolfram Heckmann
Gruppenleiter Versorgungsqualität und Versorgungssicherheit
+49 (0)561 7294-126
wolfram.heckmann@iee.fraunhofer.de

Netz:Kraft – Mittelspannungsnetz mit Biogas, PV und Batterie-Speicher (1)



Aufbau der Mittelspannungsnetzinsel



- Schwarzstart eines Ortsnetzes mit Netzersatzanlage
- Ausweitung der Netzinsel in Richtung Biogasanlage
- Biogasanlage übernimmt die Führung der Netzinsel
- Parallelbetrieb beider Anlagen und Zuschaltung eines weiteren Ortsnetzes
- Trennung der Netzersatzanlage
- Weitere Ausweitung der Netzinsel
 - Nachfolgend dargestellt

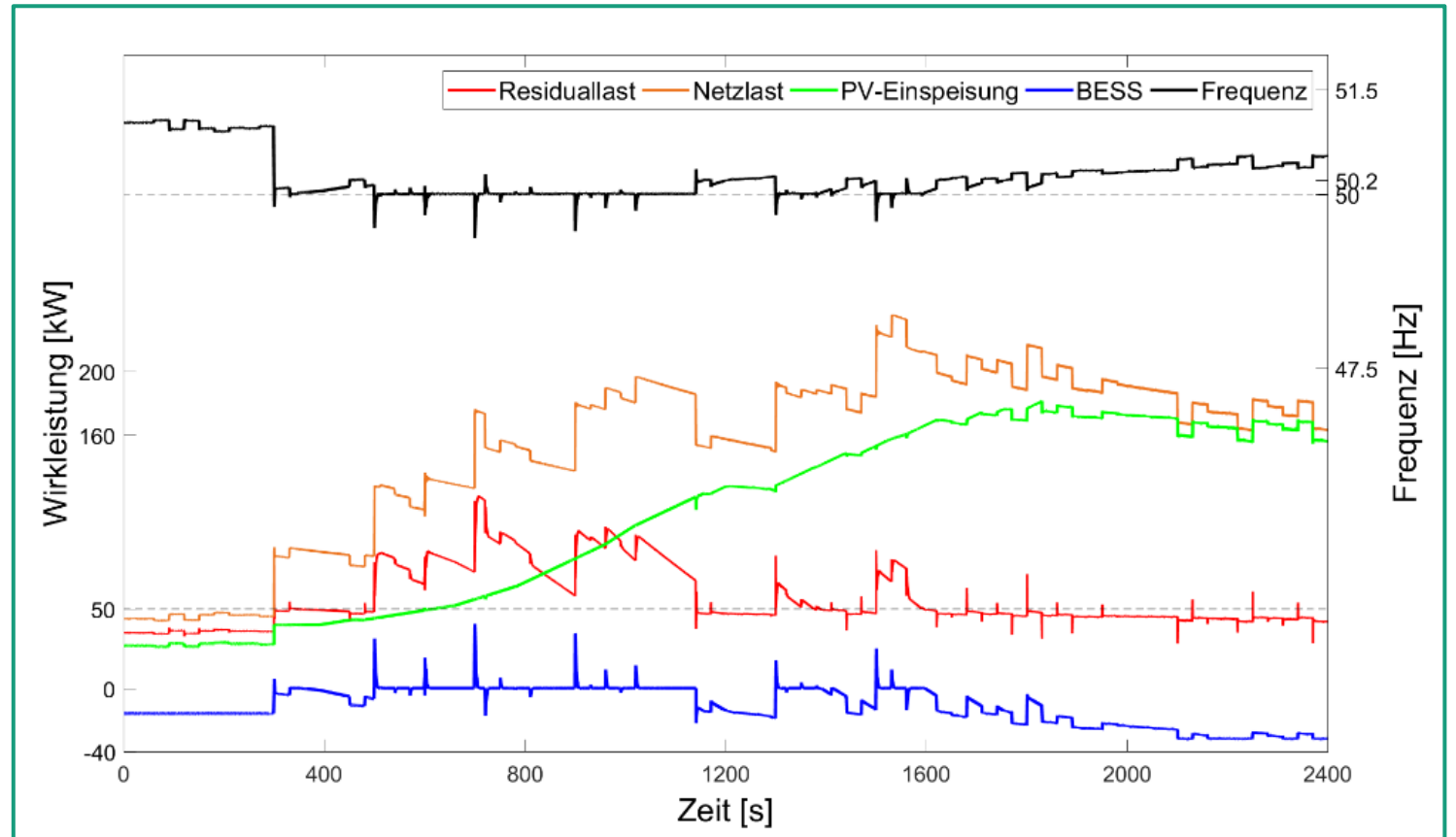
Quelle: D. Lafferte, A. Klingmann, D. Fetzer, G. Lammert, C. Hachmann, T. Paschedag, M. Braun, 2017

