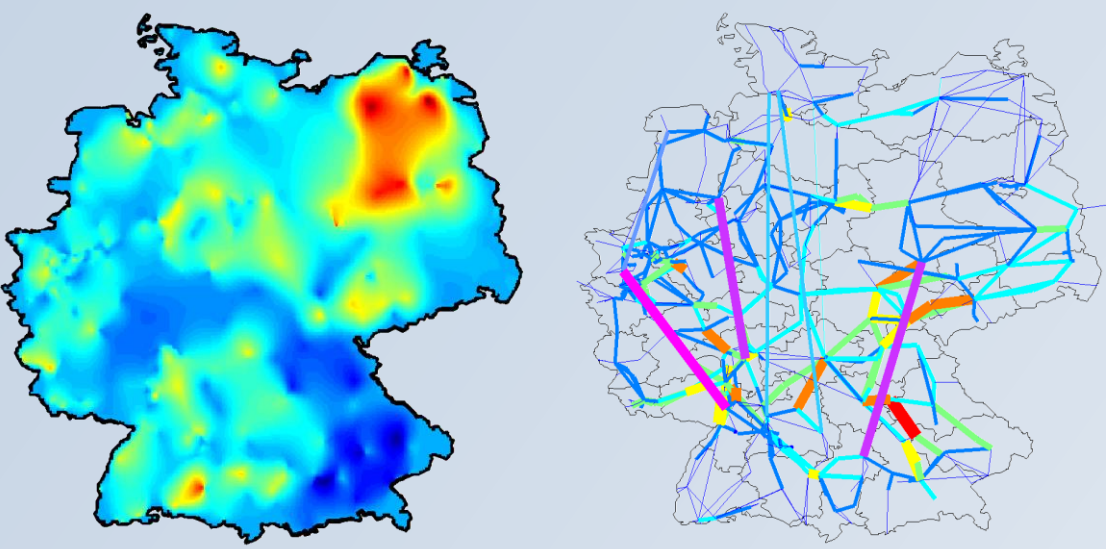


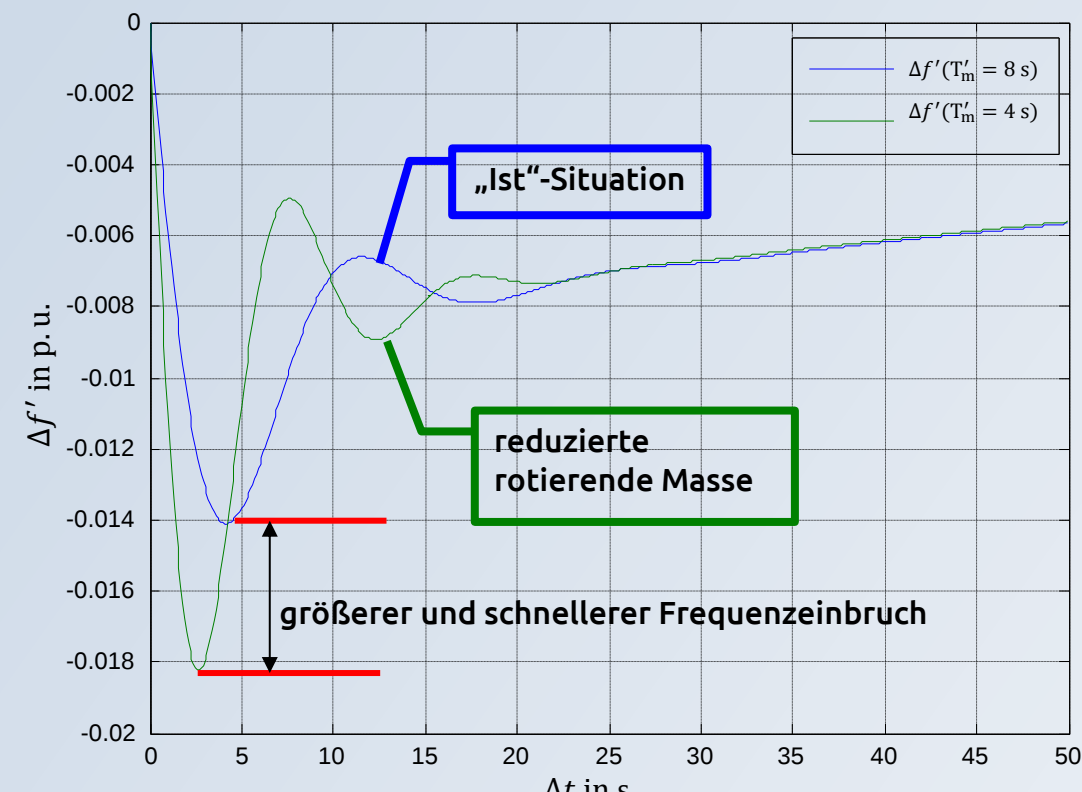
► Forschungsfrage und Kontext

Spannungsprofil und Leitungsauslastung im Übertragungsnetz



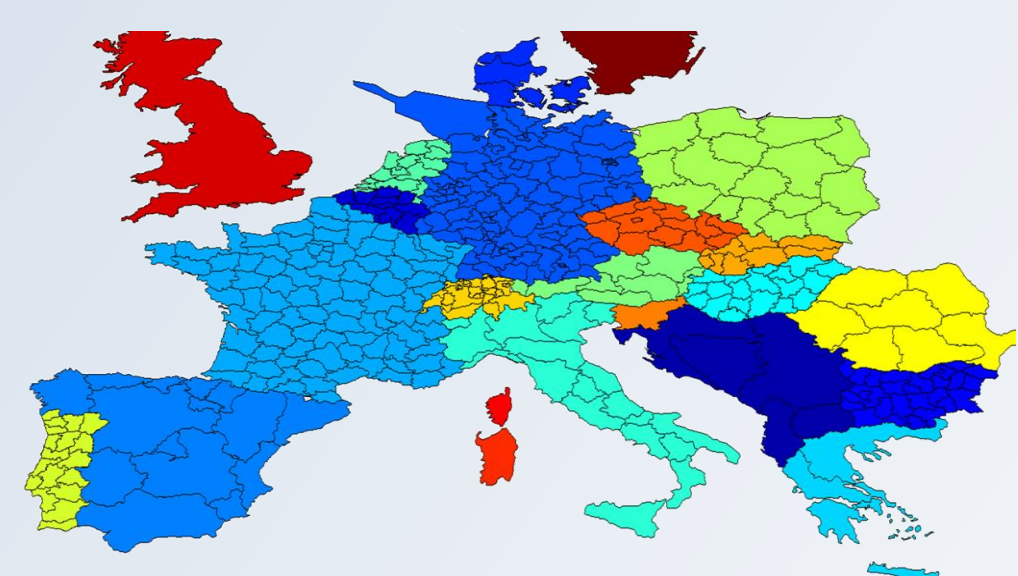
- Stationäre SDL-Bereitstellung durch Verbünde von DEA
 - Auswirkungen auf Netzbetrieb und -Sicherheit im Zukunftsszenario 2030 für Verteil- und Übertragungsnetze
 - Einhaltung der Spannungsbänder
 - Bereitstellung von Blindleistung

Frequenzverläufe im Störfall



- P-f-Regelvorgänge
 - Auswirkungen des Rückganges konventioneller Erzeugung auf die Frequenzausgleichvorgänge nach dem Eintritt von Leistungsungleichgewichten
 - Netztechnische Auswirkungen der Regelleistungsbereitstellung durch DEA

