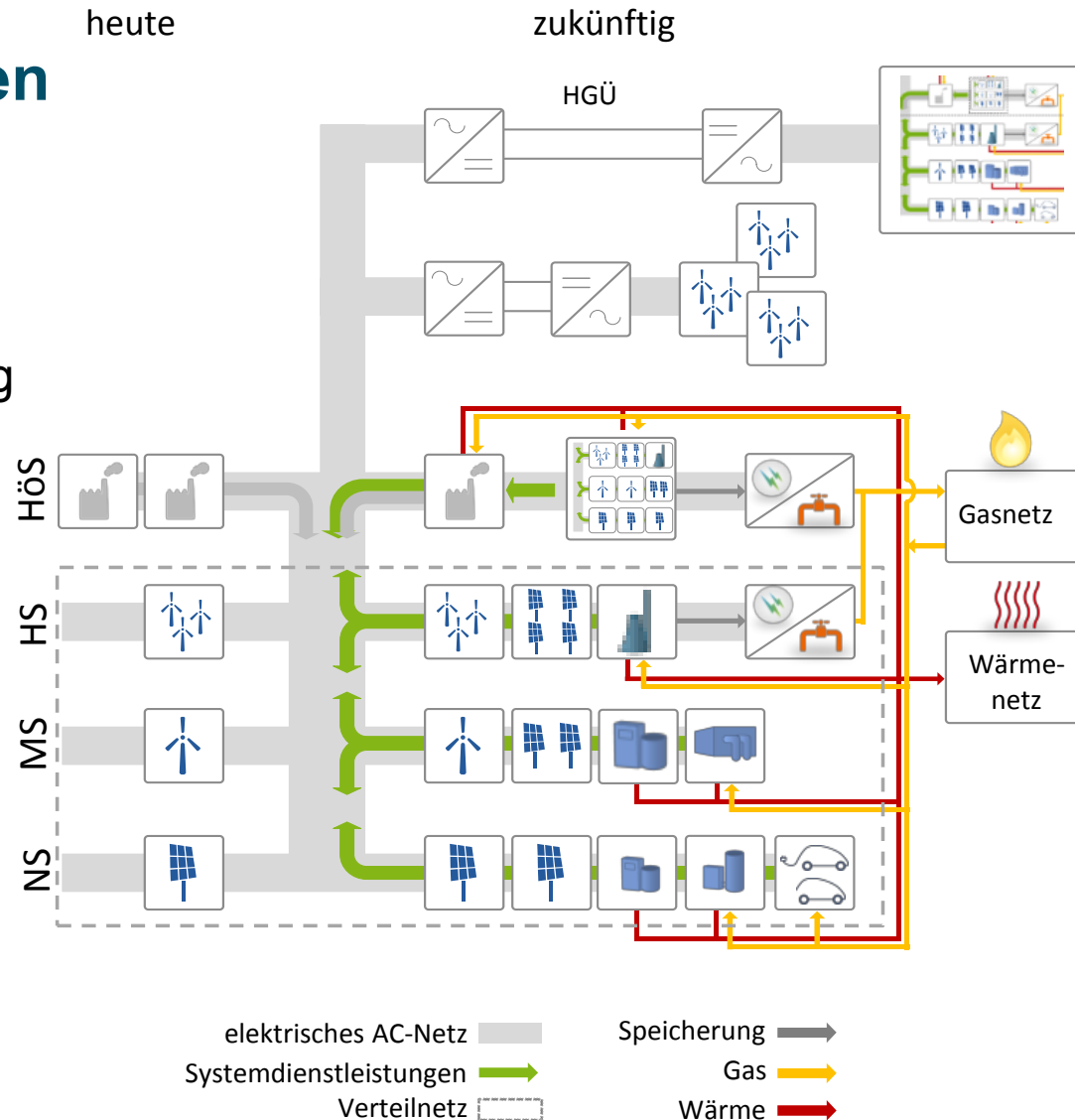




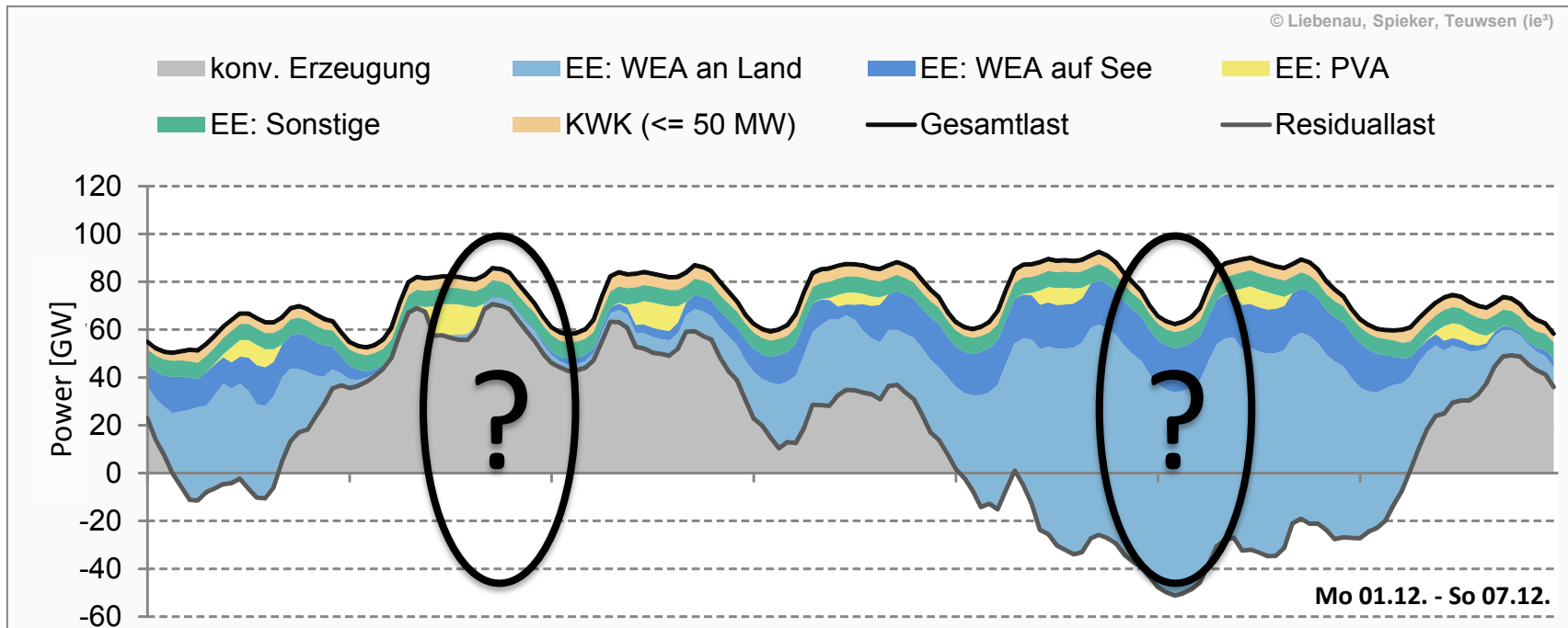
MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN VON KLEINANLAGEN UND ERNEUERBARE ENERGIEN-ANLAGEN ALS ERBRINGER VON SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN

