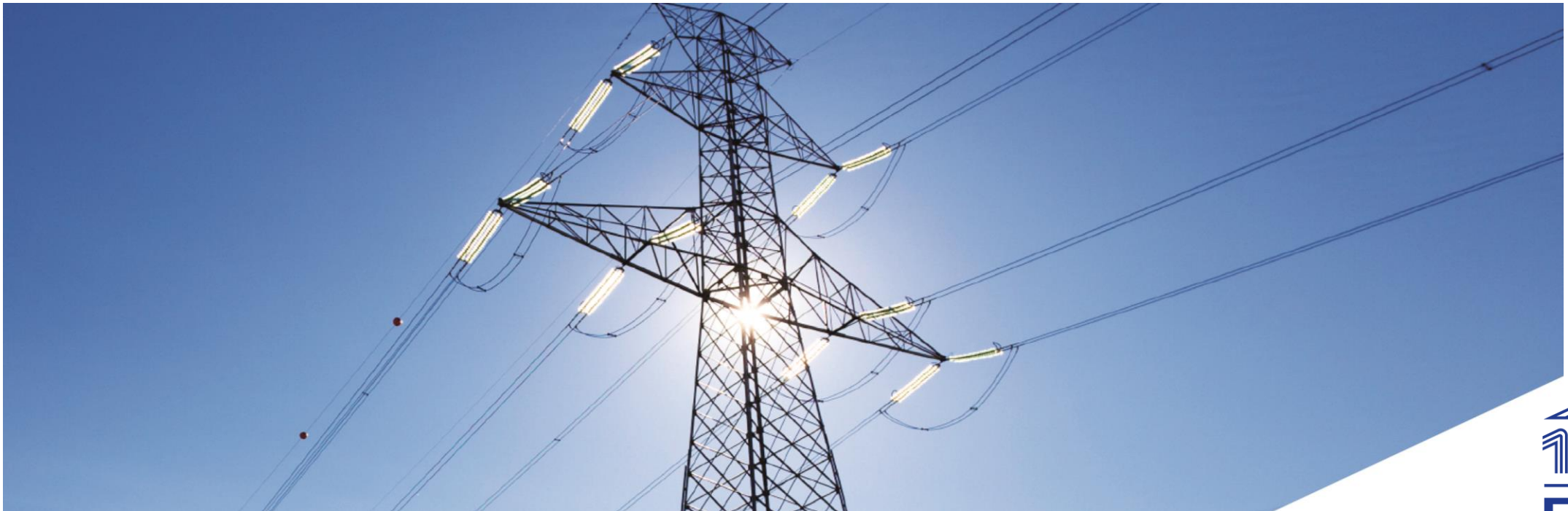


Entwicklung eines Verfahrens zur Berücksichtigung topologischer Maßnahmen in Redispatchsimulationen