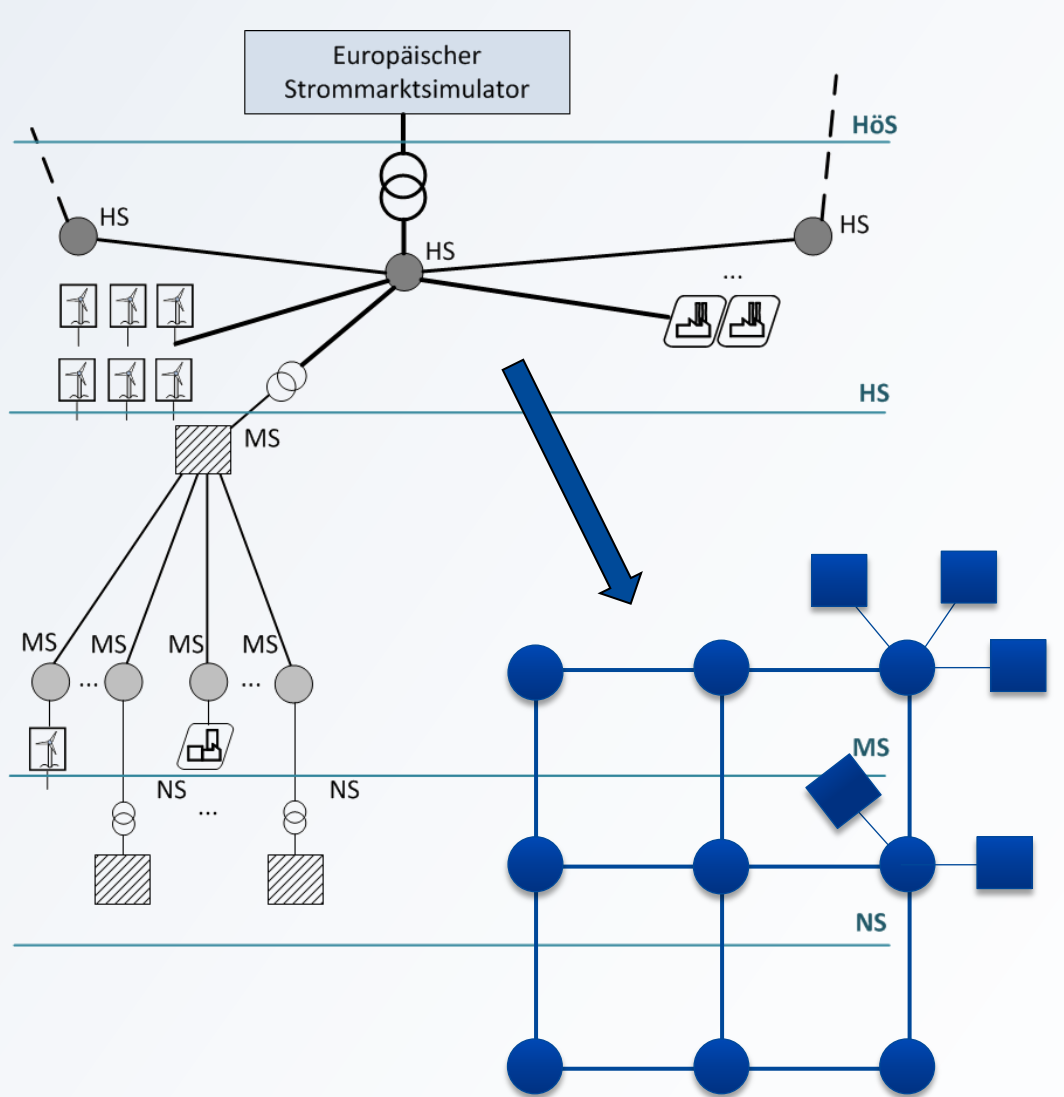
Preiszonen im Europäischen Verbundnetz



- Weiterführende Untersuchungen
 - Wechselwirkungen zwischen Verteilnetz und Übertragungsnetz
 - Auswirkungen auf Netzausbau und Netzbetrieb
 - Grenzen des Zubaus von DEA bzw. zusätzliche Anforderungen an DEA

