Flexibilitäten in der Netzentwicklung: Beiträge aus der Wissenschaft

Hans Barrios, M.Sc.

Einleitung

Vorstellung ausgewählter Verfahren

- Redispatch
- Schaltmaßnahmen
- Leistungsflusssteuernde Komponenten

Exemplarischer Anwendungsfall

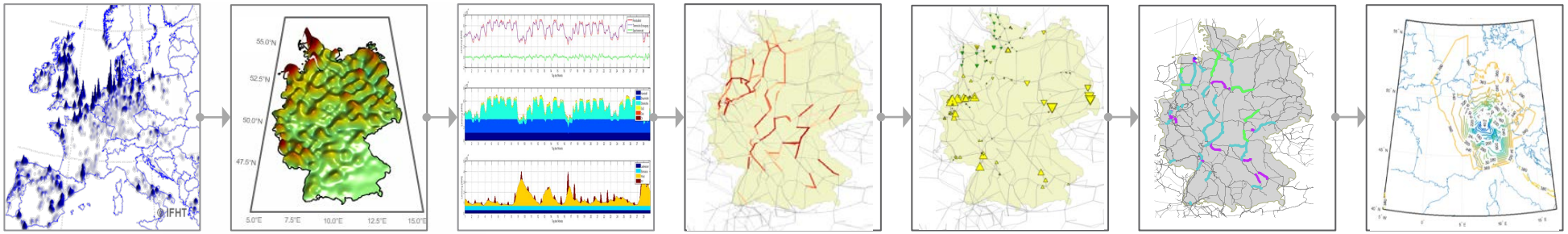
Zusammenfassung

- Einleitung
- Vorstellung ausgewählter Verfahren
  - Redispatch
  - Schaltmaßnahmen
  - Leistungsflusssteuernde Komponenten
- Exemplarischer Anwendungsfall
- Zusammenfassung

Einleitung

Vorstellung der IFHT-Toolchain

- Die IFHT-Toolchain ermöglicht eine ganzheitliche Simulation und Bewertung des elektrischen Energieversorgungssystems
- Anwendung in einer Vielzahl unterschiedlicher Studien und Projekte, unter anderem:
  - Untersuchung verschiedener Szenarien (Fallstudien): Kohleausstieg, Szenarien in 2050, Stromgebotszonenkonfiguration, etc.
  - Bewertung und Priorisierung von Maßnahmen im Rahmen des NEP
  - Verschiedene Forschungsprojekte
- Die Nutzung eines High Performance Computing Clusters (>500 cores) sowie einer starken Parallelisierung der Tools ermöglicht die Betrachtung eines hohen Detaillierungsgrades



Regionalisierung	**Zeitreihen-erstellung**	**Marktsimulation**	**Leistungsfluss-berechnung**	**Redispatch**	**Netzausbau**	**Dynamische Simulationen**
Allokation von Erzeugungs-kapazitäten & Lasten	Stundenscharfe Zeitreihen für EE und Last	Einsatz konv. Kraftwerke und Speicher	Identifikation von Engpässen mittels einer (n-1)-Analyse	Simulation von Redispatch und EinsMan	Ausbau- und Verstärkungs-maßnamen	Analyse verschiedener Stabilitätsaspekte

Einleitung

Berücksichtigung betrieblicher Freiheitsgrade

- Planungsgrundsätze der deutschen Übertragungsnetzbetreiber:

„Sowohl netzbezoge Maßnahmen, wie Schalthandlungen oder […] Redispatch von konventionellen Kraftwerken, Einspeisemanagement von EE-Anlagen, […] sind kurzfristig wirkende präventive, bzw. kurative Maßnahmen der Netzbetriebsplanung bzw. des Netzbetriebs […] Sie tragen damit nicht zu einer bedarfsgerechten perspektivischen Netzbemessung für ein möglichst engpassfreies Netz bei“

- Aufgrund des verzögerten Netzausbaus sowie der weiterhin progressiven Ziele der Politik hinsichtlich der Integration von EE rücken netzbezogene Flexibilitäten und die Entwicklung innovativer Betriebsführungsansätze zunehmend in den Fokus

