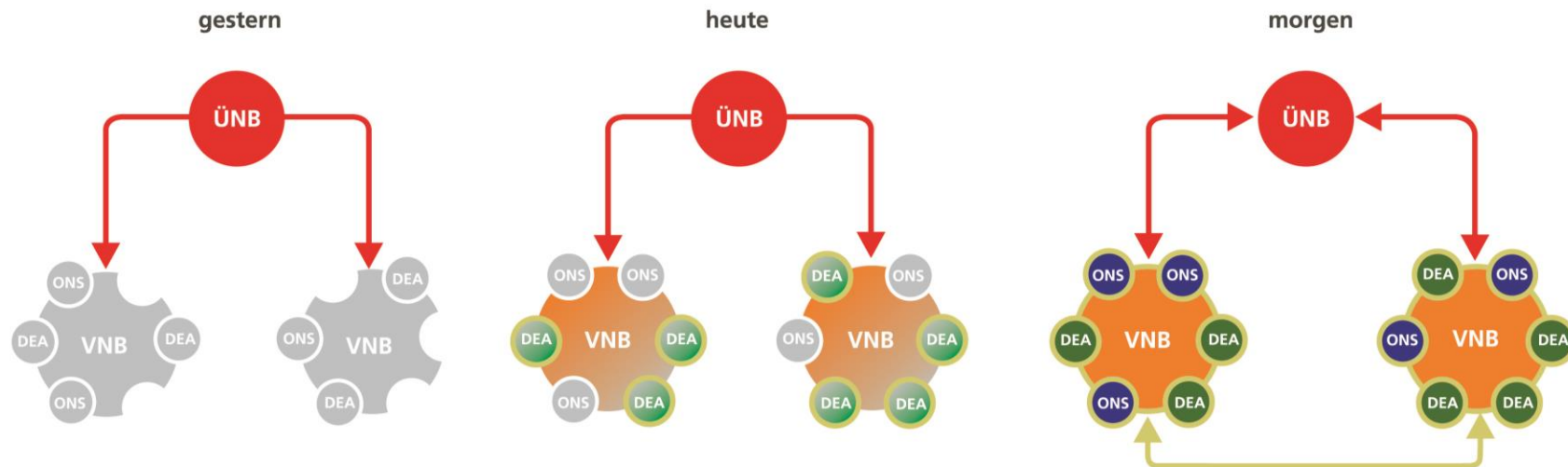


NETZWIEDERAUFBAU UNTER BERÜCKSICHTIGUNG ZUKÜNFTIGER KRAFTWERKSSTRUKTUREN - NETZ:KRAFT

Projektvorstellung und Blitzlichter Projektergebnisse



Wolfram Heckmann, Projektkoordination
Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE
2. Statusseminar „Zukunftsfähige Stromnetze“, Berlin, 21.11.2018

NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

- Projektstruktur
- Projekthintergrund
- Blitzlichter Projektergebnisse
 - Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Einsatz von HGÜ
 - Exemplarische Fallstudien
 - Labordemonstrationen
 - Weiterentwicklung Test- und Trainingsumgebungen
 - Vernetzung
- Weitere Fallstudien und Demonstrationen
 - Verhalten von Erneuerbare-Energie-Anlagen
 - Beiträge von Windkraftanlagen
 - Beiträge von PV-Anlagen
 - Demonstrationsvorhaben am Trainingssimulator und im Labor
 - Systemwiederaufbau
 - PV und Wind
 - Inselnetzbetrieb
 - Windinsel und Großstadt

NETZ:KRAFT – PROJEKTTEAM UND FÖRDERUNG



Projektpartner mit öffentlicher Förderung

Projektpartner ohne öffentliche Förderung

GEFÖRDERT DURCH



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

STROMNETZE

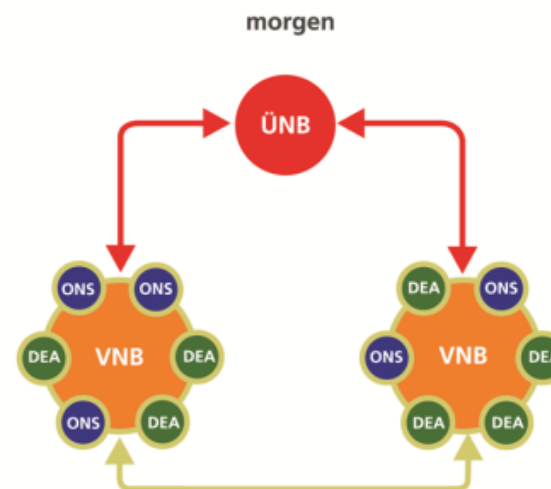
Forschungsinitiative der Bundesregierung

FKZ: 0325776



- Weiterentwicklung vorhandener Netzwiederaufbau-Konzepte unter Berücksichtigung des Verhaltens von Erneuerbare-Energie-Anlagen
- Möglichkeiten der Bildung von Versorgungseinseln im Verteilnetz zur Verkürzung von Ausfallzeiten

Netzwiederaufbau mit zukünftigen Kraftwerkskapazitäten



- Informationen zum Netzzustand
- Einbindung Windkraft und PV
- Zuschaltung „aktiver“ Verteilungsnetze
- Optimierte Netzwiederaufbaupfade
- Resynchronisierung
- Versorgungseinseln im Verteilungsnetz
- Verkürzte Ausfallzeiten
- Schwarzstartfähigkeit von EEA
- Prüf- und Qualifikationsverfahren

Netz:Kraft – Hintergrund Entwicklungsszenario Kraftwerke



Aufteilung der Erzeugungsarten in den Szenarien 25%-, 50%- und 80+%-Erneuerbare-Energien im Projekt NETZ:KRAFT