M. Sc. Andrea Ewerszumrode

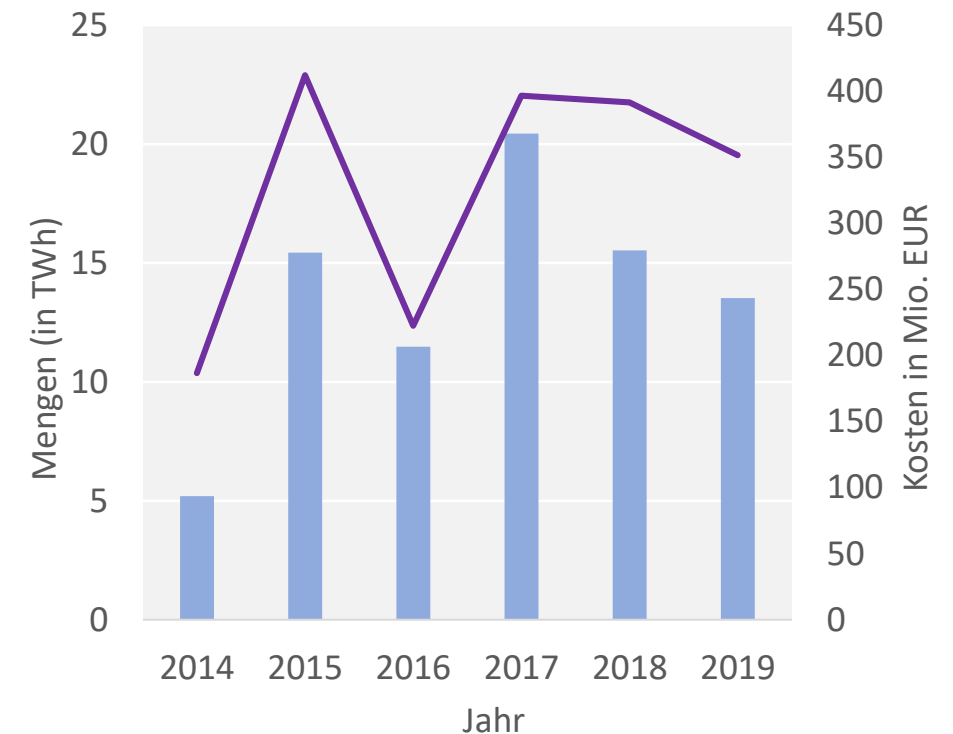
Aachen, 17.02.2022



Herausforderungen im Übertragungsnetzbetrieb

- **Aktueller Wandel des elektrischen Energieversorgungssystems**
 - Rückbau konventioneller Erzeugungskapazitäten durch Kernenergie- und Kohleausstieg
 - Ausbau der Erzeugung auf Basis erneuerbarer Energien (EE-Anlagen)
 - Ausbau grenzüberschreitender Handelskapazitäten
 - Hohe Auslastung der vorhandenen Netzinfrastruktur
 - **Verpflichtung der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) zu sicherem und zuverlässigem Betrieb der Netzinfrastruktur**
 - Prognose der erwarteten Auslastung der Netzinfrastruktur
 - Definition geeigneter Maßnahmen zur Vermeidung von Netzengpässen
- EnWG §13 Abs. 1 definiert Maßnahmenkatalog der ÜNB
1. Netzbezogene Maßnahmen: Transformatorstufung, topologische Maßnahmen
 2. Marktbezogenen Maßnahmen: Redispatch
 3. Zusätzliche Reserven: Netzreserve
- Berechnungs- und Optimierungswerkzeuge zur Quantifizierung von Maßnahmen im Netzbetrieb notwendig

Entwicklung von Redispatch Mengen und Kosten *



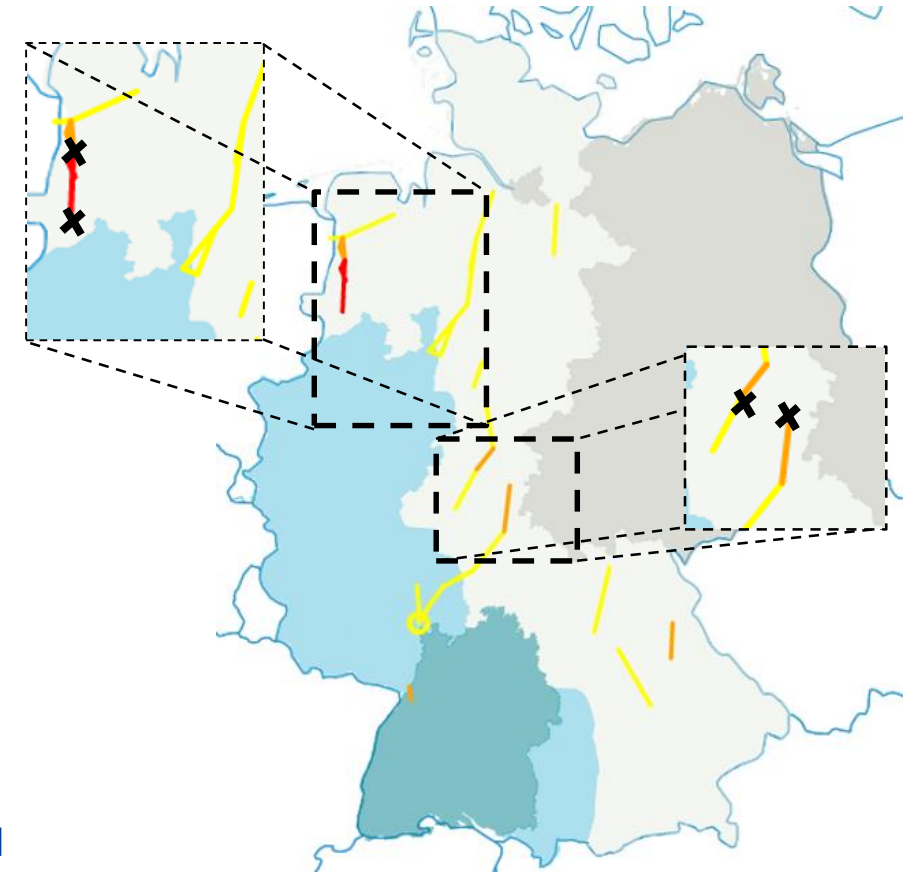
■ Redispatch-Menge gesamt (Erhöhung & Reduzierung) in TWh
— Kosten in Mio. €