► Ergebnisse

Spannungsebenen übergreifendes Systemmodell von HöS- bis MS-Ebene



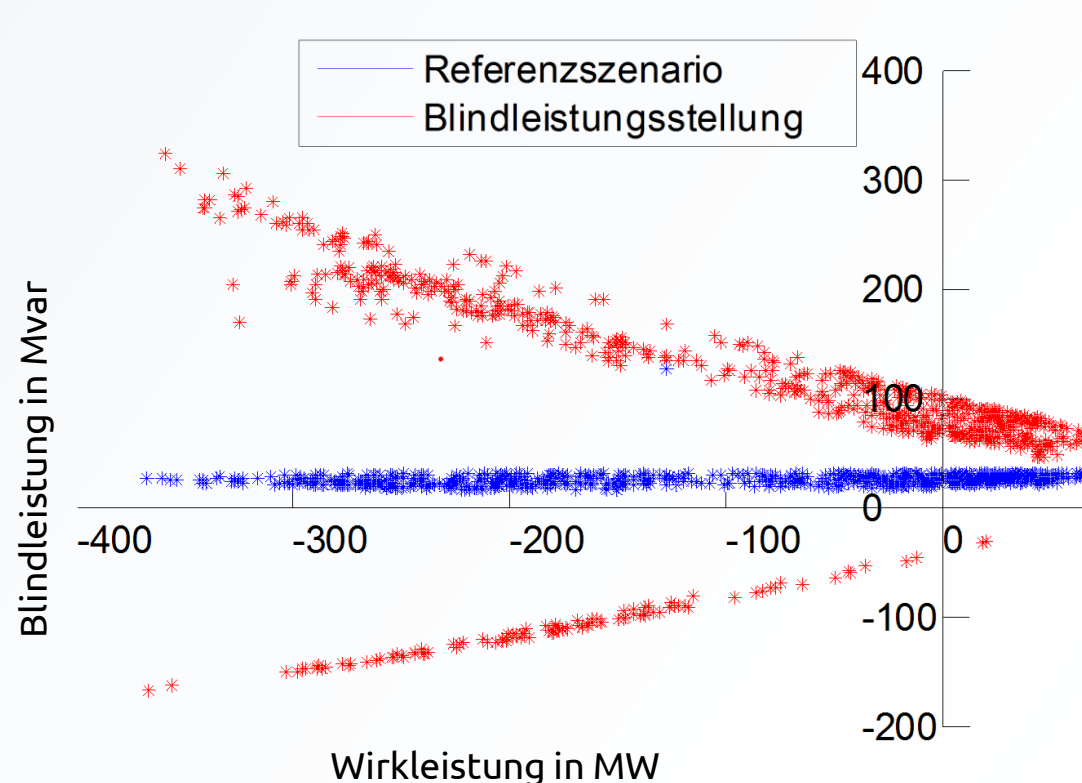
Betrachtung stationärer Vorgänge

- Betrachtung der Szenarien 2011/2030

Energieträger	2011 inst. Leistung in GW	2030 inst. Leistung in GW	2011 Anteil in % am Stromverbrauch	2030 Anteil in % am Stromverbrauch
Uran	12,0	0	18,8	0
Braunkohle	20,2	13,4	28,9	13,9
Steinkohle	22,9	23,0	17,8	14,9
Öl & Gas	23,9	41,9	3,7	4,4
Sonstige	9,9	14,6	10,8	15,7
Wasser	9,2	15,7	4,2	4,2
Wind	28,3	85,0	11,1	32,3
Sonne	22,3	68,8	4,8	14,4
			Summe EE: ca. 20 %	Summe EE: ca. 60 %

Quelle: ENTSO-E

- Hohe Netzauslastungen und Spannungsbandverletzungen
- Bereitstellung von Blindleistung der DEA für sicheren Netzbetrieb notwendig
- Einfluss unterlagerter Netzebenen auf Netzzustand und Blindleistungshaushalt
 - Verschiebung der Arbeitspunkte
 - Optimierung Blindleistungsbezug/-Abgabe