	25% EE-Szenario		50% EE-Szenario		80+% EE-Szenario	
Energieträger	Install. Leistung [GW]	Install. Leistung [%]	Install. Leistung [GW]	Install. Leistung [%]	Install. Leistung [GW]	Install. Leistung [%]
Steinkohle	25,3	13,8	18,4	7,2	0	0
Braunkohle	18,8	10,2	11,3	4,5	0	0
Kernenergie	12,1	6,6	0	0	0	0
Pumpspeicher	9	4,9	10,7	4,2	11	3,5
Großbatteriespeicher	0	0	0	0	13	4,1
Gaskraftwerke	23,8	12,9	37,5	14,8	45	14,1
Wind onshore	37,5	20,4	72	28,4	102	32,0
Wind offshore	0,5	0,3	25,3	10,0	43	13,5
Photovoltaik	37	20,1	59,5	23,4	82	25,8
Biomasse	7	3,8	9,2	3,6	12	3,8
Laufwasser	4,1	2,2	3,7	1,5	4	1,3
Speicherwasser	1,5	0,8	1,3	0,5	1,4	0,4
Sonstige Erzeuger	7,4	4,0	5	2,0	5	1,6
SUMME	184,0		253,9		318,4	

Quelle: Netz:Kraft Projektbericht

Netz:Kraft – Hintergrund Entwicklungsszenario Kraftwerke



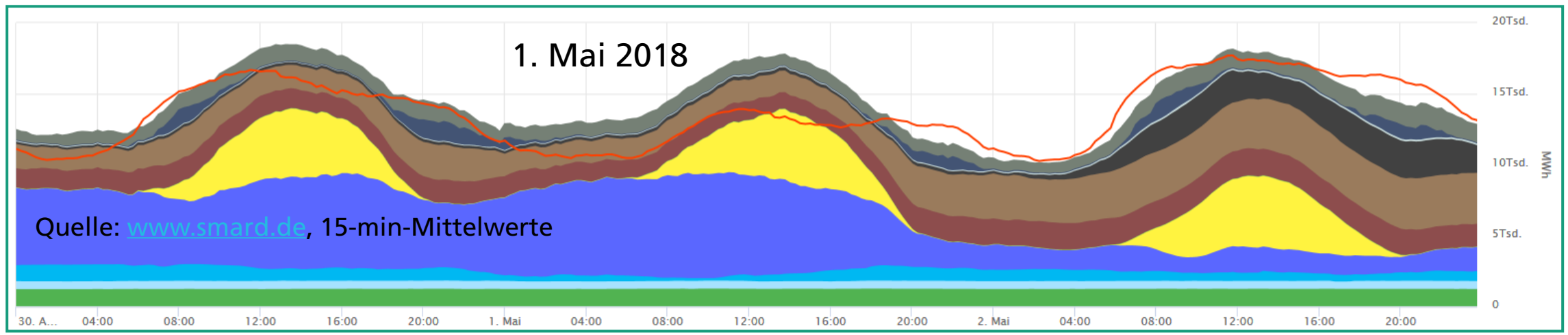
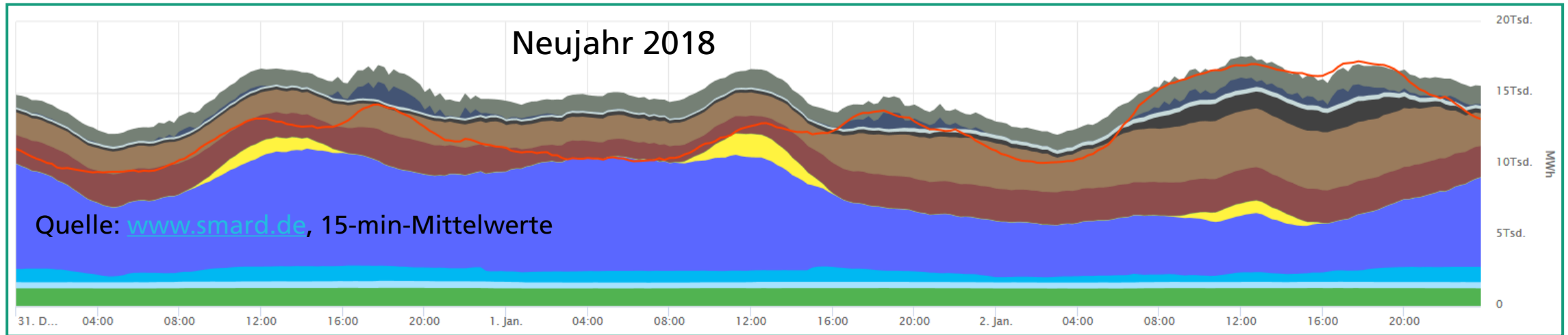
Aufteilung der Erzeugungsarten in den Szenarien 25%-, 50%- und 80+%-Erneuerbare-Energien im Projekt NETZ:KRAFT

	25% EE-Szenario		50% EE-Szenario		80+% EE-Szenario	
Energieträger	Install. Leistung [GW]	Install. Leistung [%]	Install. Leistung [GW]	Install. Leistung [%]	Install. Leistung [GW]	Install. Leistung [%]
Steinkohle	25,3	13,8	18,4	7,2	0	0
Braunkohle	18,8	10,2	11,3	4,5	0	0
Kernenergie	12,1	6,6	0	0	0	0
Pumpspeicher	9	4,9	10,7	4,2	11	3,5
Großbatteriespeicher	0	0	0	0	13	4,1
Gaskraftwerke	23,8	12,9	37,5	14,8	45	14,1
Wind onshore	37,5	20,4	72	28,4	102	32,0
Wind offshore	0,5	0,3	25,3	10,0	13	4,1
Photovoltaik	37	20,1	59,5	23,4	82	25,8
Biomasse	7	3,8	9,2	3,6	12	3,8
Laufwasser	4,1	2,2	3,7	1,5	4	1,3
Speicherwasser	1,5	0,8	1,3	0,5	1,4	0,4
Sonstige Erzeuger	7,4	4,0	5	2,0	5	1,6
SUMME	184,0		253,9		318,4	