Systemdienstleistungen

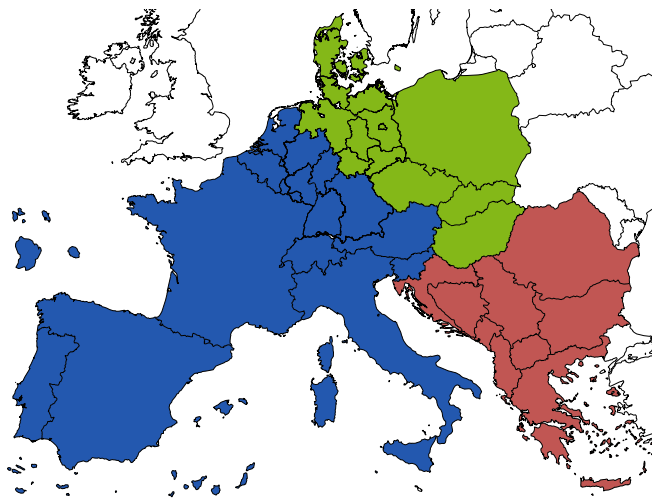
- Frequenzhaltung
 - Momentanreserve
 - Regelleistungserbringung
- Spannungshaltung
 - Blindleistung
 - Kurzschlussleistung
- Betriebsführung
- Netzwiederaufbau
 - Schwarzstart
 - Inselnetzbetrieb



Eine typische Woche im Jahr 2035 in D

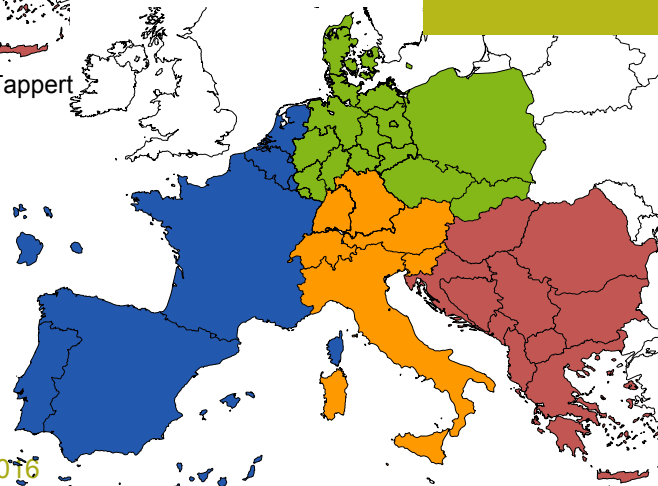


System-Split-Situationen



©Lutum+Tappert

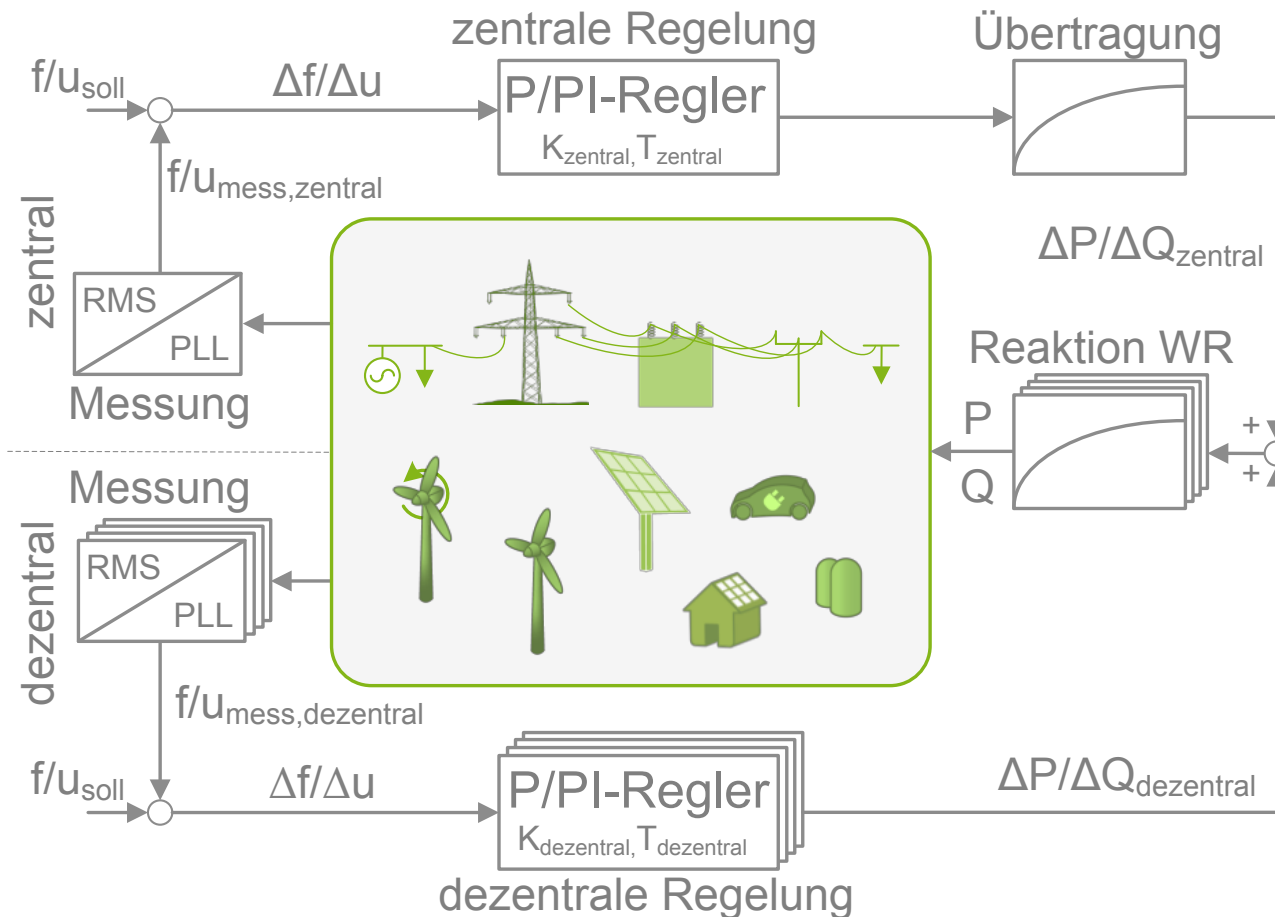
- Split-Szenarien für Export-Import-Situationen
- ▶ Export aus EE-Überschussgebieten >> 3000 MW des Auslegungsfalls



©Lutum+Tappert

Quelle: dena Momentanreserve

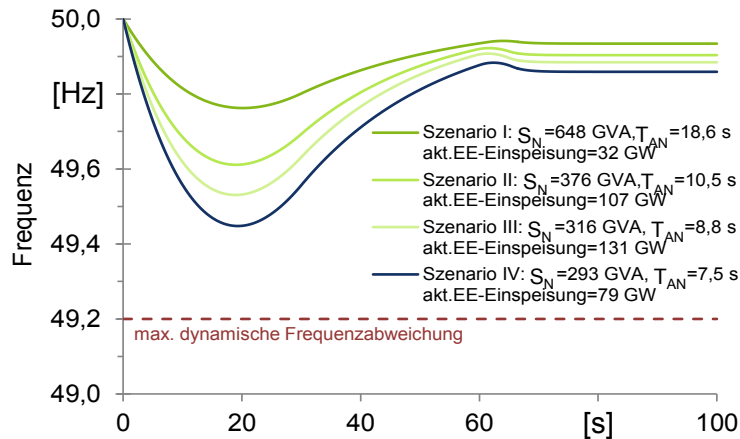
Schematische Darstellung Netzregelungskonzepte