- Dies motivierte die Entwicklung von Tools zur Modellierung von betrieblichen Flexibilitäten in der Netzplanung. Hierzu gehören:
  - Redispatch
  - Schaltmaßnahmen
  - Leistungsflusssteuernde Komponenten

- Weitere Flexibilitäten sind bspw. Power-To-X-Technologien oder Reservekraftwerke

Einleitung

Vorstellung ausgewählter Verfahren

- Redispatch
- Schaltmaßnahmen
- Leistungsflusssteuernde Komponenten

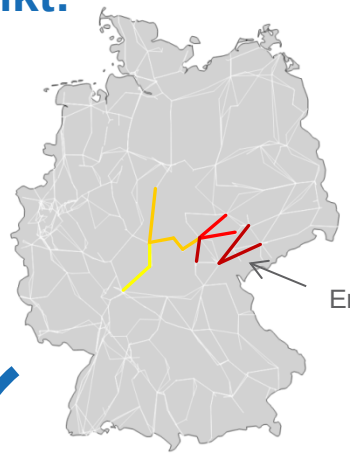
Exemplarischer Anwendungsfall

Zusammenfassung

Redispatch (1/2)

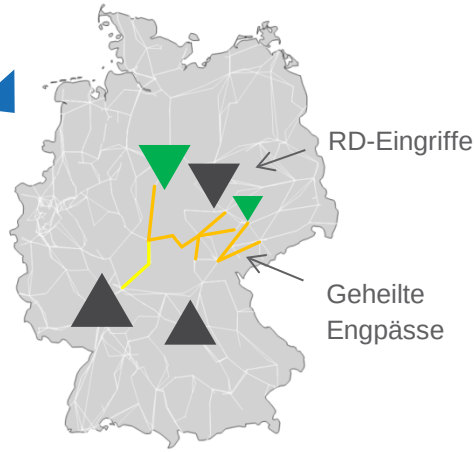
- Definition von Redispatch (RD):
  - *Eingriff der ÜNB in die Fahrpläne der Erzeugungseinheiten um Überlastungen im Übertragungsnetz zu vermeiden*
- Das am IFHT entwickelte RD-Modell simuliert den Eingriff in die Fahrpläne der im Netz vorhandenen Kraftwerke und EE-Einspeisungen unter Berücksichtigung der Leistungsflüsse im Netz
- Das Ziel ist es, alle Netzengpässe nach dem (n-1)-Kriterium zu beheben
  - Ein Engpass tritt auf, wenn durch den Ausfall einer Leitung die Leistungsflüsse auf anderen Leitungen die thermischen Grenzwerte dieser überschreiten
- Das am IFHT entwickelte RD-Modell wurde an alle vier ÜNB lizenziert und in verschiedenen netzplanerischen Studien eingesetzt

Ausgangspunkt:
Überlastete Leitungen im (n-1)-Fall



RD-Modell

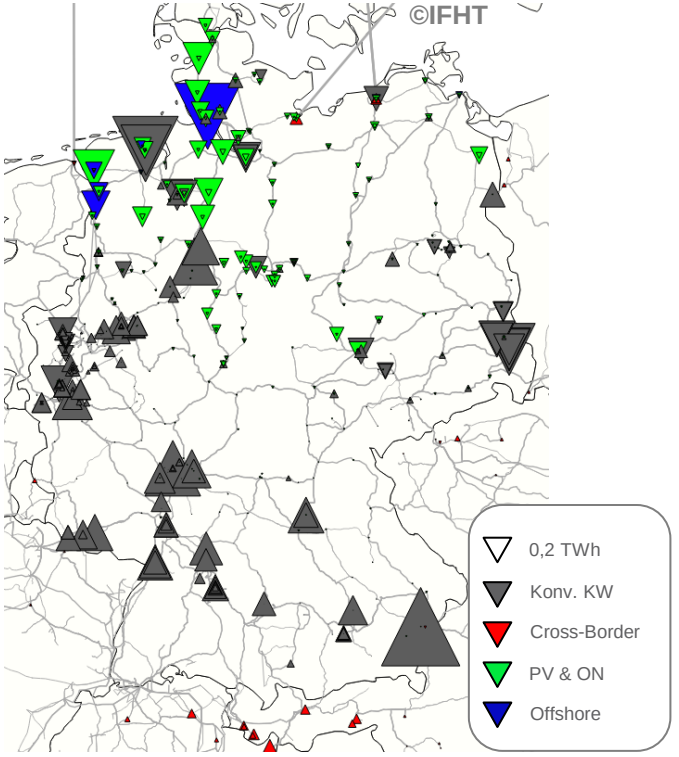
Ergebnis:
RD-Eingriffe und Flüsse nach RD