zunehmender Anteil der Erzeugung in der Fläche

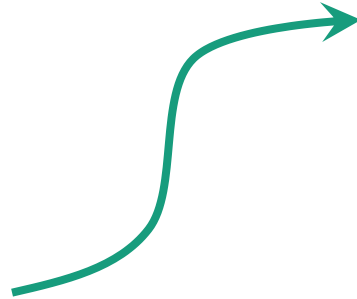
Quelle: Netz:Kraft Projektbericht

Netz:Kraft – Hintergrund Aktive Kraftwerke



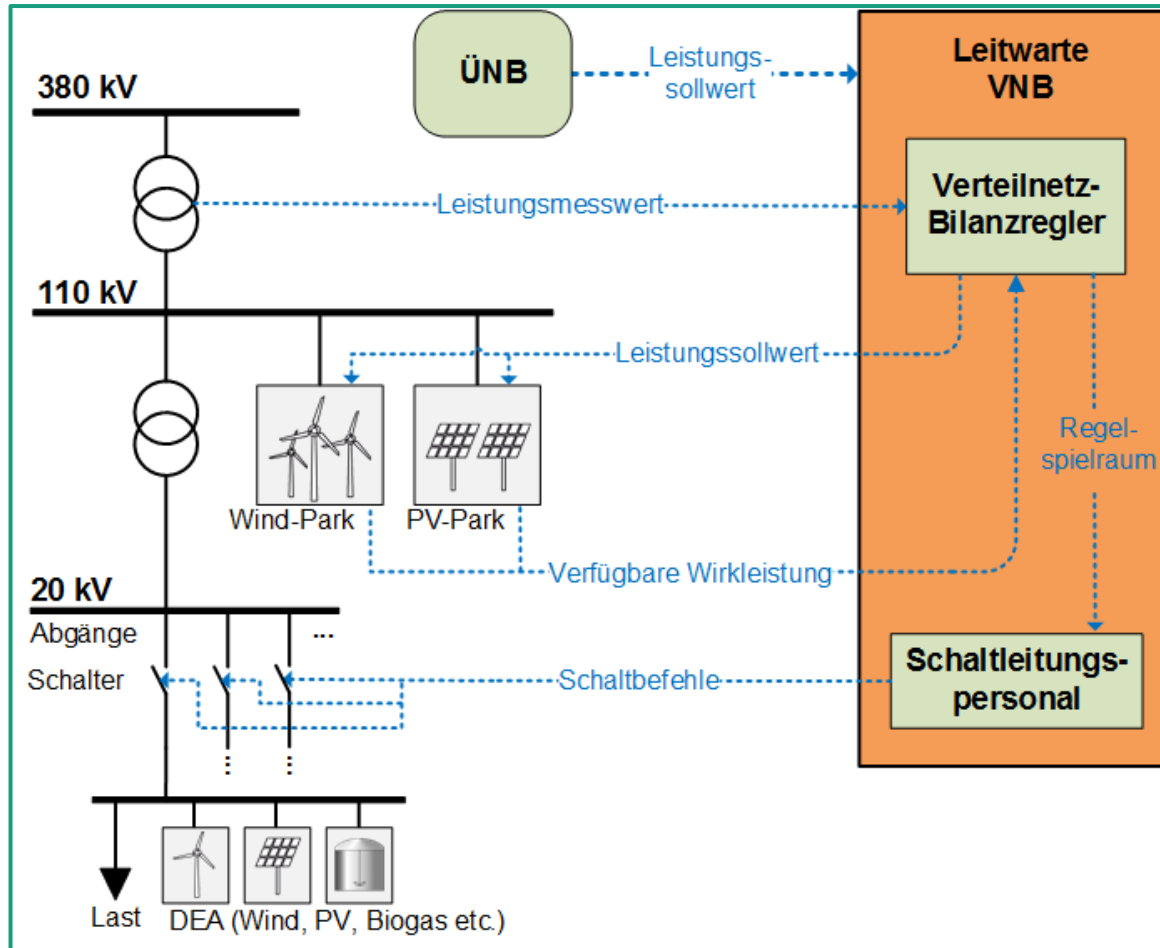
NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

- Projektstruktur
- Projekthintergrund
- Blitzlichter Projektergebnisse
 - Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Einsatz von HGÜ
 - Exemplarische Fallstudien
 - Labordemonstrationen
 - Weiterentwicklung Test- und Trainingsumgebungen
 - Vernetzung



- Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau (Übertragungsnetz)
 - Unterstützung einer Schwarzstarteinheit durch einen Windpark
 - Bereitstellung von Wirk- und Blindleistung durch Windparks aus dem Verteilnetz
 - **Verteilnetz-Bilanz-Regler**