Netz:Kraft – Mittelspannungsnetz mit Biogas, PV und Batterie-Speicher (2)



Zeitlicher Verlauf von Leistung und Frequenz bei starker PV-Einspeisung

- Regelung der PV-Anlagen über Leistungs-Frequenz-Kennlinie
- Residuallast im Bereich der Mindestlast der Biogasanlage
- Frequenzerhöhung bewirkt Wirkleistungsreduktion der PV-Anlagen
- P(f)-Regelung der Speicher (Speicherung bei Überfrequenz)
- Bereitstellung von Primärregelleistung durch Batteriespeicher
- Sehr hoher Grad Verteilnetz-automatisierung notwendig



Quelle: D. Lafferte, A. Klingmann, D. Fetzer, G. Lammert, C. Hachmann, T. Paschedag, M. Braun, 2017

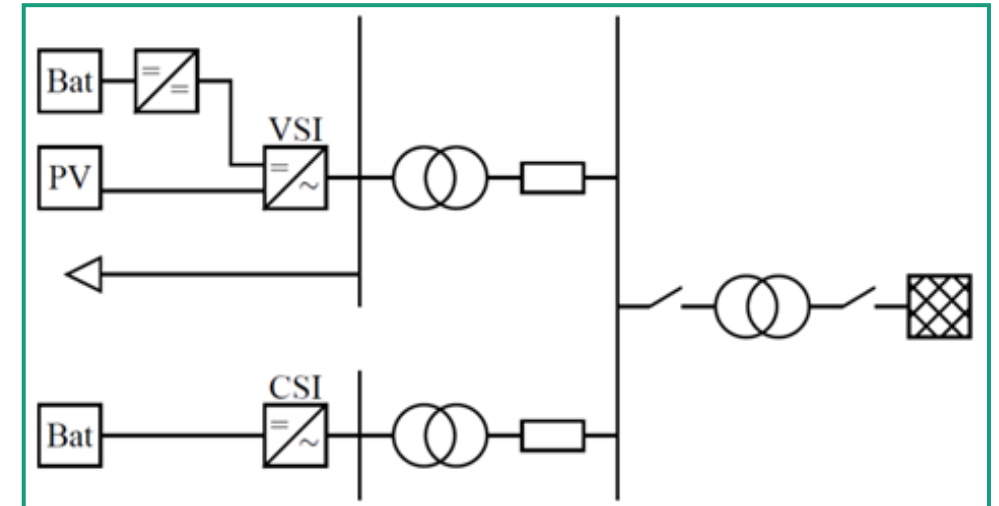
Netz:Kraft – Regelung Mikronetz mit zwei Batteriespeichern (1)