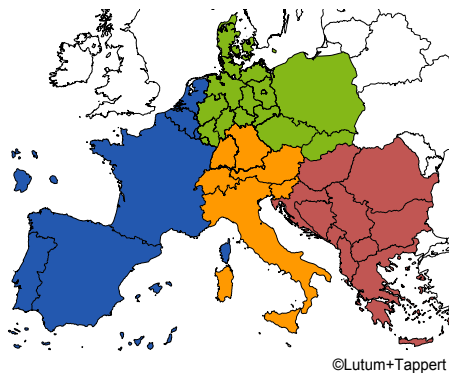
Frequenzhaltung

MOMENTANRESERVE

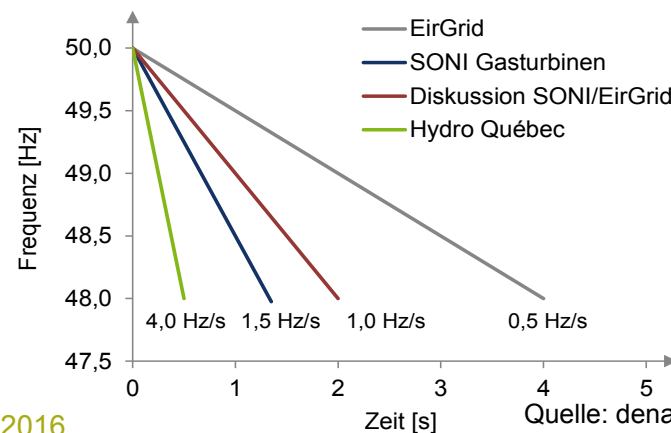
Momentanreserve



Quelle: dena Systemdienstleistung Zeit



- Momentanreserve in ENTSO-E im Normalfall ausreichend
 - Im System-Split Fall nicht ausreichend
 - Anfangsgradient entscheidend für Erbringungsalternativen
- ▶ Ausarbeitung technischer Details und Schaffung von Rahmenbedingungen zur Erbringung

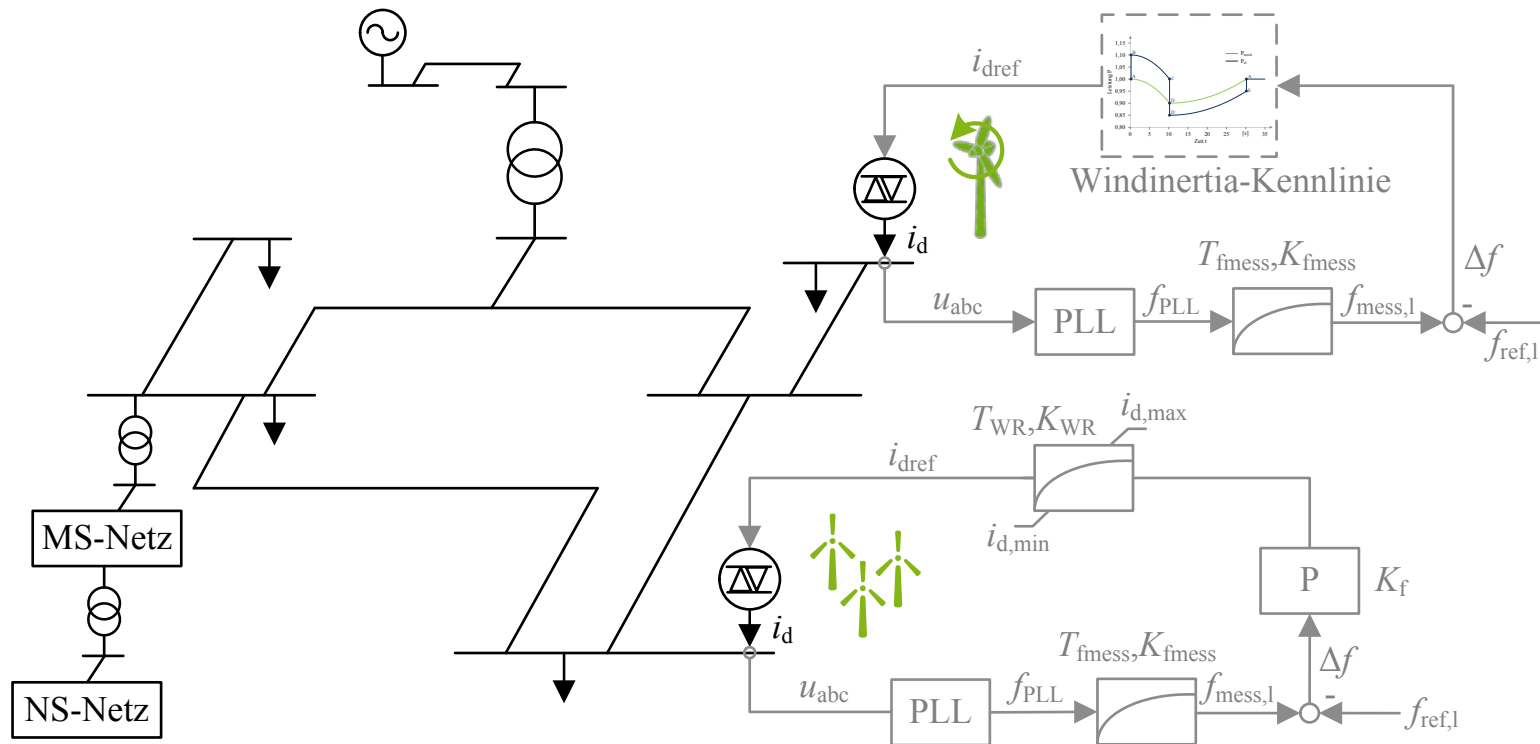


Quelle: dena Momentanreserve

Maßnahmen für Momentanreserveerbringung

- Direkt gekoppelte Anlagen
 - Rotierende Phasenschieber
 - KW-Redispatch
 - Indirekt (leistungselektronisch) gekoppelte Anlagen
 - Speicher
 - Schnelle Leistungsänderung aus WEA und PVA (Androsselung)
 - Synthetische Schwungmasse aus WEA
 - Änderung der DEA-Statik (Überfrequenzabregelung)
- Reine leistungsel. Systeme bei Inselnetzen und räumlich begrenzten Bahnstromsys. Stand der Technik
 - ▶ Übertragung der stromgeführten Umrichter von Inselsystemen auf das Verbundsystem bedarf der Forschung
 - ▶ Frage der Stabilität einer schnellen, verteilten Regelung

Dezentrale Frequenzregelung auf den jeweiligen Netzverknüpfungspunkt der dez. Anlagen