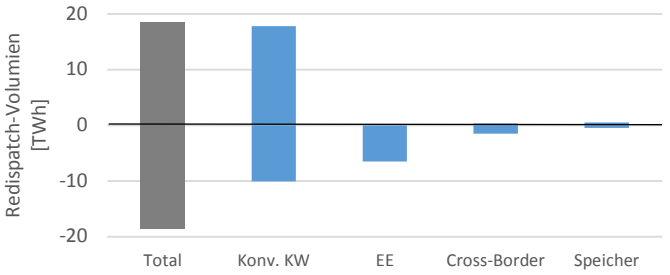


©IFHT

Redispatch (2/2)

- Gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsproblem
- Formulierung der Netznebenbedingungen für eine (n-1)-sichere Netzbelastung anhand linearer Sensitivitäten
  - AC-Leistungsfluss zur Ermittlung der Netzbelastung vor Redispatch
  - LODF-Matrix zur Modellierung der Leitungsflüsse im (n-1)-Fall
  - Knotenscharfe PTDF-Matrix zur Abbildung des Einflusses einzelner Einspeisungen
- Freie Parametrierbarkeit der Einsatzreihenfolge einzelner Technologien um den regulatorischen Rahmen abzubilden, bspw:
  1. HGÜ und PST
  2. Konventionelle Kraftwerke und Speicher
  3. Einspeisemanagement
  4. Cross-Border-Redispatch
- Das Ergebnis sind die angepassten, stundenscharfen Fahrpläne aller Kraftwerke, Speicher und Komponenten





LODF: Line Outage Distribution Factor

PTDF: Phase Shift Distribution Factor

Einleitung

Vorstellung ausgewählter Verfahren

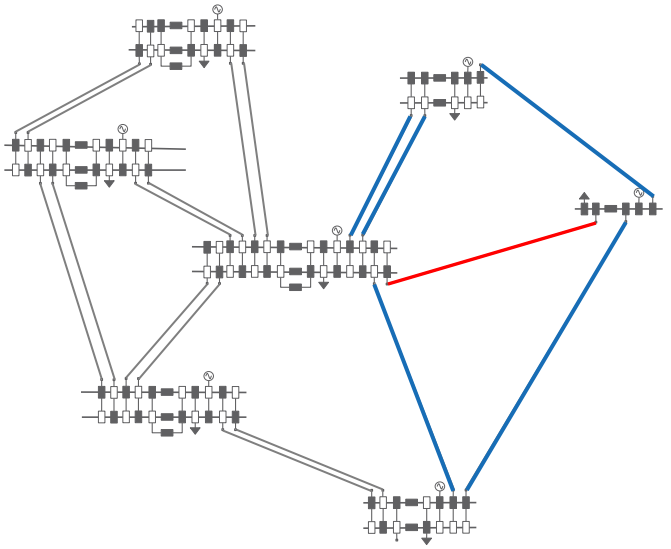
- Redispatch
- Schaltmaßnahmen
- Leistungsflusssteuernde Komponenten