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

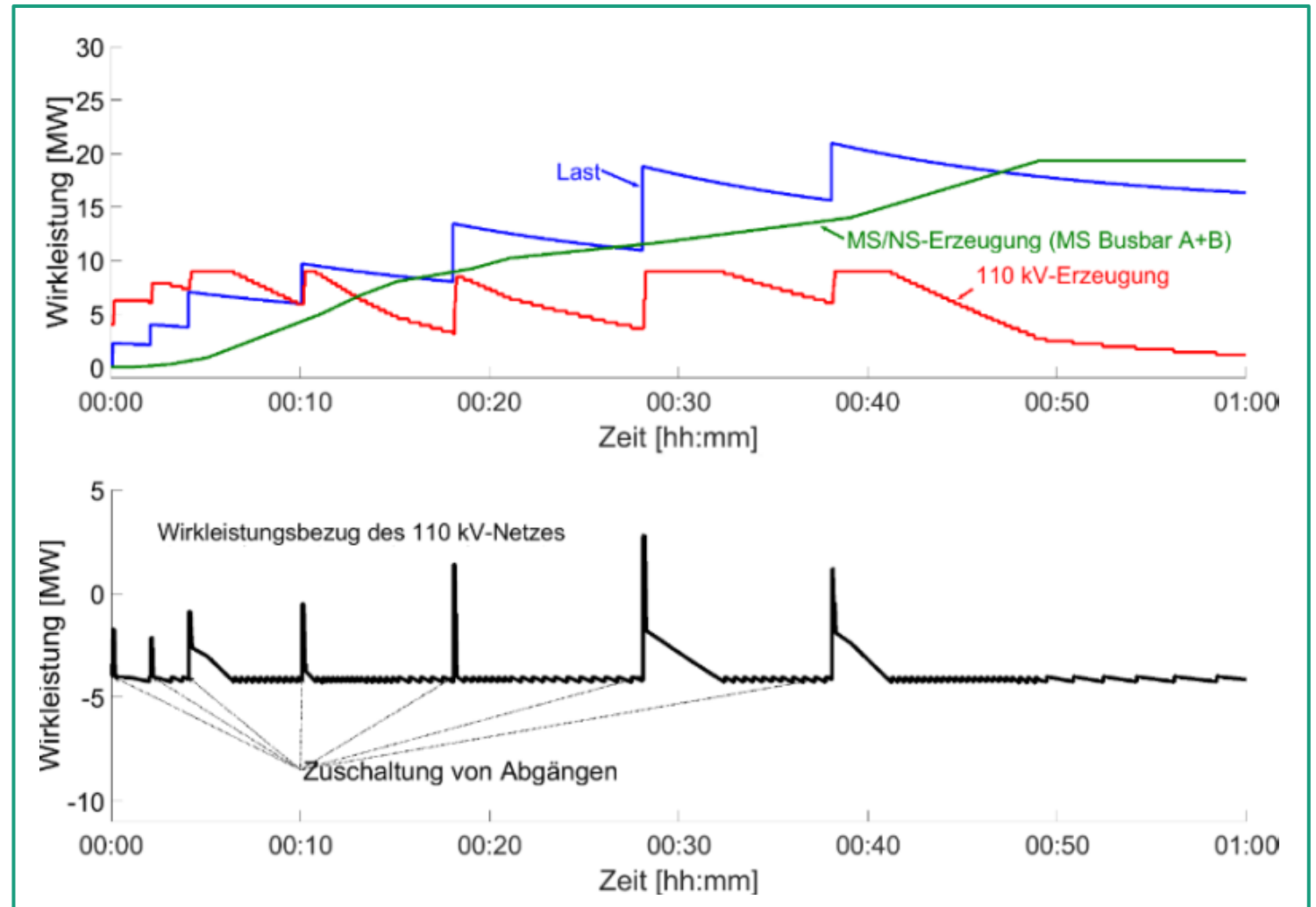
- Ausregelung von ungesteuerter Erzeugung und Lastschwankungen
- Einhaltung eines Sollwertes/ Leistungsbandes an der Koppelstelle ÜNB/VNB
 - Wirkleistungseinspeisung oder -aufnahme
 - (Blindleistung möglich)
- Wiederversorgung mit reduziertem Wirkleistungsbedarf aus Übertragungsnetz
- Notwendige Steuerbarkeit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

Netz:Kraft – Verteilnetz-Bilanz-Regler



Wirkleistungs-Zeitverlauf

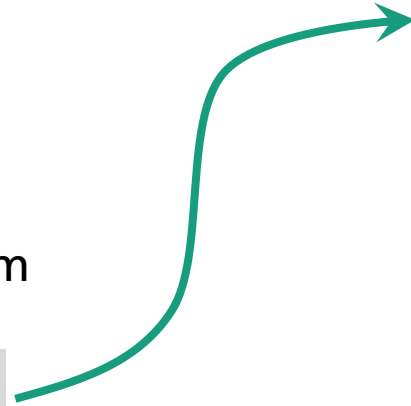
- Zuschalten von Mittelspannungsabgängen (blau)
- Ausregelung der ungesteuerten Erzeugung (grün)
- mit Wind-/PV-Parks in 110 kV (rot)
- Übergabeleistung (schwarz, Wirkleistungs-Sollwert beträgt -4 MW)



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

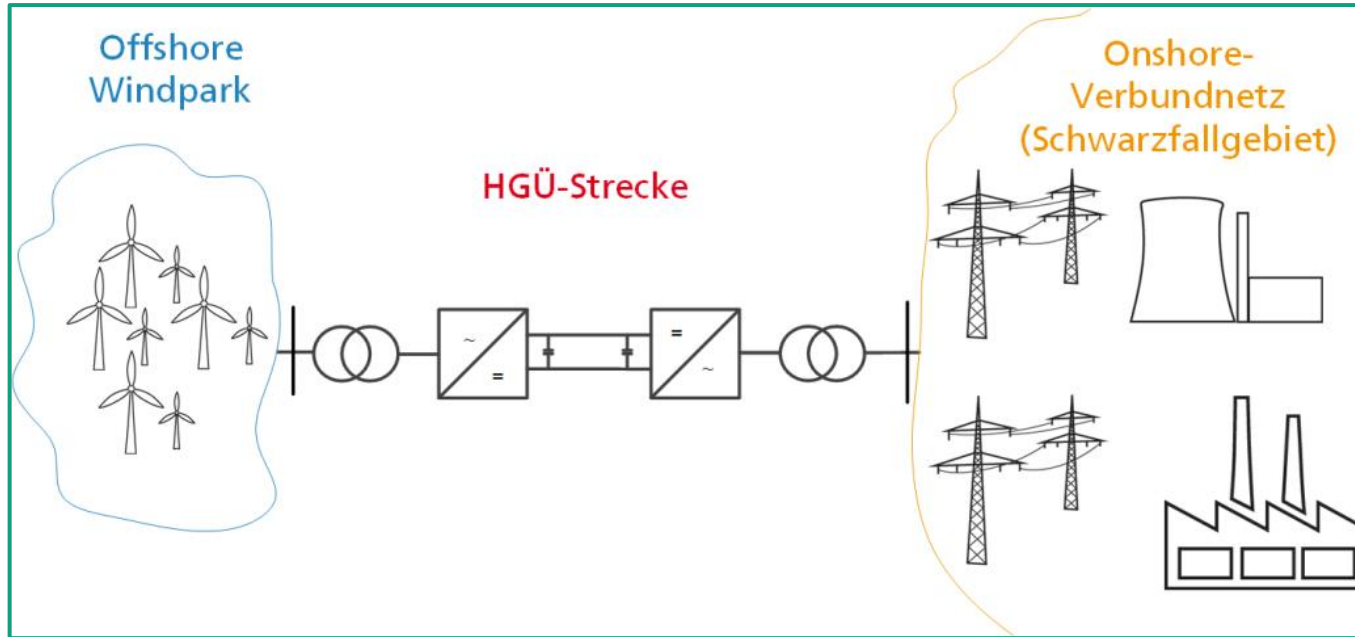
NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