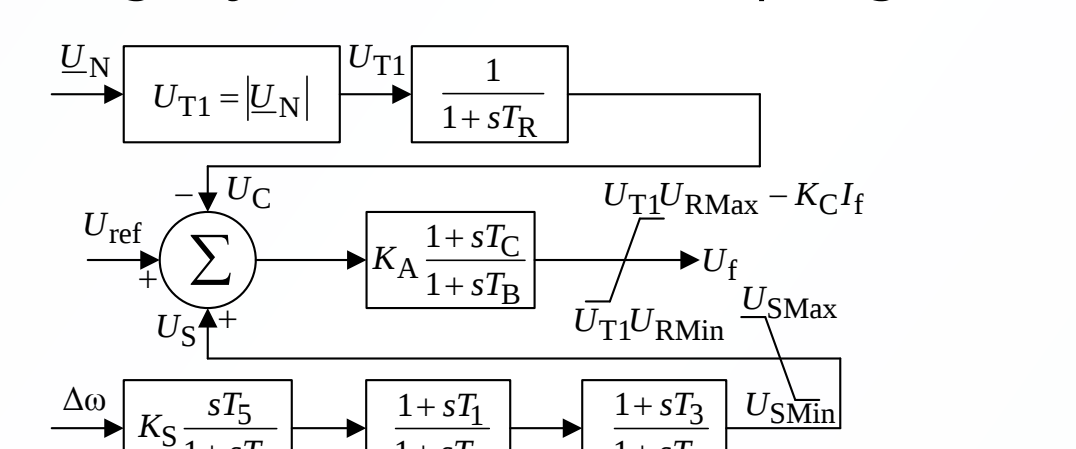


Zustandsgleichungen Synchronmaschine

$$\begin{bmatrix} k_1 \Psi_f \\ k_2 \Psi_D \\ k_3 \Psi_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_R} & \frac{k_1}{T_R} & 0 \\ k_2 & -\frac{1}{T_D} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_Q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \Psi_f \\ k_2 \Psi_D \\ k_3 \Psi_Q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & k_1^2 R_f & 0 \\ k_2 & k_2^2 R_D & 0 \\ 0 & 0 & k_3^2 R_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_f \\ U_D \\ U_Q \end{bmatrix}$$

B. R. Oswald, Berechnung von Drehstromnetzen, vol. 1, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009.

Erregersystem mit Pendeldämpfung



IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std. 421.5-2005, April 2006.