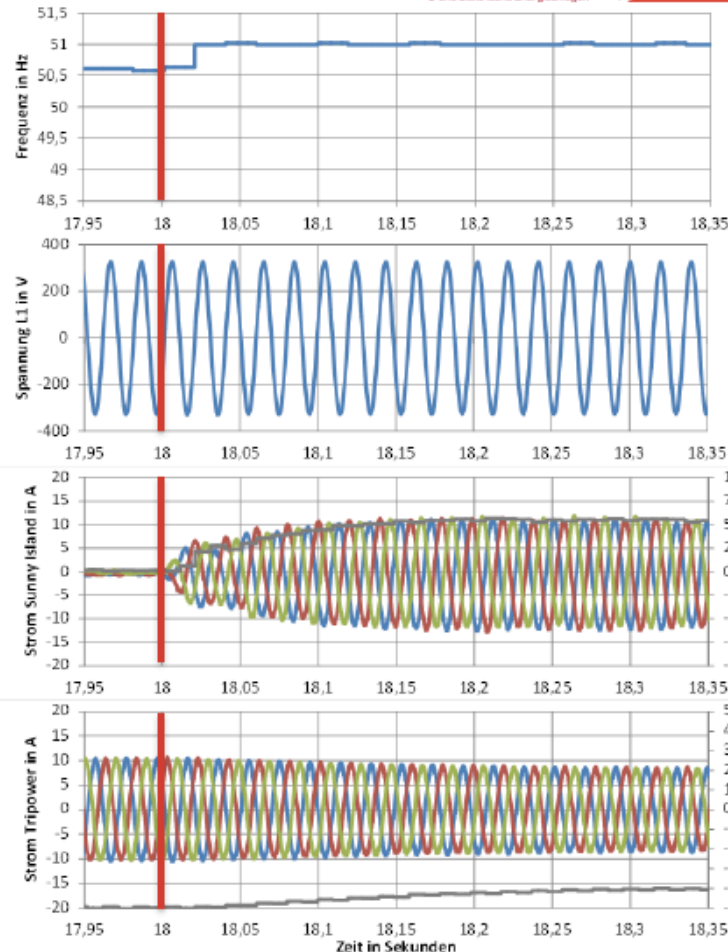
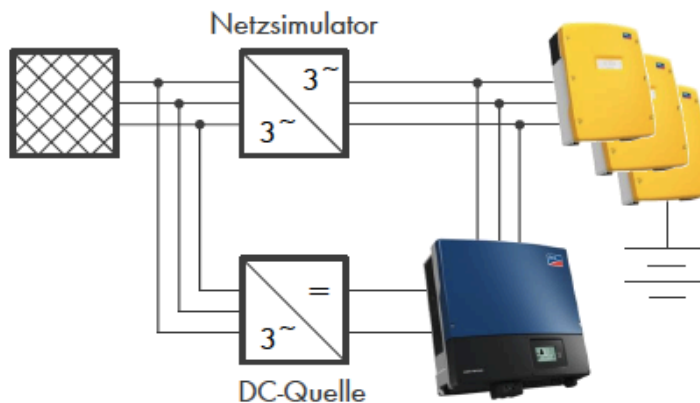


LABORMESSUNG MIT SERIENGERÄTEN



Reaktion auf Frequenzsprung

- > Sprung der Netzfrequenz von 50,6 Hz auf 51 Hz
- > Spannungsgeregelte Batteriewechselrichter speisen unmittelbar einen dem Frequenzsprung entgegenwirkenden Strom ein
- > PV-Wechselrichter beginnt mit entsprechender Reaktion mit einer Verzögerung von ca. 50ms
- > Leistung kann bei Bedarf innerhalb von wenigen Netzperiodendauern eingeregelt werden (aktuell im Netzparallelbetrieb aktiv begrenzt)

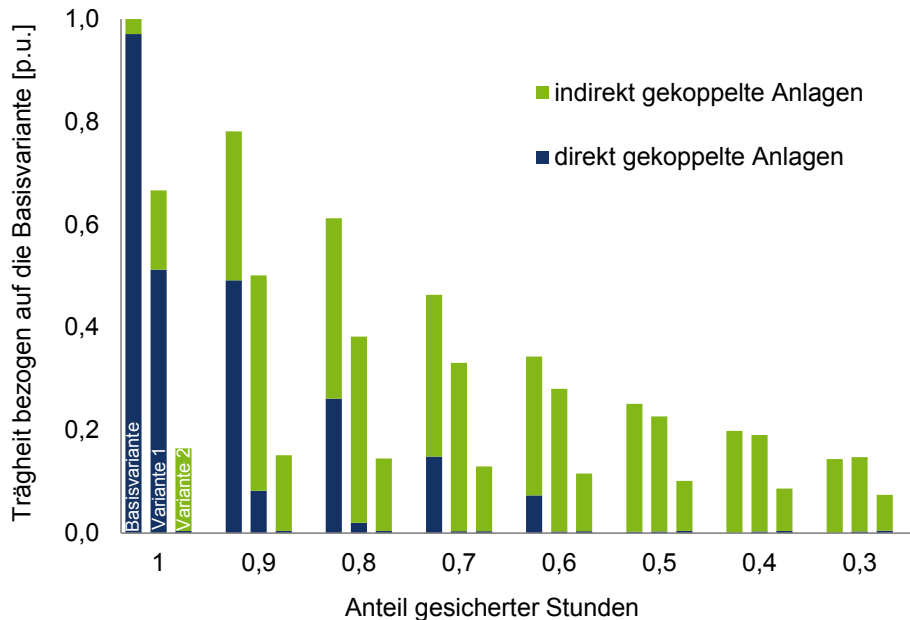


Messung: elencia, TU Braunschweig

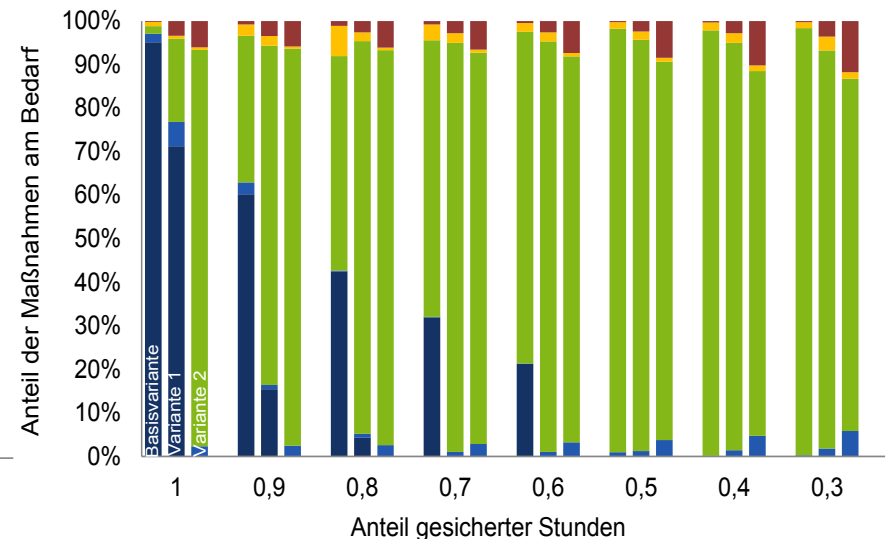
> **Stromgeregelte Geräte reagieren nur mit sehr geringer Verzögerung**

Trägheit für gesicherte Stunden für System-Split und wirtschaftliche Erbringungsoptionen