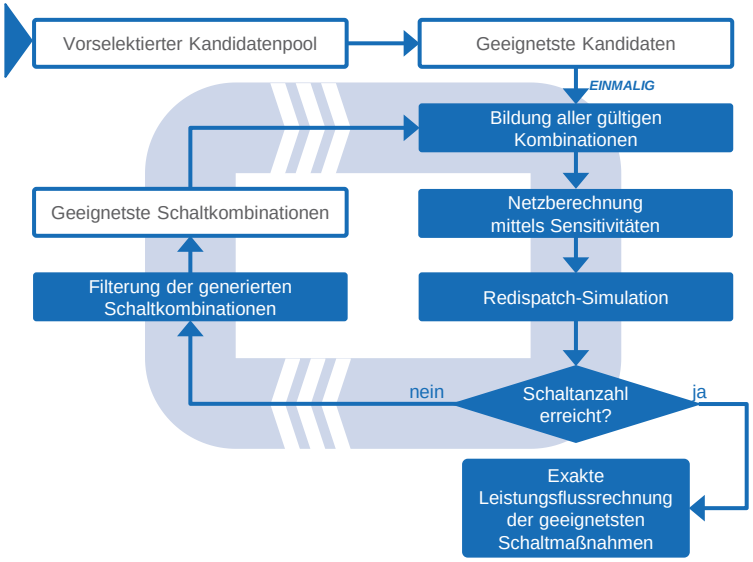
Exemplarischer Anwendungsfall

Zusammenfassung

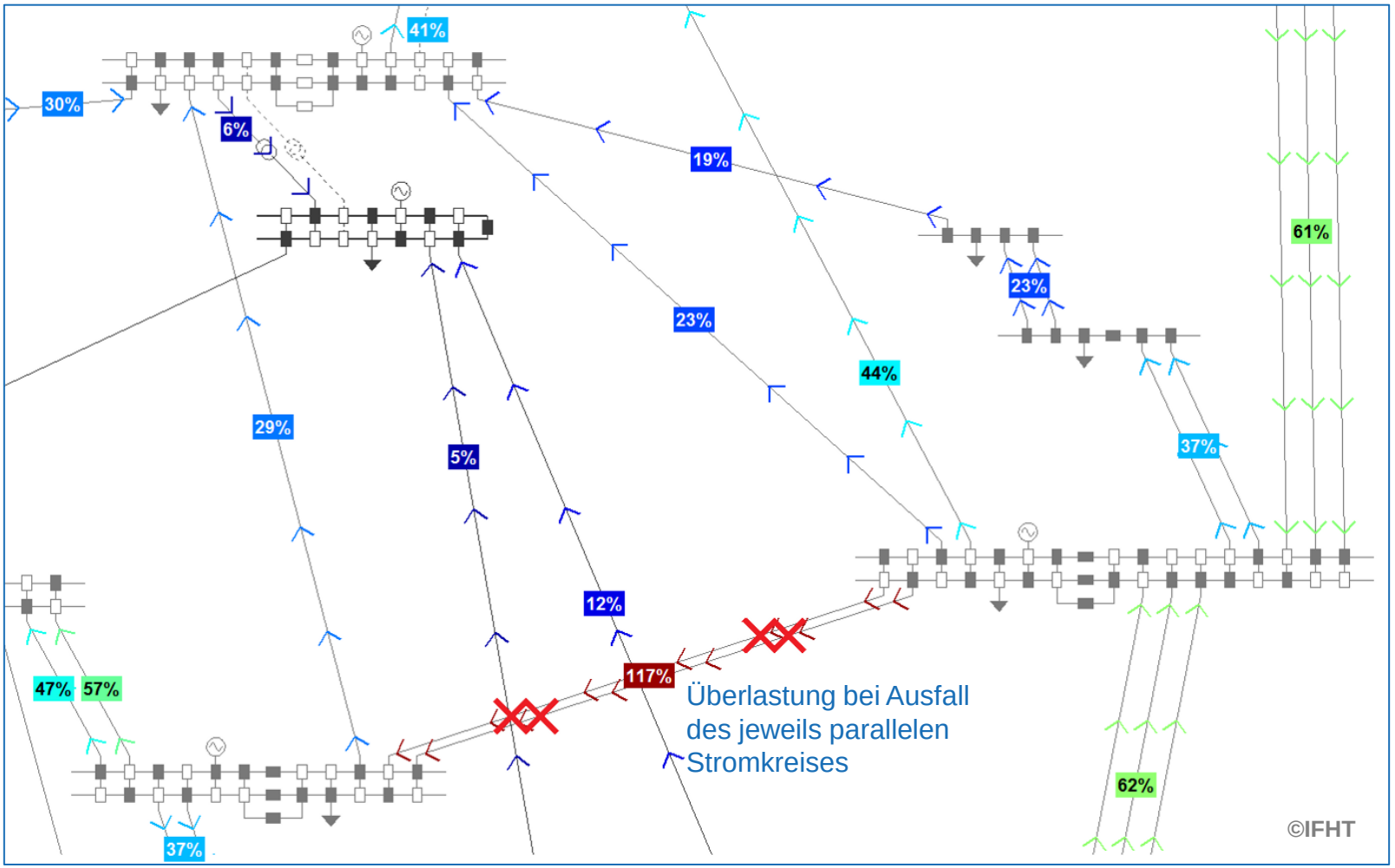
Modellierung von Schalthandlungen

- Schaltmaßnahmen beschreiben das Zu- oder Abschalten von Leitungen sowie die Kupplung von Sammelschienen und stellen einen betrieblichen Freiheitsgrad dar, der vornehmlich dem realen Netzbetrieb vorbehalten ist
- Iteratives Verfahren zur Ermittlung der erforderlichen Schalthandlungen zur Behebung von Engpässen nach dem (n-1)-Kriterium
- Nutzung linearer Sensitivitäten zur Abschätzung der Leistungsflussveränderungen
- Durchgeführte Rechnungen zeigen, dass mit Anwendung des Schaltmodells das Redispatch-Volumen um ca. 20-30% reduziert werden kann
- ➢ Schaltmaßnahmen entfalten weniger in den Extrem-, sondern primär in Situationen mit mittelmäßiger Überlastung ihre Wirkung, da ansonsten Kapazitäten zur Umverteilung fehlen