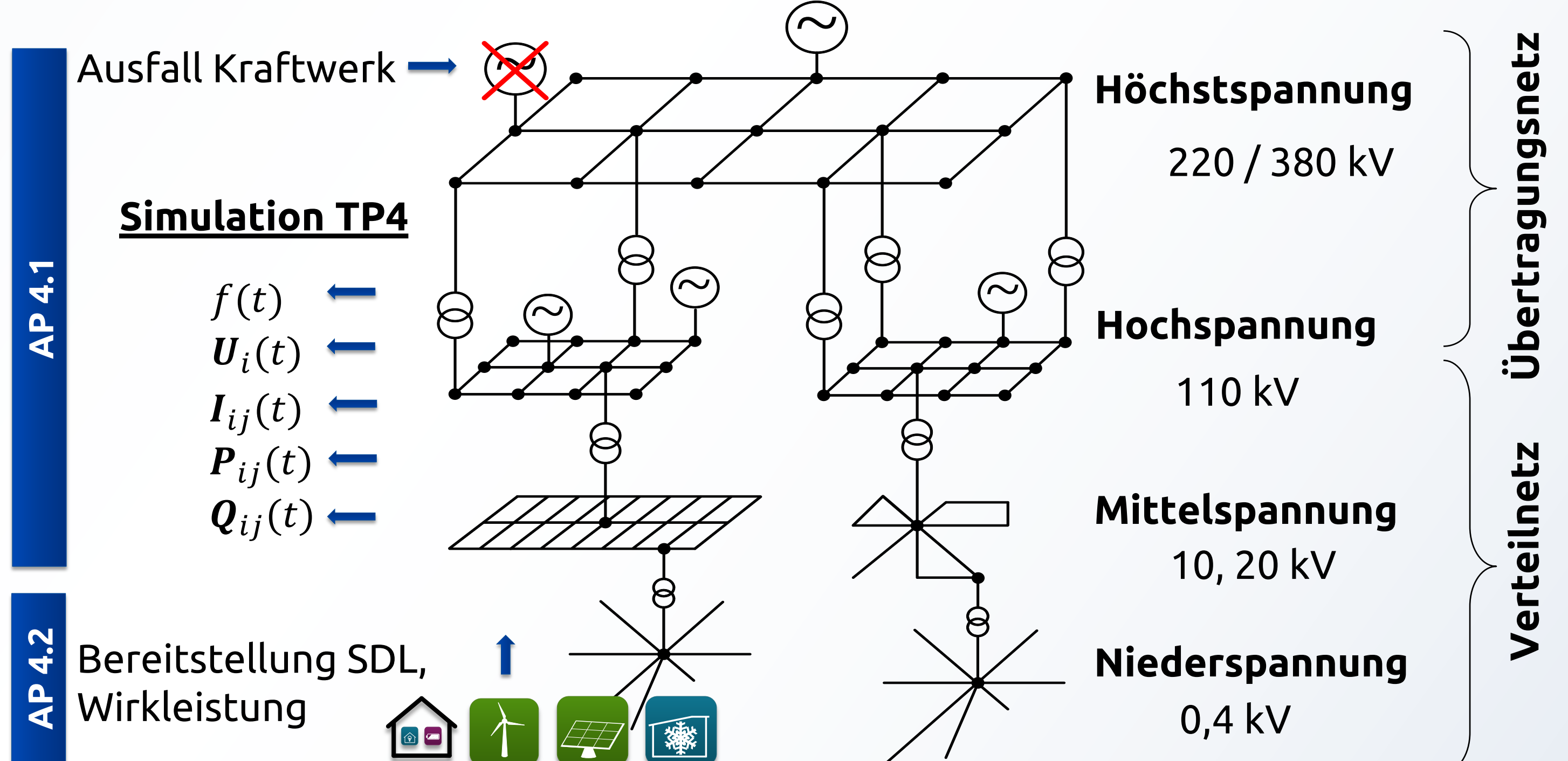
Netzgleichung

$$\mathbf{Y}_{NN} \mathbf{u}_N = \mathbf{i}_N = \mathbf{i}_L + \mathbf{i}_G + \mathbf{i}_{Dex}$$