- Projektstruktur
- Projekthintergrund
- Blitzlichter Projektergebnisse
 - Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Einsatz von HGÜ
 - Exemplarische Fallstudien
 - Labordemonstrationen
 - Weiterentwicklung Test- und Trainingsumgebungen
 - Vernetzung



- Unterstützung durch HGÜ-Anbindungen
 - Unterstützung des NWA aus asynchronen Netzen
 - Vergleich NWA mit AC-Verbindung oder HGÜ im Nordic Test System
 - Schnelle Frequenzstützung (FFR) mit HGÜ
 - Off-shore-Windpark als Schwarzstarteinheit

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



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

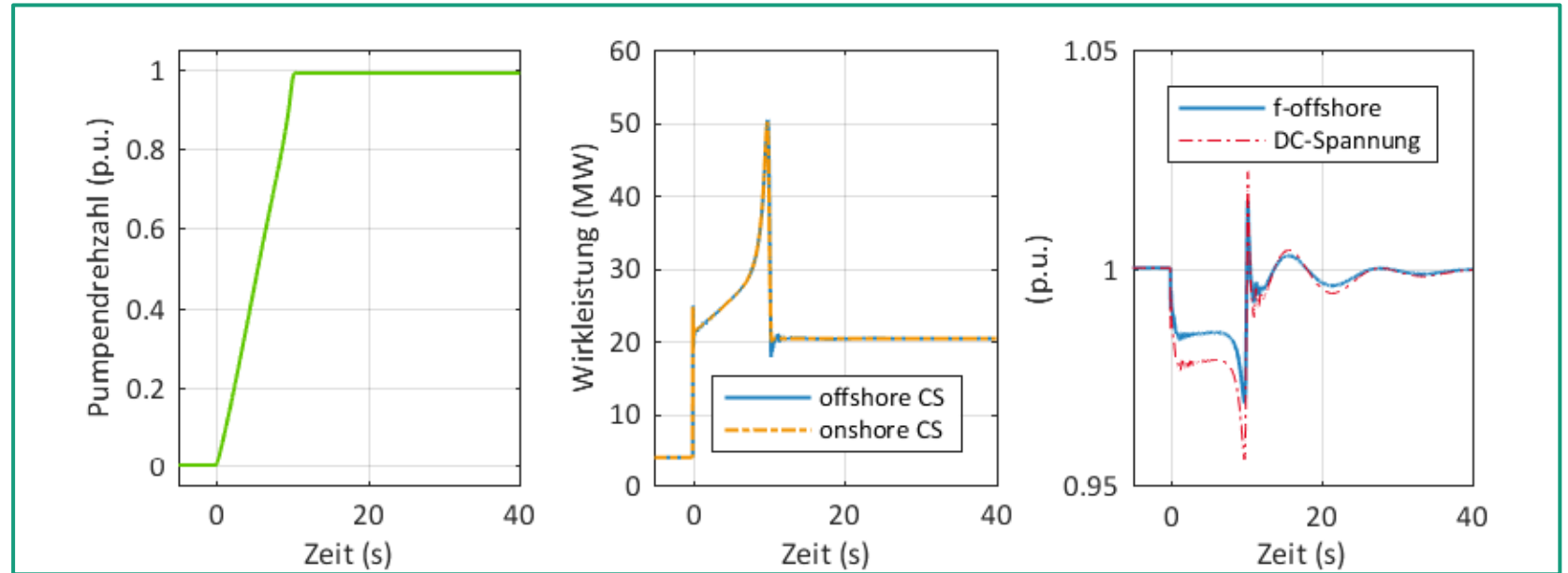
- Die Schwarzstartfähigkeit der HGÜ-Strecke ist Voraussetzung und Stand der Technik.
- Bei beiden Konverterstationen muss ein netzbildender Betrieb möglich sein.
- Landseitige Laständerungen werden zunächst aus dem DC-Zwischenkreis ausgeglichen.
- DC-Spannungshaltung über seeseitigen Umrichter mit indirekter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

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

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



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



- Leistung der Off-shore-Konverterstation (CS) folgt on-shore CS nahezu unverzüglich
 - 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: H. Becker, A. Naranovich, T. Hennig, A. Akbulut, D. Mende, S. Stock, L. Hofmann, 2017

NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

- Projektstruktur
- Projekthintergrund
- Blitzlichter Projektergebnisse
 - Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Einsatz von HGÜ
 - Exemplarische Fallstudien
 - Labordemonstrationen
 - Weiterentwicklung Test- und Trainingsumgebungen
 - Vernetzung