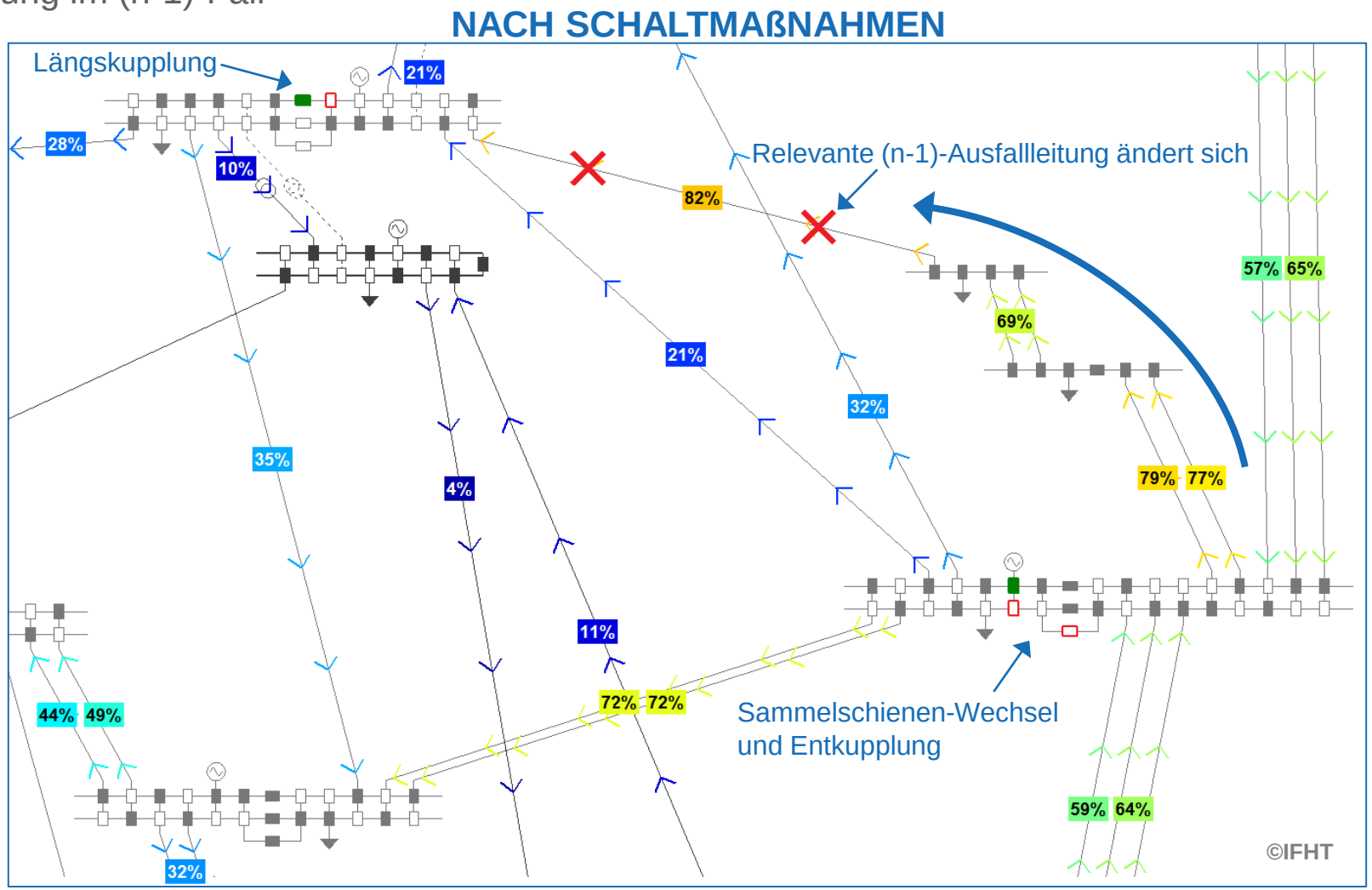




Auslastung im (n-1)-Fall



Auslastung im (n-1)-Fall



Einleitung

Vorstellung ausgewählter Verfahren

- Redispatch
- Schaltmaßnahmen
- Leistungsflusssteuernde Komponenten

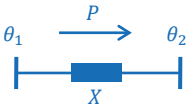
Exemplarischer Anwendungsfall

Zusammenfassung

Modellierung Leistungsflusssteuernder Komponenten

- Leistungsflusssteuernde Komponenten bieten zusätzliche betriebliche Freiheitsgrade indem sie eine gezielte Steuerung der Leistungsflüsse ermöglichen
- Betriebliche Freiheitsgrade:
  - HGÜ: Leistungsübertragung (*P*,*Q*)
  - PST: Phasenwinkel ($\Delta\theta_{PST}$)
  - TCSC: Längstreaktanz (ΔX_{TCSC})
- Diese Freiheitsgrade werden sowohl in der Leistungsflussberechnung als auch in der Redispatch-Simulation berücksichtigt