B. R. Oswald, Berechnung von Drehstromnetzen, vol. 1, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009.

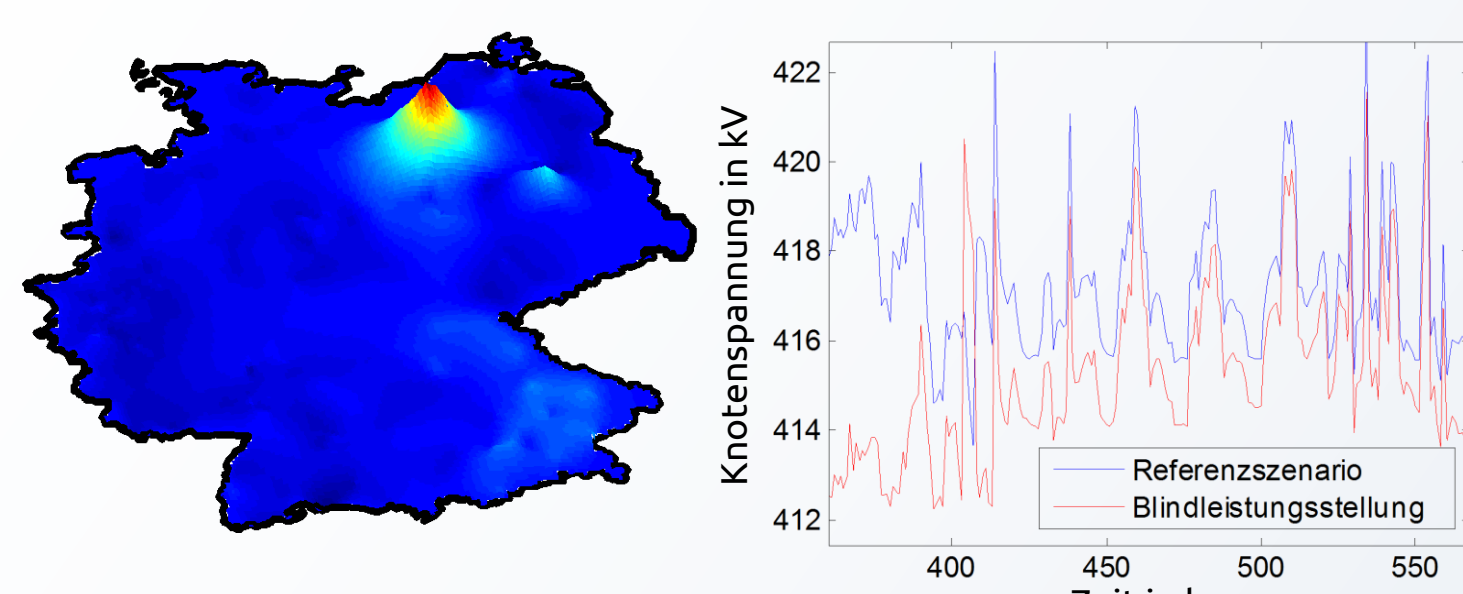
► Methodik

- Integriertes Spannungsebenen übergreifendes Systemmodell
 - Europäisches Strommarktmodell und HöS-Netz
 - Modellnetze für HS und MS sowie Einbindung aggregierter NS-Netze aus AP4.2
 - Integration der Marktgebote durch Verbünde
- Simulation stationäres Systemverhalten
 - Leistungsflussanalyse, Spannungshaltung
 - Blindleistungsbereitstellung unterlagerter Netzebenen
- Simulation dynamisches Systemverhalten
 - Frequenzstabilitätsanalyse nach Erzeugungsausfällen,
 - Regelleistungsbereitstellung durch DEA