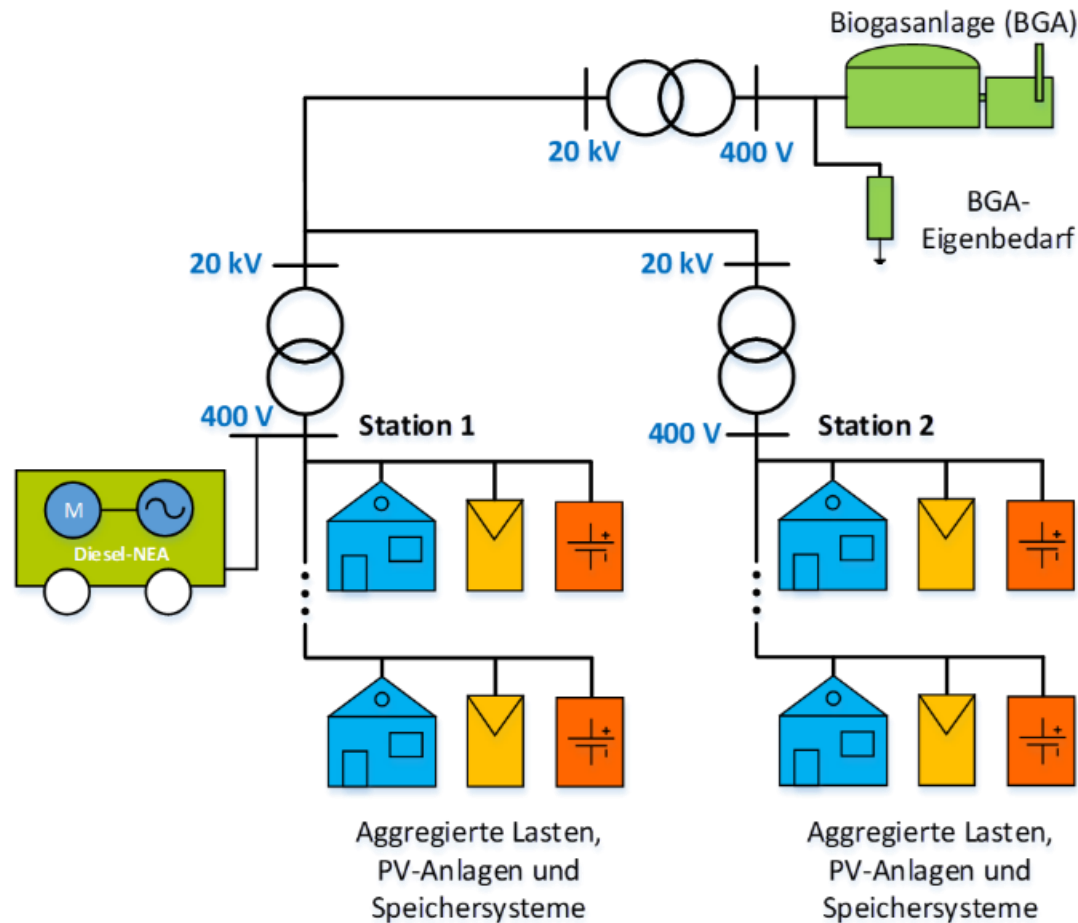


- Fallstudien Versorgungsinseln
 - Hochspannungsnetz mit Wind
 - Inselnetz Großstadt
 - **Mittelspannungsnetz mit Biogas, PV und Batterie-Speicher**
 - Landwirtschaftliches Arealnetz mit Biogas
 - Mikronetz mit zwei Batteriespeichern
 - Ortsnetz mit Netzersatzanlage (NEA) und PV
 - Ortsnetz mit NEA, PV und Batterie

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

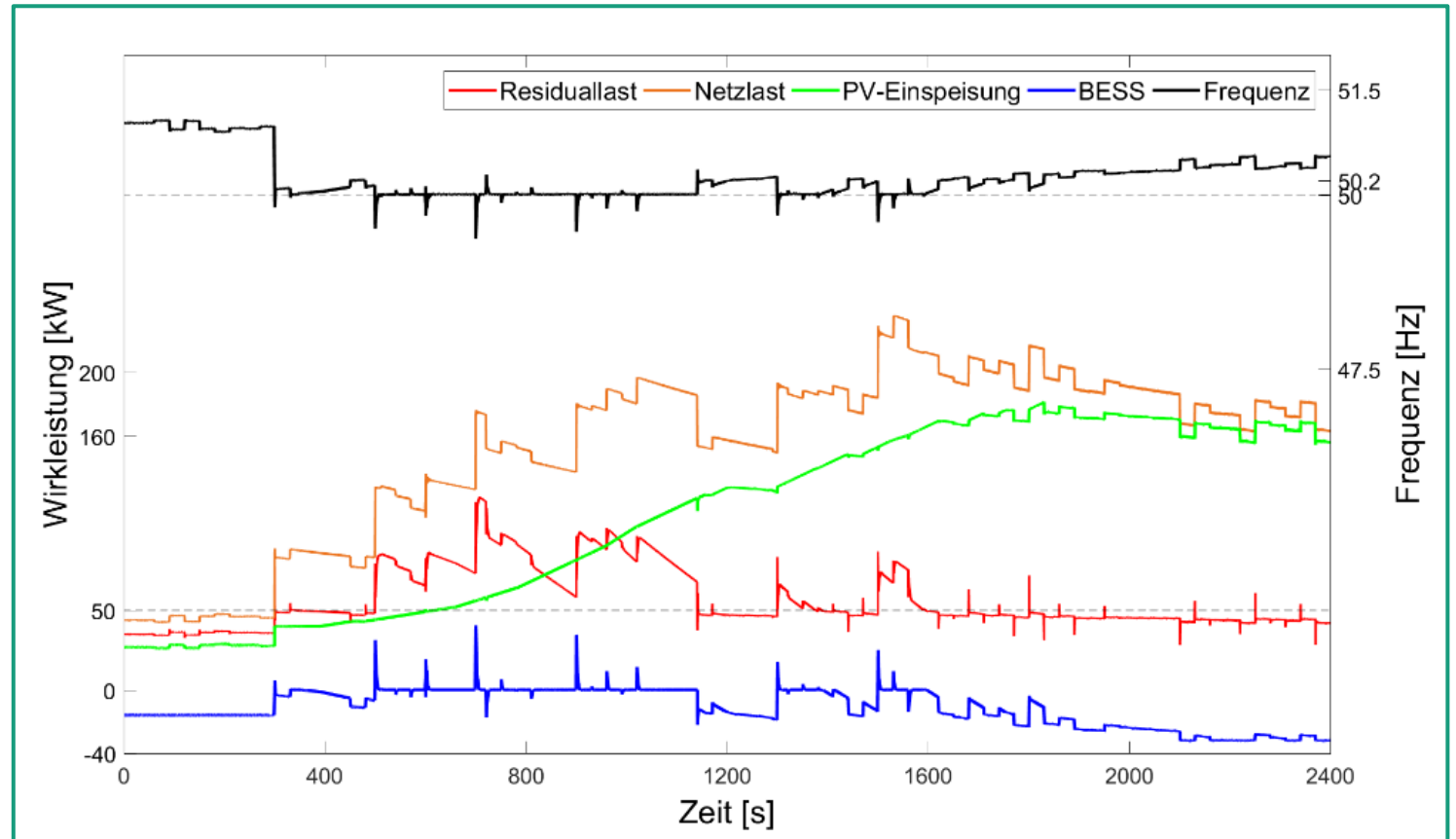
Quelle: D. Lafferte, A. Klingmann, D. Fetzer, G. Lammert, C. Hachmann, T. Paschedag, M. Braun, 2017

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 - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

- Projektstruktur
- Projekthintergrund
- Blitzlichter Projektergebnisse
 - Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Einsatz von HGÜ
 - Exemplarische Fallstudien
 - Labordemonstrationen
 - Weiterentwicklung Test- und Trainingsumgebungen
 - Vernetzung