- Mittels linearer Sensitivitäten wird der Einfluss der Komponenten auf die Leistungsflüsse abgebildet
- Durch die Erweiterung zu einem Gemischt-ganzzahligen linearen Optimierungsproblem kann die Platzierungsentscheidung modelliert und gelöst werden

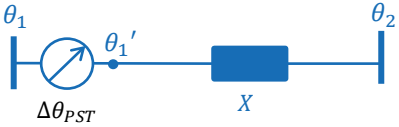
Wirkfluss über eine AC-Leitung: $\boldsymbol{P \approx \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{X}}$



HGÜ:

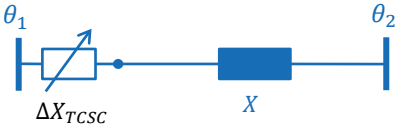
$P_1 = -P_2 + P_{Loss}$

PST:

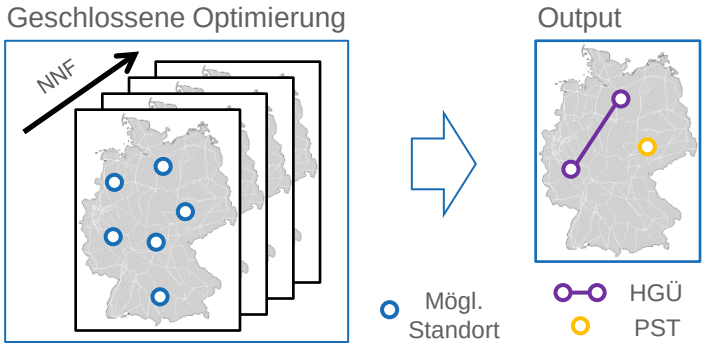


$\Delta\theta_{1,2} = \theta_2 - \theta_1' - \Delta\theta_{PST}$

TCSC:



$X' = X + \Delta X_{TCSC}$



HGÜ: Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-Systeme ; PST: Phasenschiebertransformatoren ; TCSC: Thyristor controlled series compensation; NNF: Netznutzungsfall