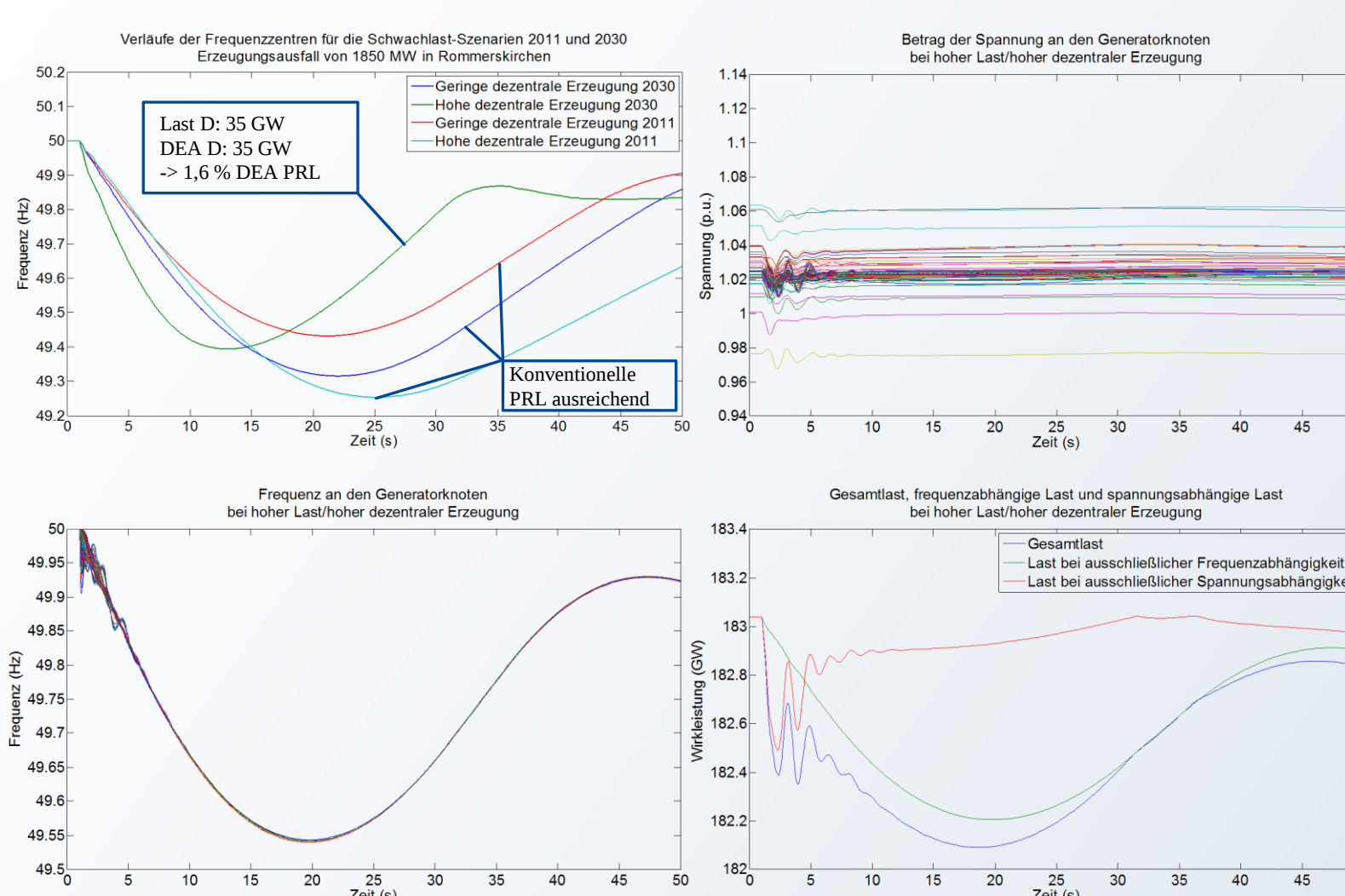


Zentrale Ergebnisse

Einfluss Blindleistungsstellung auf Höchstspannungsebene



- Gezielte Bereitstellung von Blindleistung aus den unterlagerten Netzebenen möglich
- Abhängig von Einspeisung, Ort und Netzzustand



- Frequenzstabilität im Szenario 2030 gewährleistet
- Beschleunigte Primärregelung durch DEA nur zu gewissen Zeiten notwendig
- Erhöhung des Spannungseinbruchs durch konstante Leistungseinspeisung der DEA mindert den Frequenzeinbruch

► Ausblick

- Implementierung alternativer Marktmechanismen zur besseren Marktintegration von DEA
- Erweiterung und Verbesserung der Modelle für Kraftwerke, DEA und Lasten (stationär und quasistationär)
- Optimierungsansatz für Blindleistungsaustausch zwischen Übertragungs- und Verteilnetz (siehe Transferprojekt „iQ-Regler“)
- Untersuchung der Frequenz- und Spannungsstabilität weiterer zukünftiger Energieversorgungsszenarien

SDL – Systemdienstleistung

DEA – Dezentrale Erzeugungsanlage

HöS-, HS-, MS-, NS- Spannung – Höchst-, Hoch-, Mittel-, Niederspannung