Motivation und Zielsetzung

Heutige Vorgehensweise

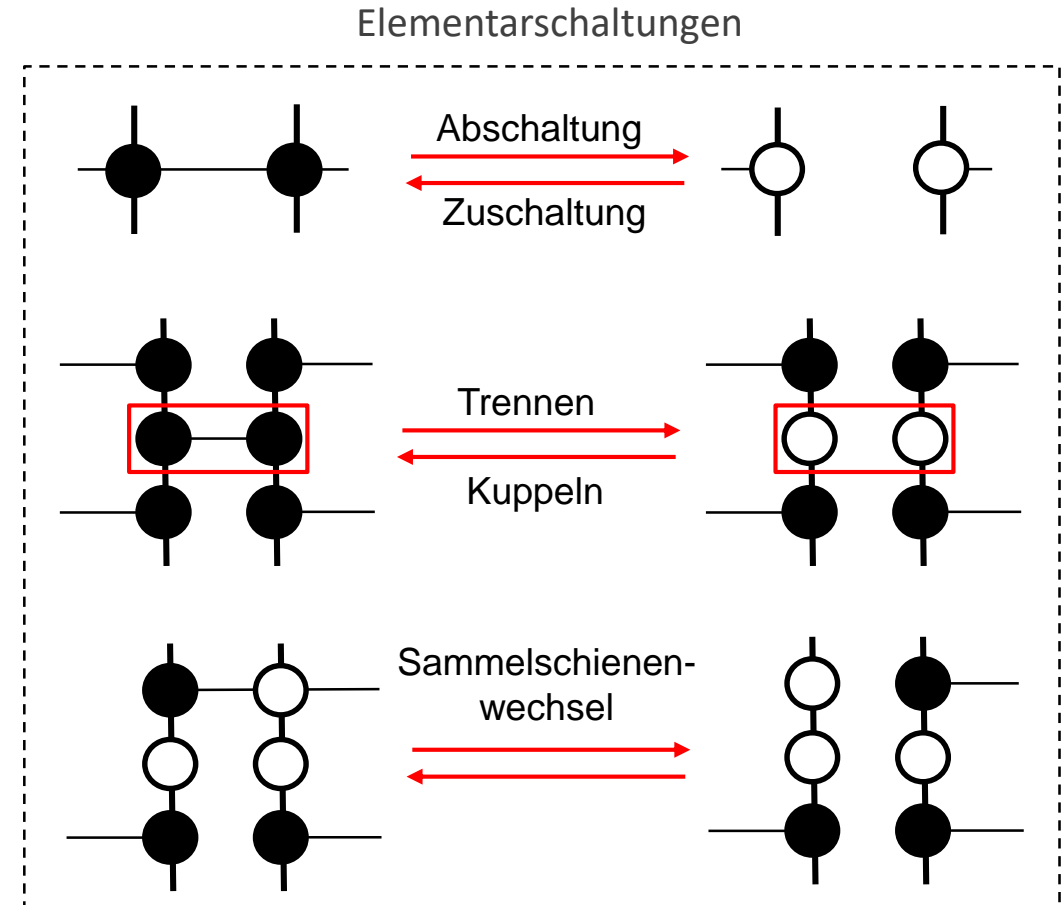
- Optimierung von Maßnahmen berücksichtigt Transformatorstufungen, Redispatch und Netzreserven
- Netzbezogene Maßnahmen kostengünstig für ÜNB
- Auswahl topologischer Schaltmaßnahmen auf Basis von Betriebserfahrung
 - Vielzahl möglicher topologischer Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen
 - Wechselwirkungen zwischen Maßnahmen
 - Betrachtung der Auswirkungen auf alle relevanten Zweige notwendig
 - Komplexes kombinatorisches Problem
- Veränderung der Lastflusssituation durch Wandel im Übertragungsnetz
 - Auswahl topologischer Maßnahmen basierend auf Betriebserfahrung erschwert
 - Objektive Bewertungsverfahren zur Auswahl topologischer Maßnahmen sinnvoll