Einleitung

Vorstellung ausgewählter Verfahren

- Redispatch
- Schaltmaßnahmen
- Leistungsflusssteuernde Komponenten

Exemplarischer Anwendungsfall

Zusammenfassung

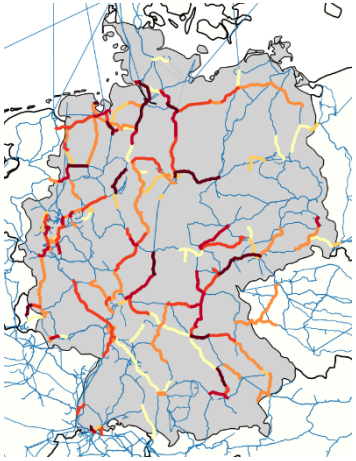
Exemplarischer Anwendungsfall

Platzierung von PST im deutschen Übertragungsnetz

- Anwendung des Verfahrens zur Platzierung von PST auf ein an IFHT entwickeltes Modell des deutschen Übertragungsnetzes

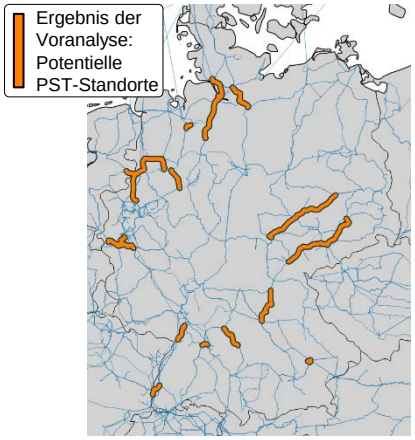
Stufe 1 Voranalyse

Vorauswahl potentieller Standorte auf Basis der Netzengpässe und Analyse der elektrischen Wirkzusammenhänge im Übertragungsnetz
→ Identifikation aussichtsreicher und weiter zu untersuchender Standorte



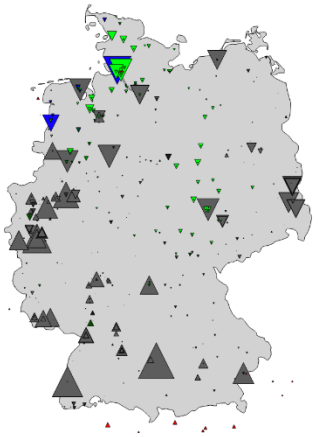
Stufe 2 Geschlossene Optimierung

- Definition der vorausgewählten Standorte als mögliche Lösungen
- Geschlossene Betrachtung repräsentativer NNF und Bau von *N* PST-Standorten (*N*=3,5,6,8)
- Zielfunktion: Minimierung der Redispatchkosten