- Labordemonstrationen
 - Windinsel
 - Landwirtschaftliches Arealnetz mit Biogas
 - Mikronetz mit zwei Batteriespeichern

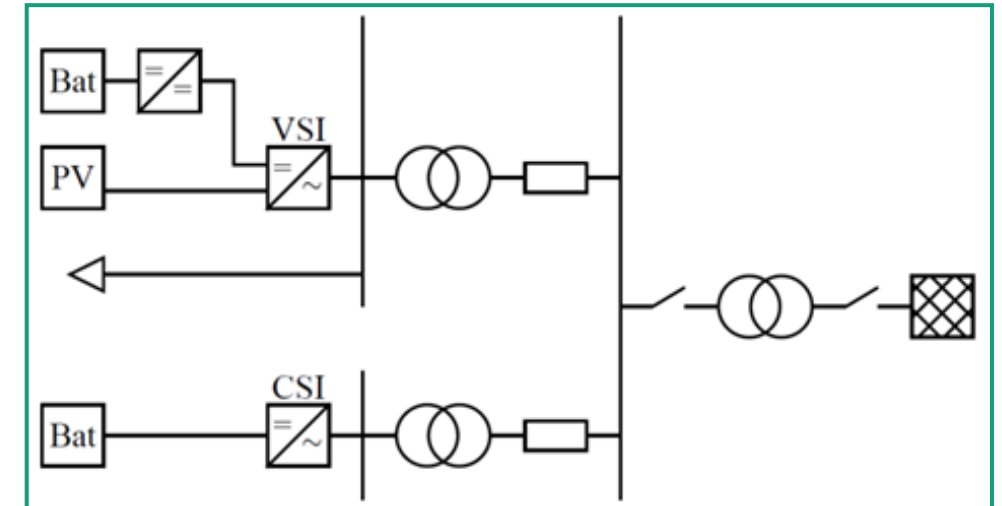
Netz:Kraft – Regelung Mikronetz mit zwei Batteriespeichern