Quelle: dena Momentanreserve

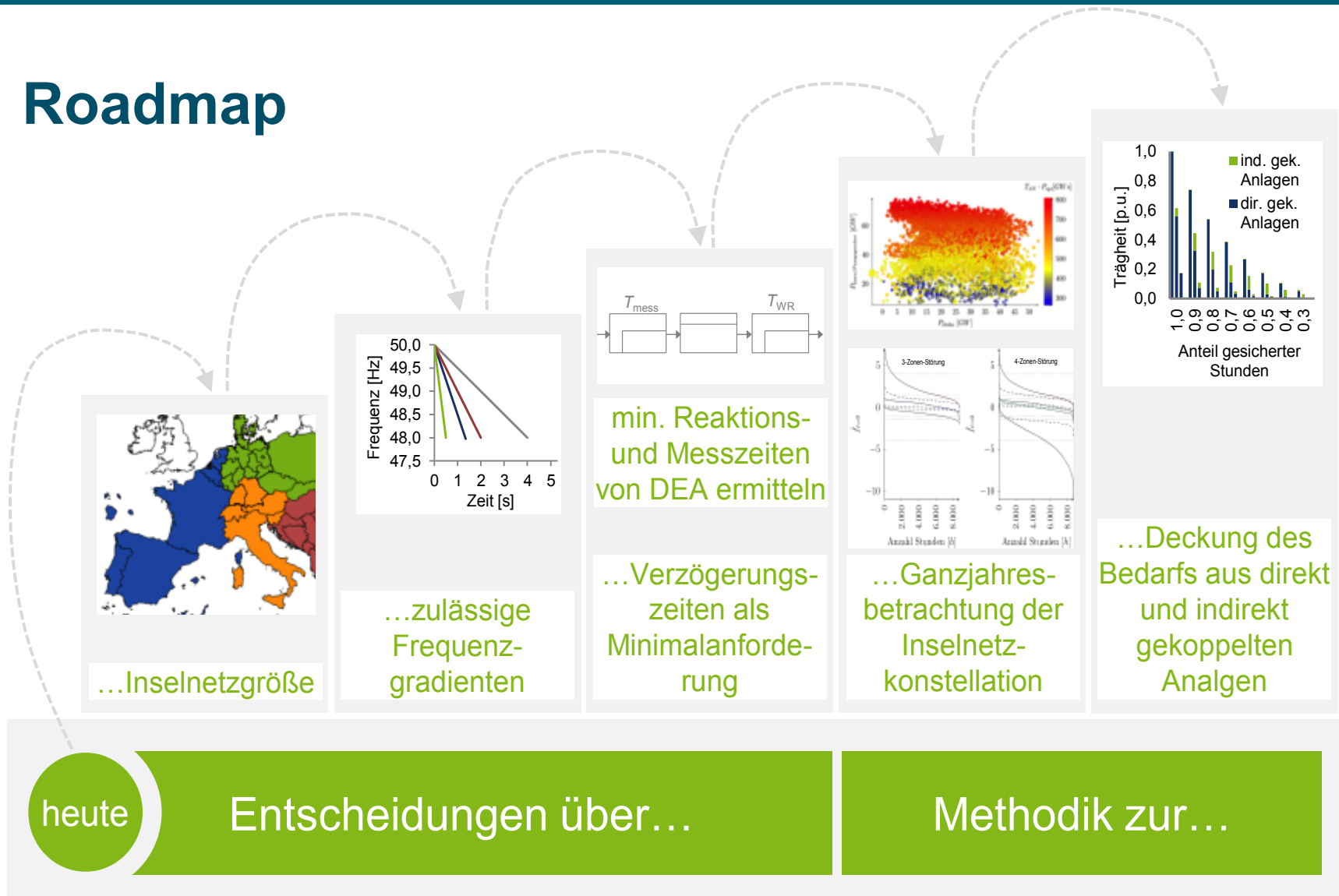


Quelle: dena Momentanreserve



- synthetische Schwungmasse aus WEA
- Batteriespeicher
- Phasenschieber
- Leistungsreduktion WEA
- KW Redispatch