Stufe 3 Redispatch-Jahresläufe

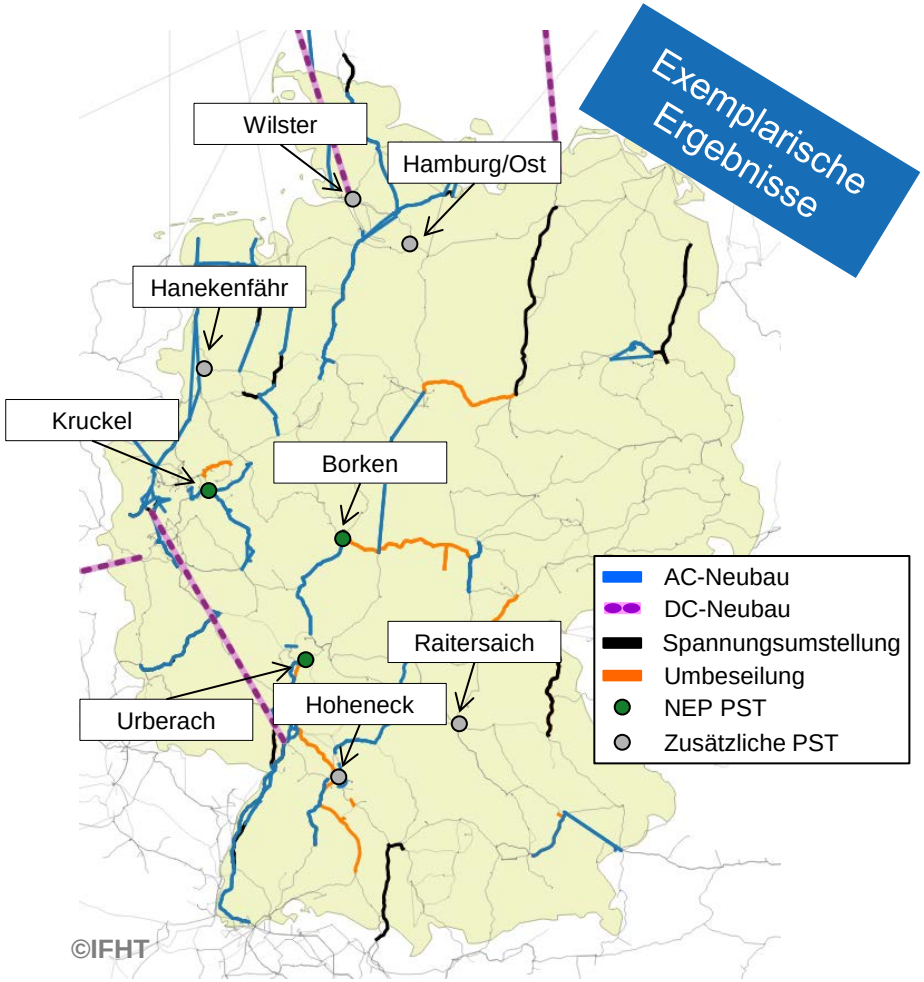
- Analyse der Ergebnisse der geschlossenen Optimierung
- Generation verschiedener Netztopologien, die jeweils eine unterschiedliche Kombination platzierter PST enthalten



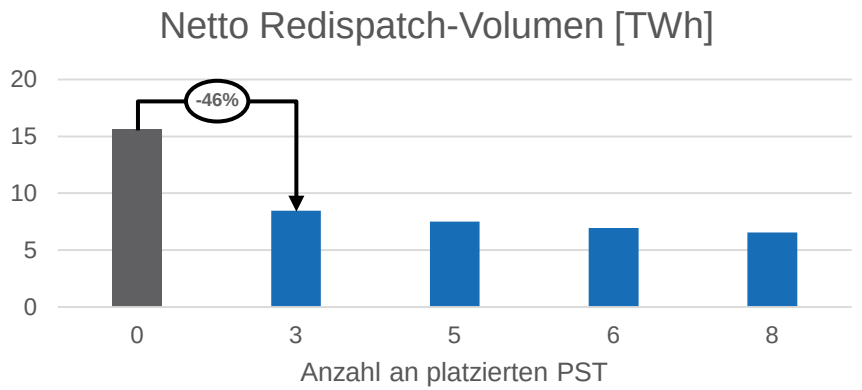
Exemplarischer Anwendungsfall

Platzierung von PST im deutschen Übertragungsnetz

Platzierung von PST an 5 Standorten



- Betrachtet wird ein Zukunftsszenario unter Annahmen eines verzögerten Netzausbaus
- Die Platzierung von PST führt zu einer Reduktion des Redispatch-Volumens
- Mit steigender Anzahl an PST sinkt der Beitrag zur Reduktion von Redispatch
- Infrastrukturelle Hindernisse zur Platzierung von PST an den betrachteten Standorten wurden vernachlässigt



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Aufgrund des verzögerten Netzausbaus erscheint die Berücksichtigung von Flexibilitäten im Rahmen der Netzplanung notwendig
- Am IFHT bestehen mehrere Tools und Verfahren zur Modellierung von betrieblichen Freiheitgraden, die stets weiterentwickelt werden
- Das Redispatch-Tool wird bereits in mehreren netzplanerischen Studien und Projekten eingesetzt

Ausblick

- Standarisierte Anwendung von Schaltmodellen in der Netzsimulation
- Inhärente Berücksichtigung von Schalthandlungen im Redispatch-Tool

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Hans Barrios, M.Sc.
RWTH Aachen University
Institut für Hochspannungstechnik
Abteilung Nachhaltige Energiesysteme

Tel. +49 (0) 241 / 80 94959
barrios@ifht.rwth-aachen.de