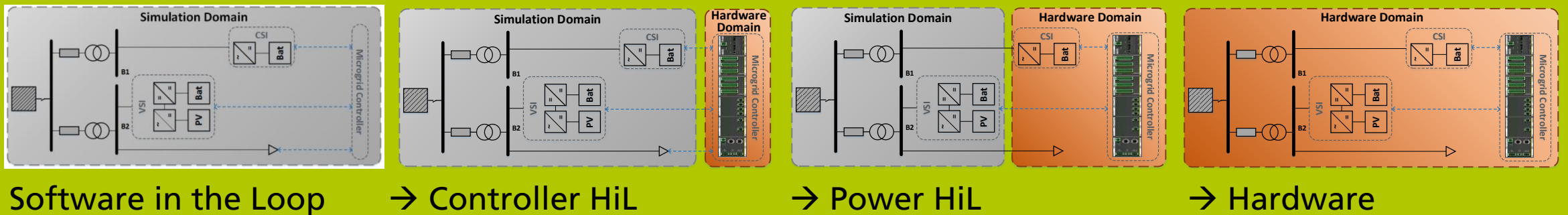
■ Demonstration Microgridcontroller

- 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



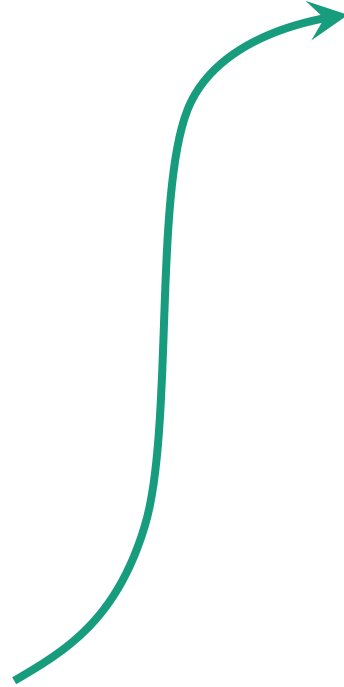
Entwicklungsprozess



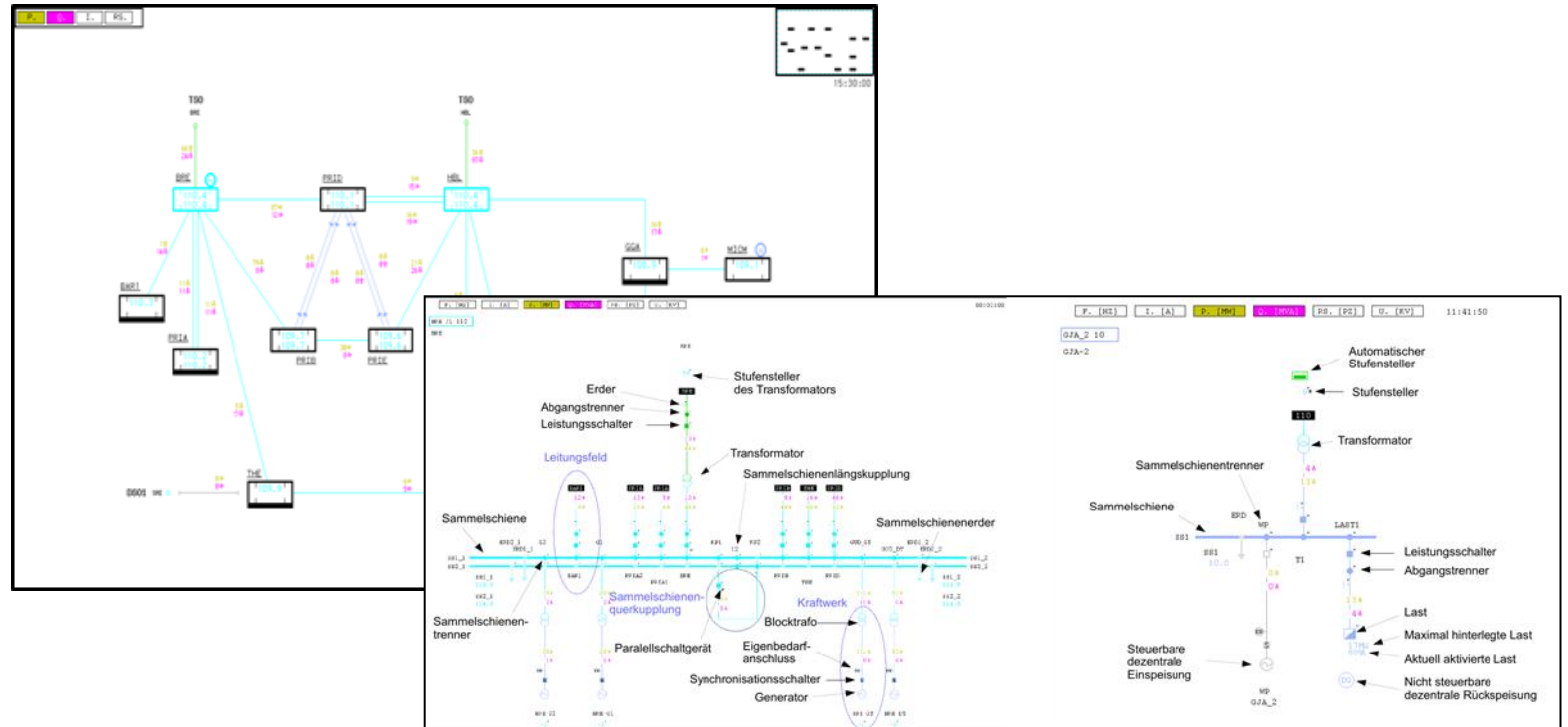
Quelle: M. Nuschke, 2017

NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

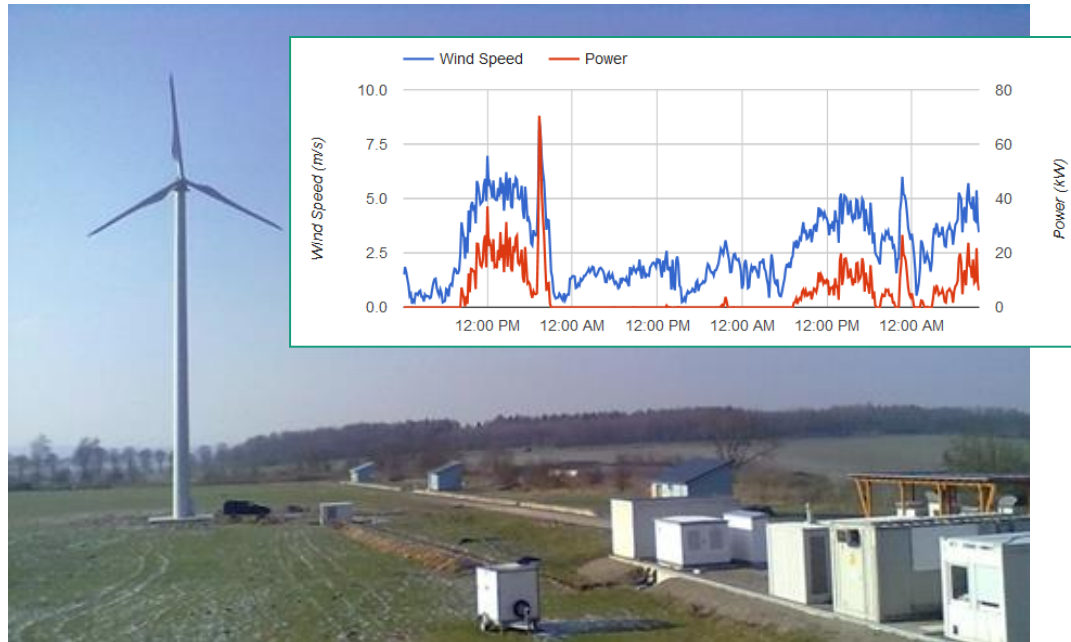
- Projektstruktur
- Projekthintergrund
- Blitzlichter Projektergebnisse
 - Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Einsatz von HGÜ
 - Exemplarische Fallstudien
 - Labordemonstrationen
 - Weiterentwicklung Test- und Trainingsumgebungen
 - Vernetzung



- Weiterentwicklung Test- und Trainingsumgebungen
 - Referenznetz (im bestehenden Trainingssimulator)
 - Weiterentwicklung Abbildung der DEA im Trainingssimulator
 - Einbindung WEA im Testzentrum SysTec
 - Einbindung inselnetzfähiges BHKW am Hessischen Biogas-Forschungszentrum
 - Versuchsstand zur Analyse von Schutzsystemen
 - Echtzeitsimulation Windparkregelung



Quelle: U. Spänel (Schlussbericht Entwurf)



Einbindung Windanlage in Hybrid-System im Testzentrum SysTec, Fuldatal-Rothwesten

Quelle: Wolfram Heckmann, Fraunhofer IEE



Einbindung inselnetzfähiges BHKW im hessischen Biogas-Forschungszentrum, Bad Hersfeld-Eichhof

Quelle: Daniel Hau, Fraunhofer IEE

NETZ:KRAFT - PROJEKTVORSTELLUNG UND BLITZLICHTER PROJEKTERGEBNISSE

- Projektstruktur
- Projekthintergrund
- Blitzlichter Projektergebnisse
 - Nutzung Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau
 - Einsatz von HGÜ
 - Exemplarische Fallstudien
 - Labordemonstrationen
 - Weiterentwicklung Test- und Trainingsumgebungen
 - Vernetzung



- Vernetzung
 - Workshops
 - IEEE Task Force Power System Restoration with Renewable Energy Sources
 - IEA ISGAN-SIRFN Power System Testing/ Microgrids www.sirfn.net
 - DERlab www.der-lab.net



09.06.2016 in Kassel (Energienetz Mitte)



22.06.2017 in Dresden (DREWAG NETZ)

Quelle: Manuela Wunderlich, DERlab



Referenzen

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

H. Becker, A. Naranovich, T. Hennig, A. Akbulut, D. Mende, S. Stock, L. Hofmann, 2017, „System Restoration using VSC-HVDC connected Offshore Wind Power Plant as Black-Start Unit“, Conference Proceedings of IEEE EPE'17 ECCE Europe, Warsaw, ISBN 9789 0758 1526 9

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

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