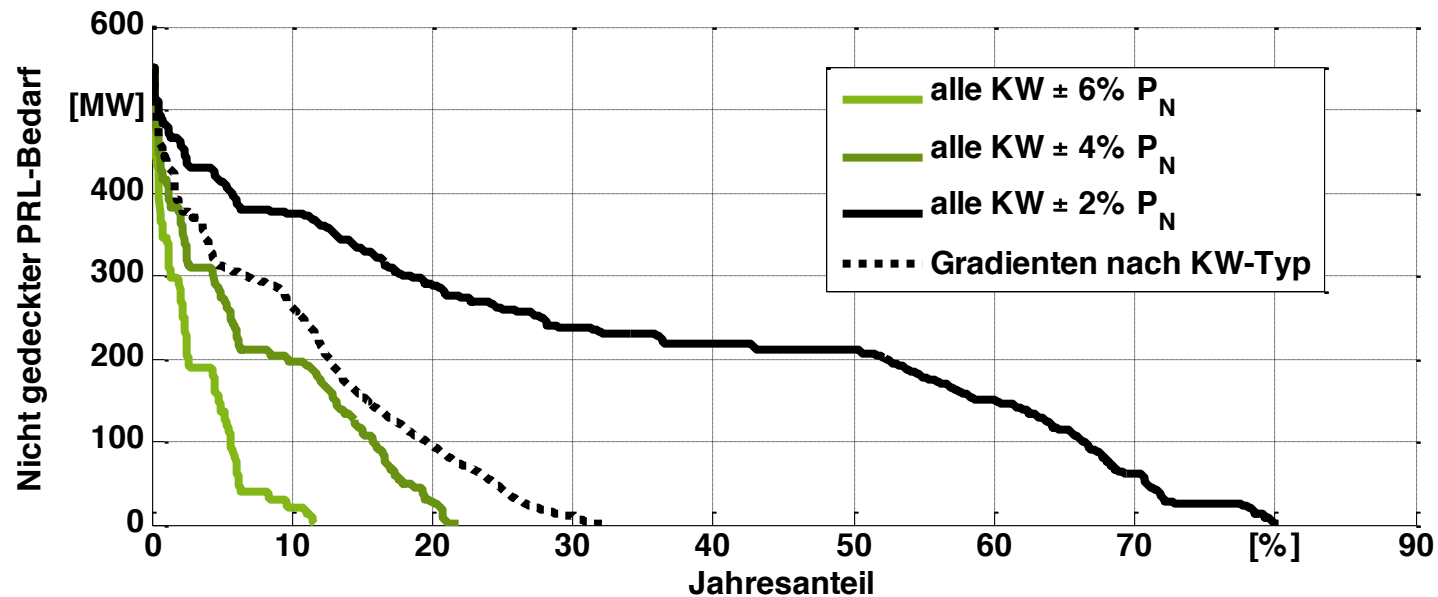
Roadmap



Frequenzhaltung

REGELLEISTUNG

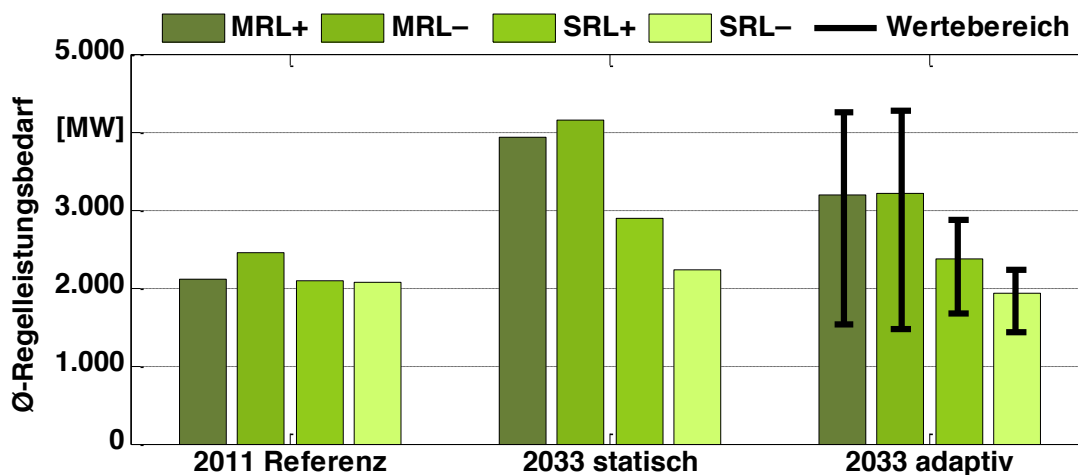
Primärregelleistung benötigt zusätzliche Erbringung aus EE-Anlagen, Speichern und Lasten



Quelle: dena Systemdienstleistung

- DEA, Speicher und Lasten müssen in Primärregelleistungskonzept integriert werden.

Sekundär- und Minutenreservebedarf



Zum Zeitpunkt der minimalen Residuallast in 2033 erfolgt die

- Deckung des **neg. RL-Bedarfs** durch:
 - Drosselung der WEA-Einspeiseleistung
 - Reduzierung der Einspeiseleistung von WEA & PV
 - Reduzierung der Einspeiseleistung aus Biomasse
- Deckung des **pos. RL-Bedarfs** durch:
 - Freigabe zuvor gedrosselter WEA- und PV-Einspeiseleistung
 - Reduzierung der PSW Pumpleistung
 - Lastreduzierung

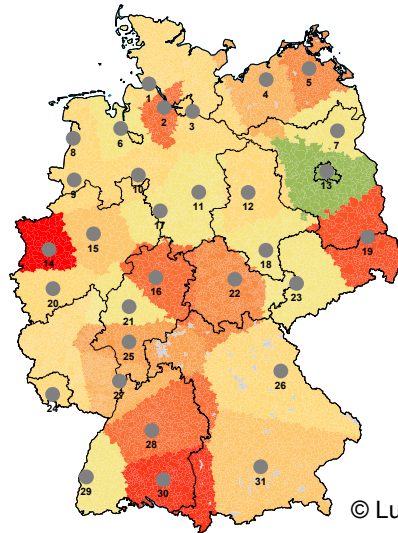
- Bedarf steigt, kann aber durch Adaption an tägliche EE-Einspeisung durchschnittlich reduziert werden
- Reduzierung der Angebotszeitscheiben und neue Erbringer können Regelleistungsbedarf decken

Blindleistungsbedarf und Potentiale aus den Verteilnetzen

SPANNUNGSHALTUNG

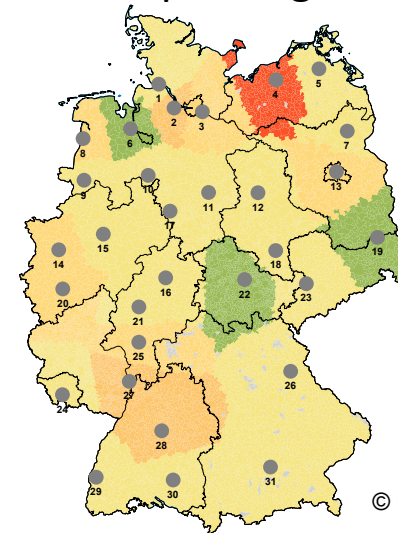
Q-Bedarf in bemessungsrelevanten Stunden

Stark-EE + Starklast



© Lutum+Tappert

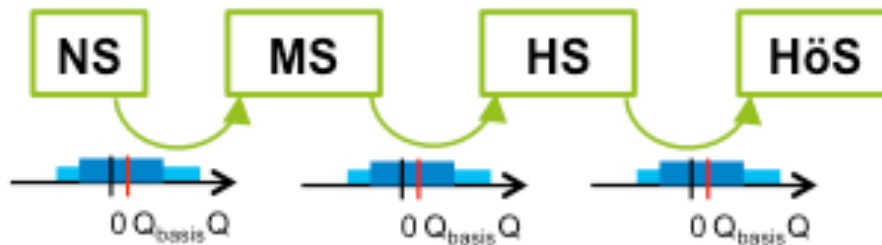
Mittlere Windeinspeisung / Schwachlast



© Lutum+Tappert

- Q-Bedarf im (n-0)- und (n-1)-Fall kann größtenteils gedeckt werden durch:
 - die aktiven konventionellen Kraftwerke,
 - durch Kompensationsanlagen,
 - die HGÜ-Konverter und
 - **die DEA aus unterlagerten Verteilnetzen →**