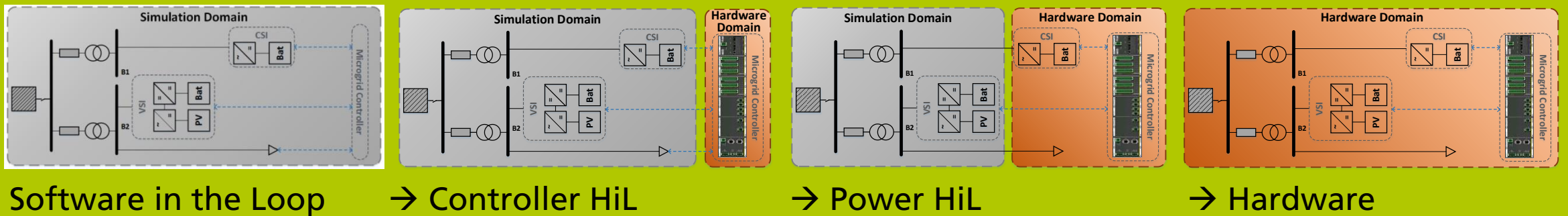
■ Demonstration Microgridcontroller

- zwei Niederspannungsnetze verbunden über eine Mittelspannungsleitung
- multifunktionaler PV-Batterie-Wechselrichter mit Ausgangsspannungs- und Frequenzregelung (Netzbildner, VSI)
- Steuerbare Last
- kommerziell verfügbarer Batterie-Wechselrichter (Stromquelle, CSI)

Schematische Darstellung des Labornetzes



Entwicklungsprozess



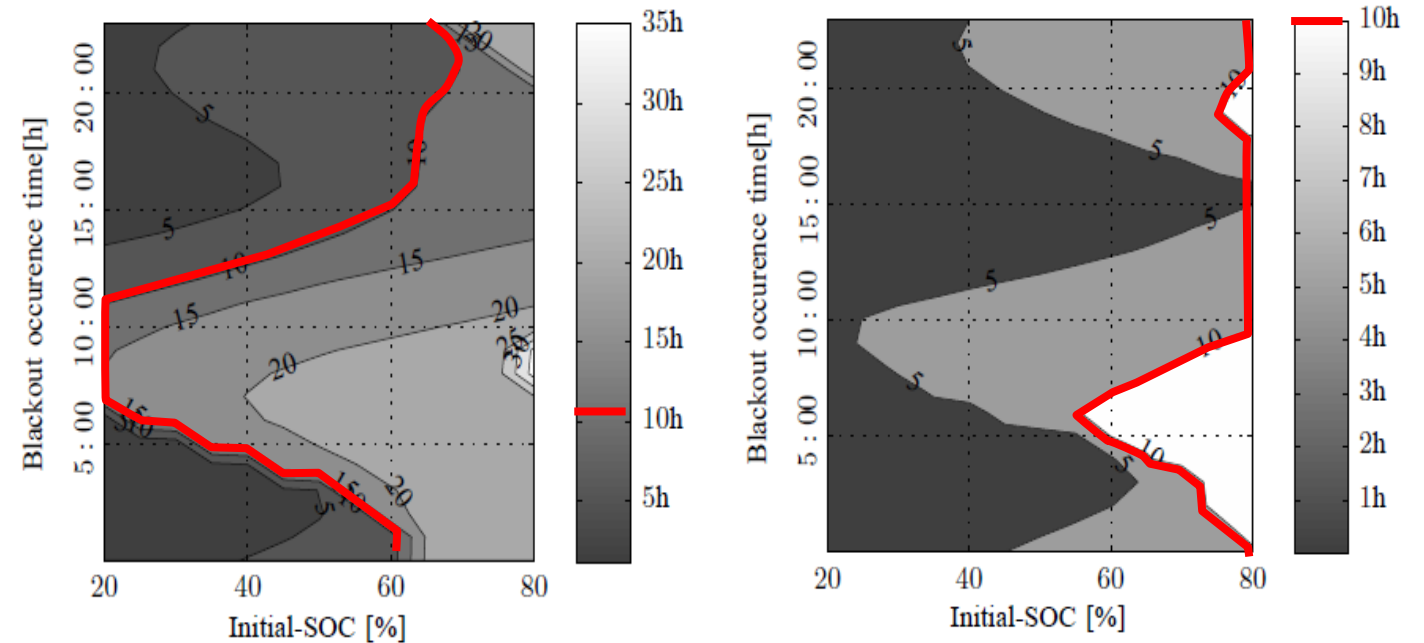
Quelle: M. Nuschke, 2017

Netz:Kraft – Regelung Mikronetz mit zwei Batteriespeichern (2)