→ Ziel: Entwicklung eines Verfahrens zur Berücksichtigung topologischer Maßnahmen in Redispatchsimulationen



Topologische Maßnahmen

- Veränderung der Netztopologie durch Ein-, Aus- und Umschalten von Netzelementen
 - Topologische Maßnahmen basieren auf Elementarschaltungen
 - Abschalten und Zuschalten von Leitungen oder Transformatoren
 - Kuppeln und Trennen von Sammelschienen
 - Sammelschienenwechsel von Lasten, Erzeugern, Leitungen oder Transformatoren
- Vielzahl von Kombinationen im Netzbetrieb umsetzbar
- Verbesserungspotential durch topologische Maßnahmen möglich
 - Exakte Bewertung mittels Lastflussberechnungen für alle Kombinationen topologischer Maßnahmen sehr zeitintensiv
- Approximationen für die Bewertung von topologischen Maßnahmen in täglichen Betriebsplanungsprozessen notwendig

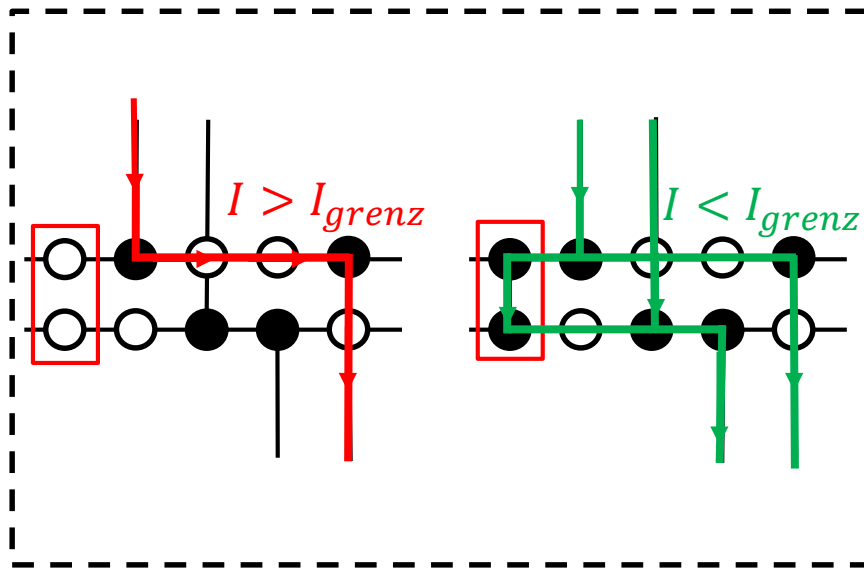


Topologische Maßnahmen zur Behebung von Netzengpässen

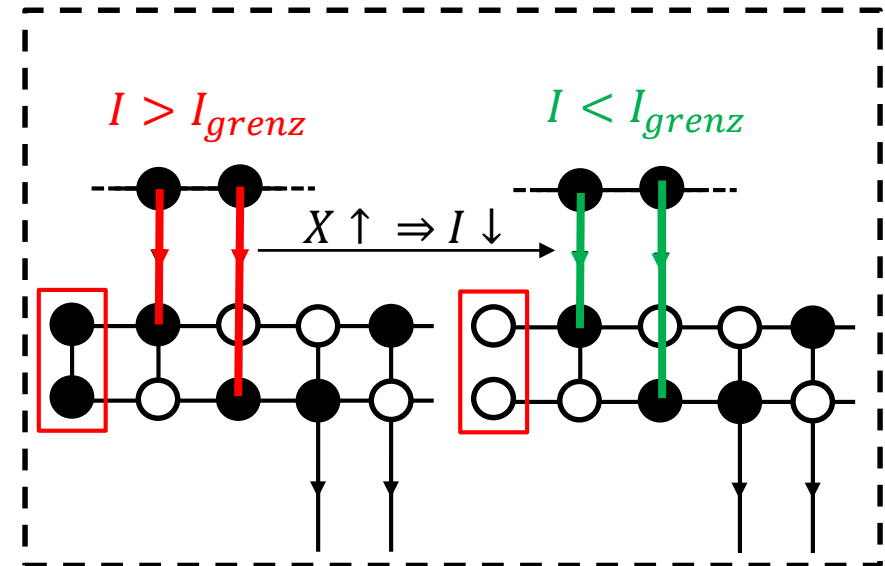
- Erhöhung der Vermaschung durch Schließen von Zweigen und Sammelschienenkupplungen

- Erhöhung der Impedanz durch Öffnen von Zweigen und Sammelschienenkupplungen (Impedanzverlängerung)

Erhöhung der Vermaschung



Impedanzverlängerung



→ Beeinflussung der Leistungsflüsse durch topologische Maßnahmen möglich

Modell zur Abbildung von Schalthandlungen

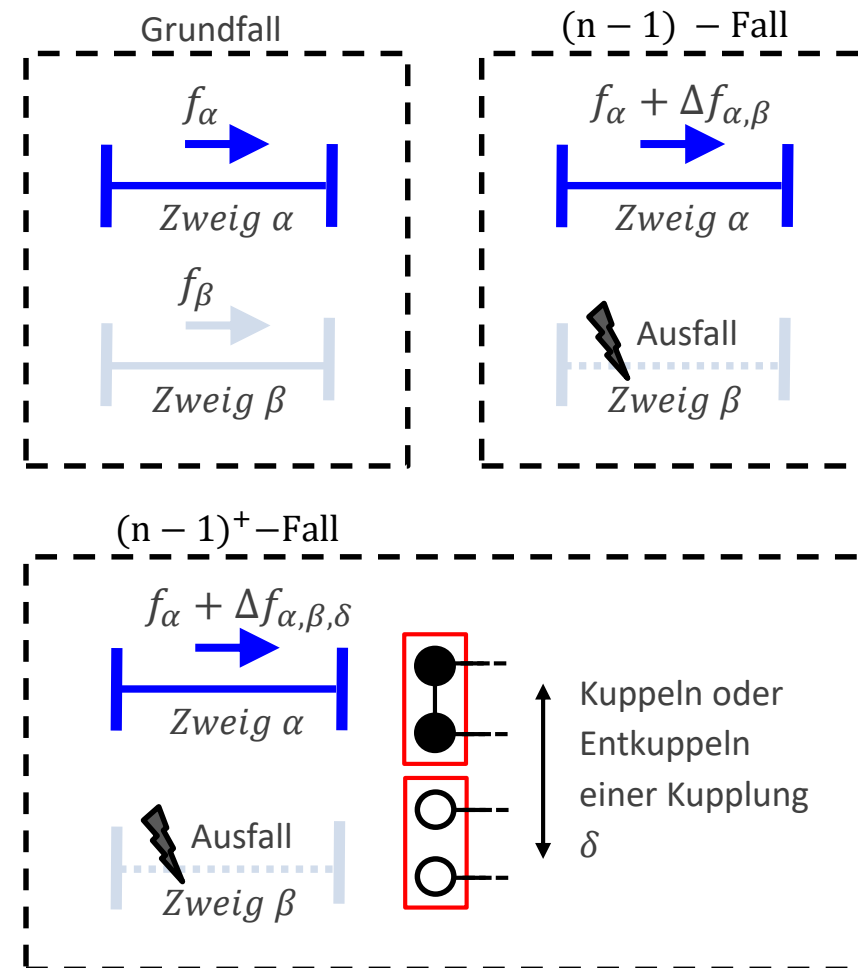
- Betrachtung $(n - 1)^+ - \text{Fall}$
 - Ausfall eines Zweigs β im Netz
 - Durchführung einer Schalthandlung (Öffnen/Schließen eines Schaltgeräts)