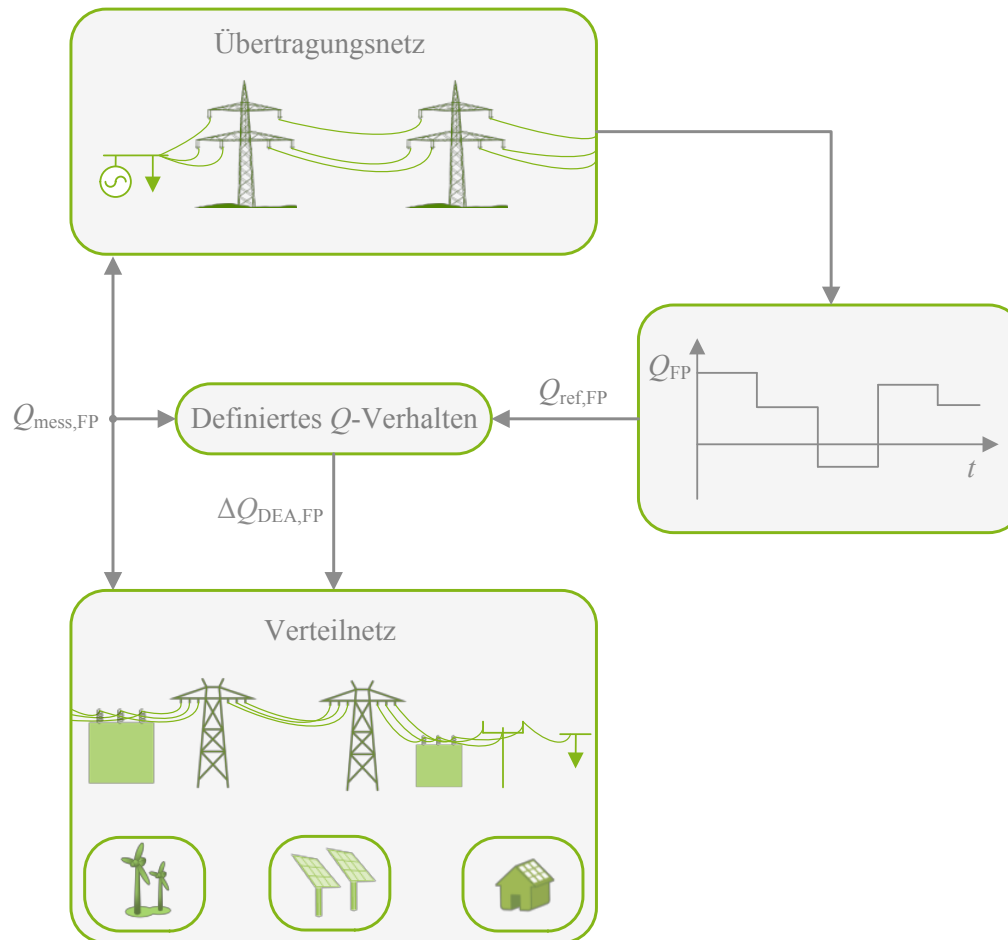
Blindleistung aus Verteilnetzen



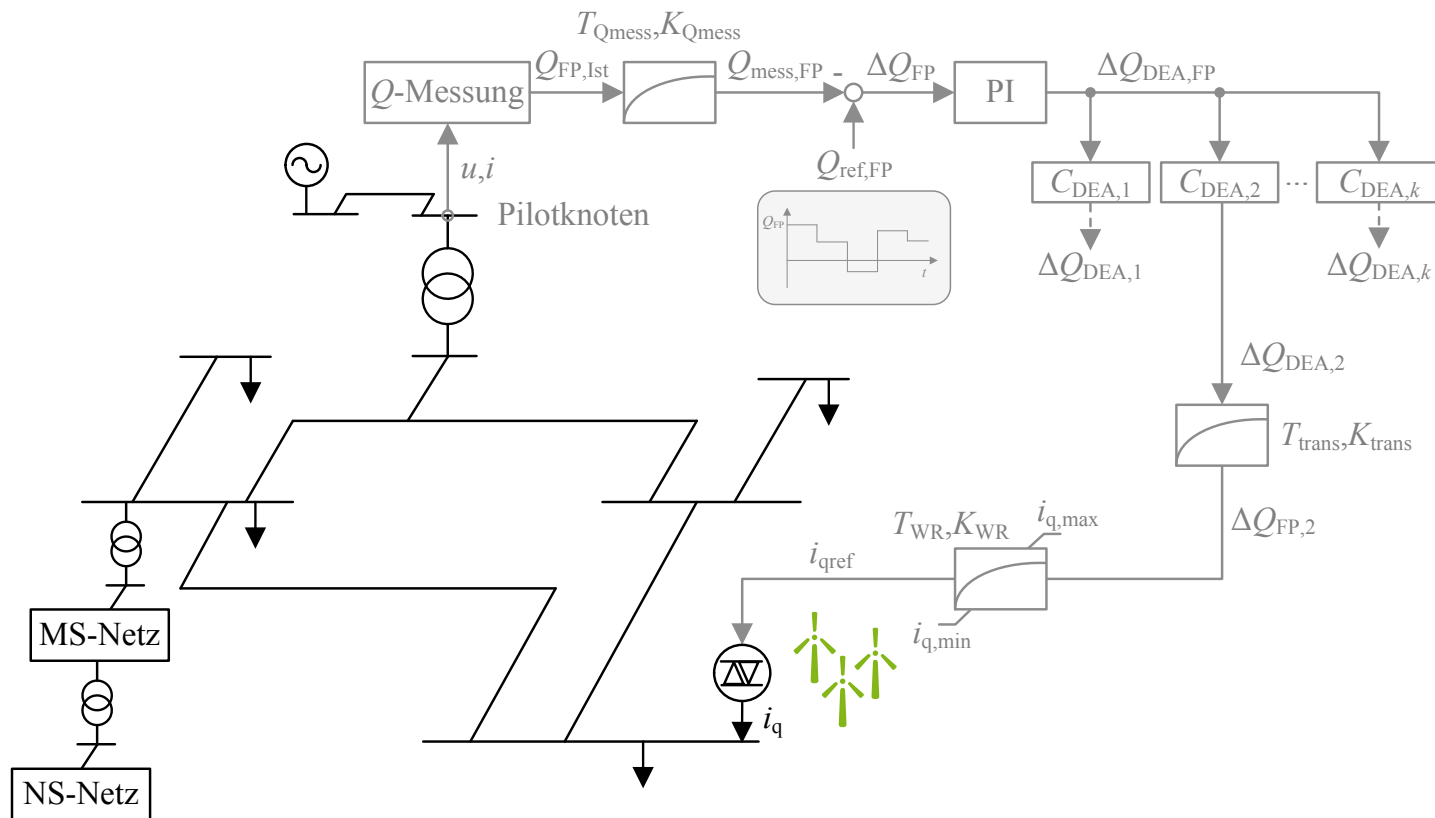
Quelle: dena Systemdienstleistung

- Potentiale zur Q-Erbringung aus Verteilnetzen vorhanden
- ▶ Q-neutraler Betrieb möglich
- ▶ Koordination zwischen ÜNB und VNB zur Q-Regelung erforderlich
- ▶ dynamisches Verhalten von VN für Systemstabilität zu untersuchen