■ Energiemanagement

- VSI als netzbildende Komponente wird durch den CSI entlastet
- nach Netzaufbau und Zuschaltung CSI, Versorgung der Lasten stärker aus CSI (Wahl der Statiken)
- Stabilitätsgrenzen müssen beachtet werden
- rote Linie stellt dabei eine Betriebsdauer von 10h dar
 - alle Kombinationen rechts von der roten Linie erfüllen diese Anforderung
- Last- und Erzeugungsprognosen zur Vorhaltung eines minimalen Ladezustands



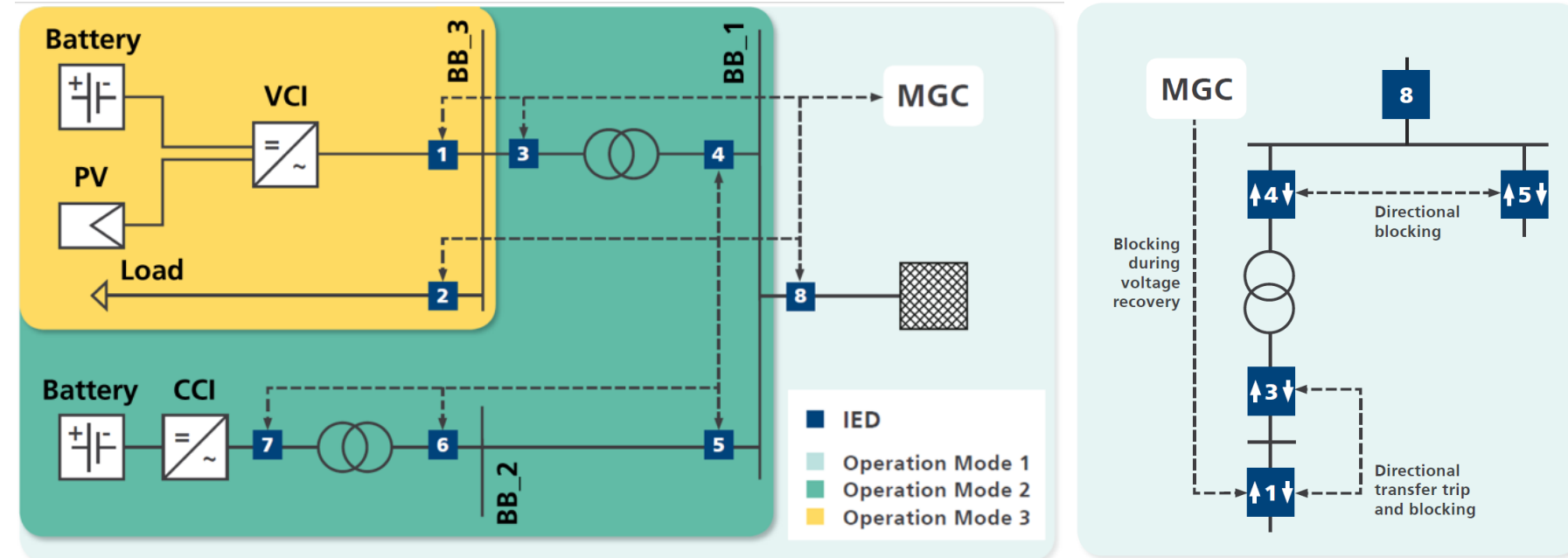
Maximale Betriebsdauer in Stunden im Inselbetrieb für verschiedene anfängliche Speicherladezustände der Batterie des CSI und verschiedene Schwarzfallzeiten für einen sonnigen (links) und einen wolkenigen Tag (rechts)

Netz:Kraft – Regelung Mikronetz mit zwei Batteriespeichern (3)



■ Netzschutz

- Schutzkonzept mit Überstromrelais
- adaptive Parameterumschaltung
- Richtungserkennung
- Signalaustausch



Testsystem mit Kommunikationssignalen zwischen Schutzrelais und Micro-Grid-Controller (MGC)

- zur adaptiven Parametergruppenumschaltung (links) und
- zusätzlich eingesetzte Verfahren mit Signalaustausch (rechts)

Quelle: M. Valov, M. Nuschke, 2018