Vorgabe eines Blindleistungsfahrplans



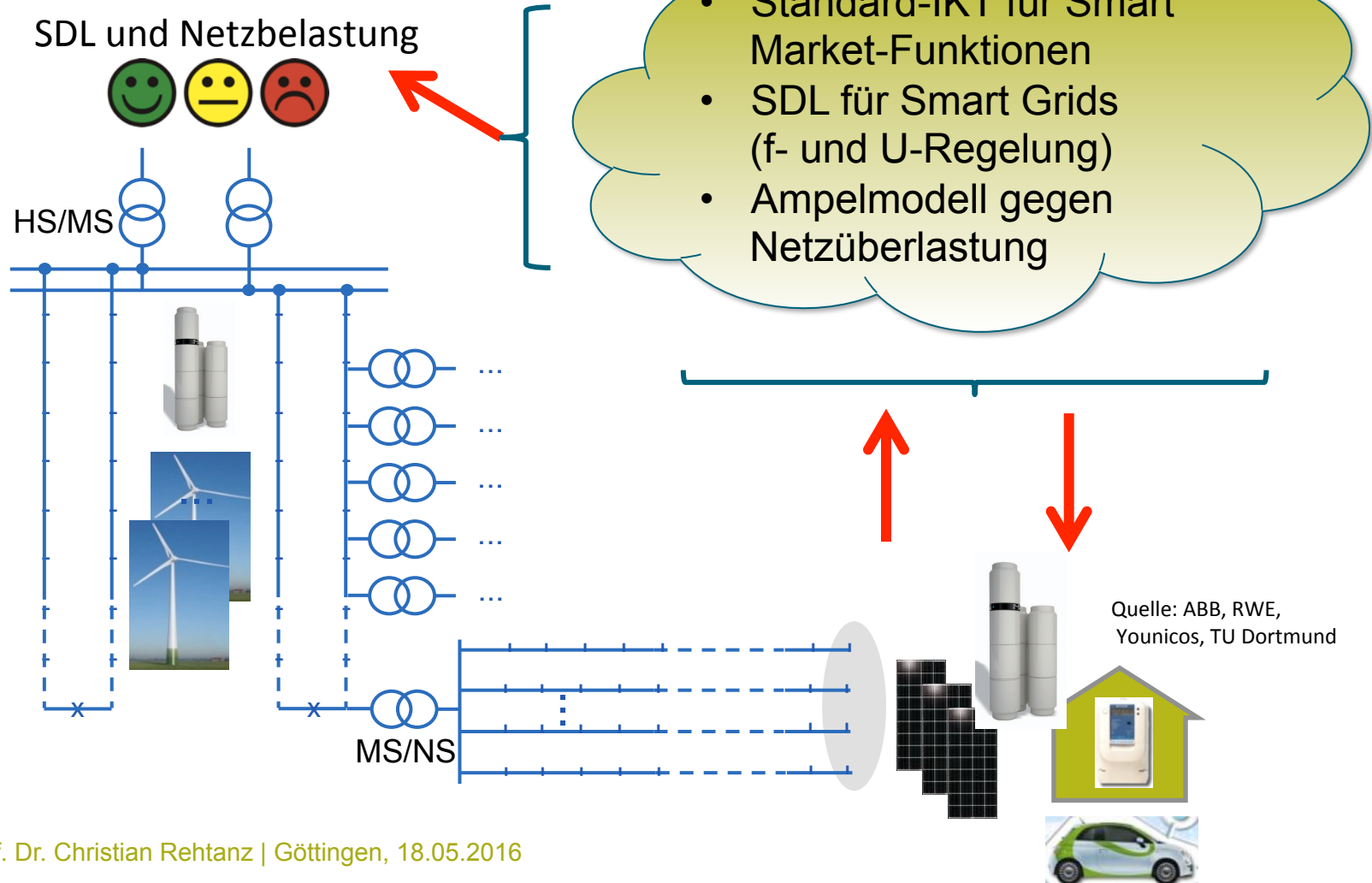
Umsetzung Regelungskonzept Fahrplanwert



Koordination Planung / Betrieb und Smart Grid / Smart Market

BETRIEBSFÜHRUNG

Betriebsführung: Informationen für Smart Grids and Smart Markets



NETZWIEDERAUFBAU

Netzwiederaufbau



Quelle: Amprion

Inseln mit ausgeglichener Leistung
als Ankerpunkte

- Regelbare Erzeuger (konv. KW)
- EE-Anlagen in definierten Zuständen ohne Volatilität
- Gezielte Lastzuschaltung (MS-/NS- ohne EE)

▶ Verbesserung der EE-Zustandserkennung und Zusammenspiel ÜNB und VNB

▶ DEA und Speicher als zusätzliche Stützung für Frequenz- und Spannungshaltung

ZUSAMMENFASSUNG

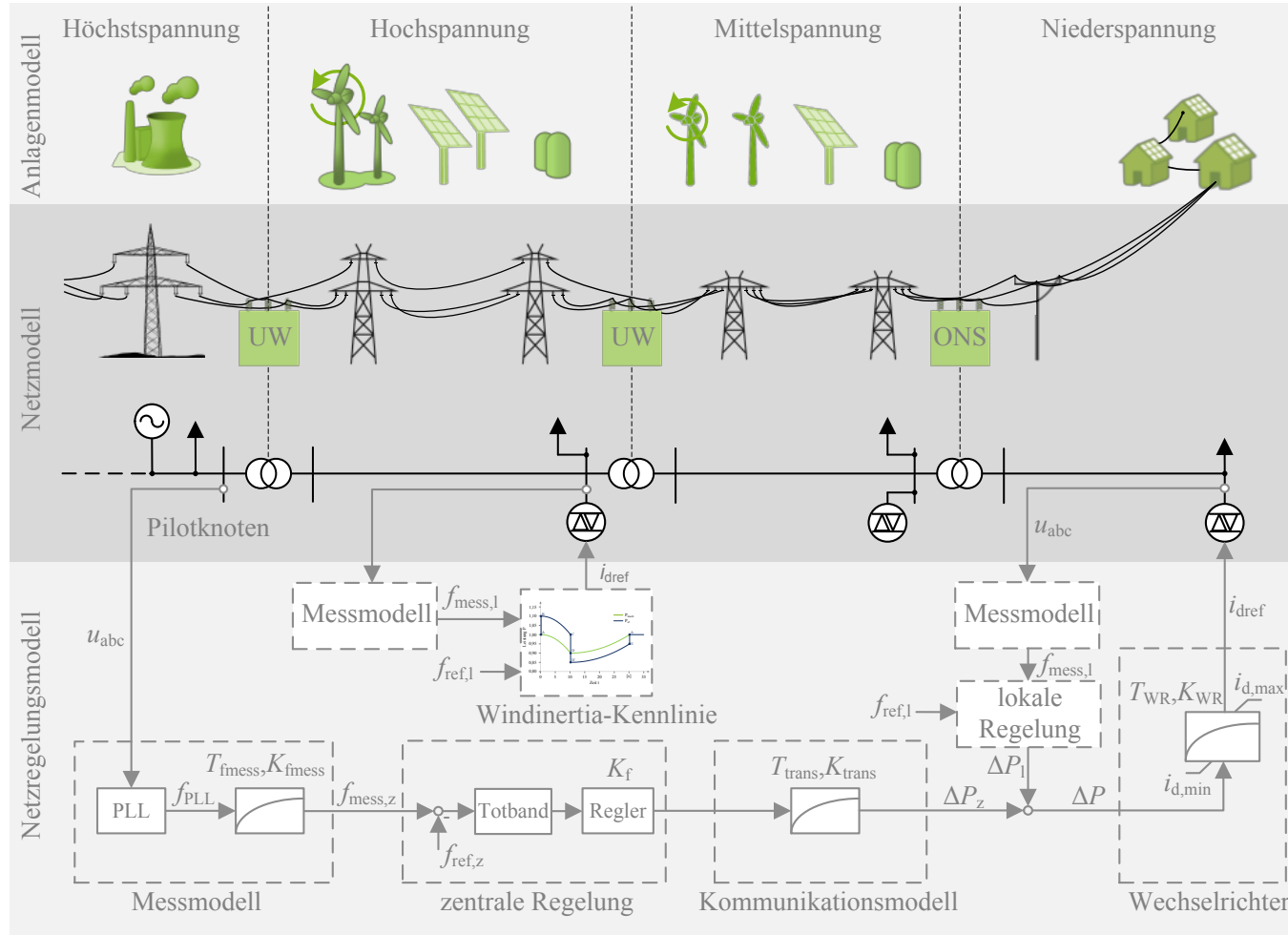
Zusammenfassung

- Herausforderungen bei SDL um heutiges Niveau zu halten.
 - System-Split Szenarien berücksichtigen
- Integration von DEA und Speichern zur SDL-Erbringung notwendig
 - Rahmenbedingungen sind geeignet anzupassen
 - Momentanreserveerbringung ist zu erforschen
- Verteilnetze werden vermehrt SDL erbringen
 - Koordination zwischen VNB und ÜNB
- Betriebsführung wird komplexer und benötigt neue unterstützende Methoden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Schema Simulationsumgebung (Frequenz)



Schema Simulationsumgebung (Spannung)