Approximation des betrachteten Falls

- Approximation des Stroms über zuvor geöffnete Kupplung
- Ermittlung einer Näherungslösung für Ströme nach Ausfällen und topologischen Maßnahmen mittels Sensitivitätsberechnung
- Abbildung der Änderung des Strom-/Leistungsflusses über Line Outage Distribution Factors (LODFs) oder Line Closure Distribution Factors (LCDFs)

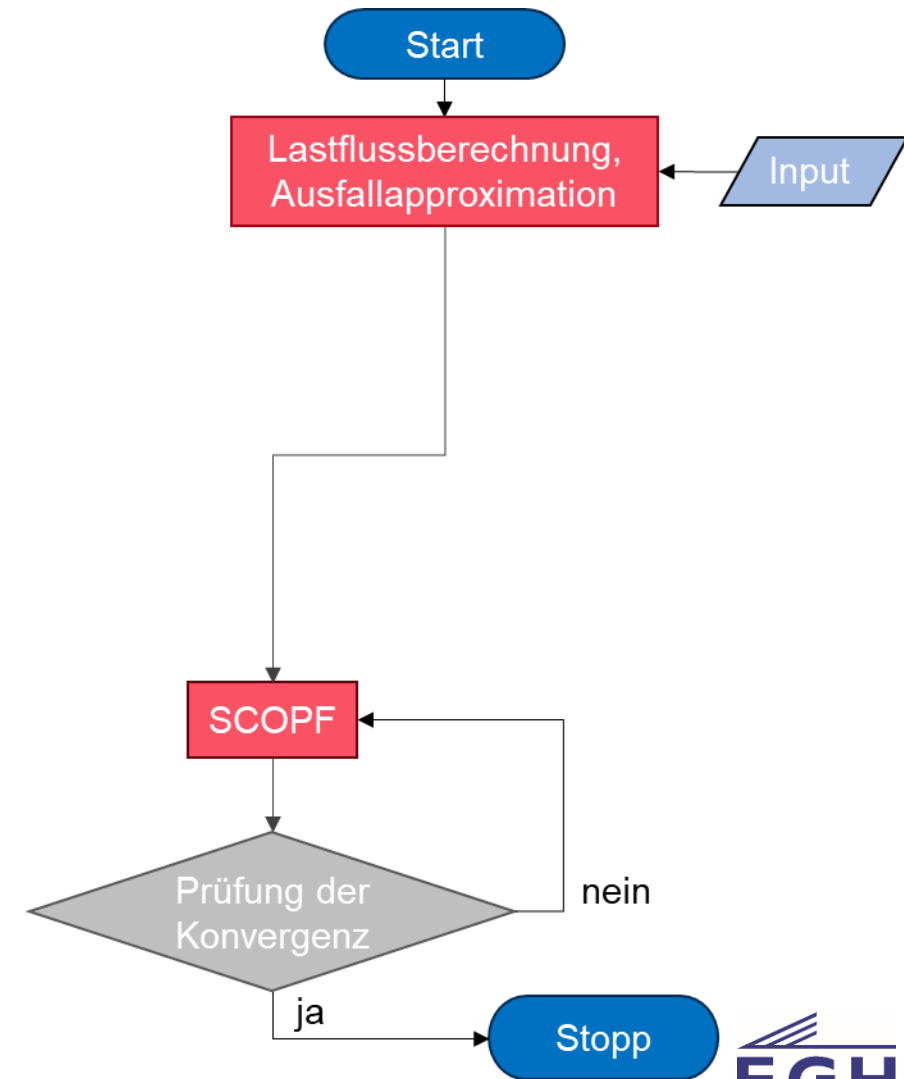
$$d_{\alpha,\beta} = \frac{\Delta f_{\alpha,\beta}}{f_{\beta}} \quad \text{oder} \quad d_{\alpha,\delta} = \frac{\Delta f_{\alpha,\delta}}{f_{\delta}}$$

- Überlagerung der Auswirkung des Ausfalls und der topologischen Maßnahmen möglich



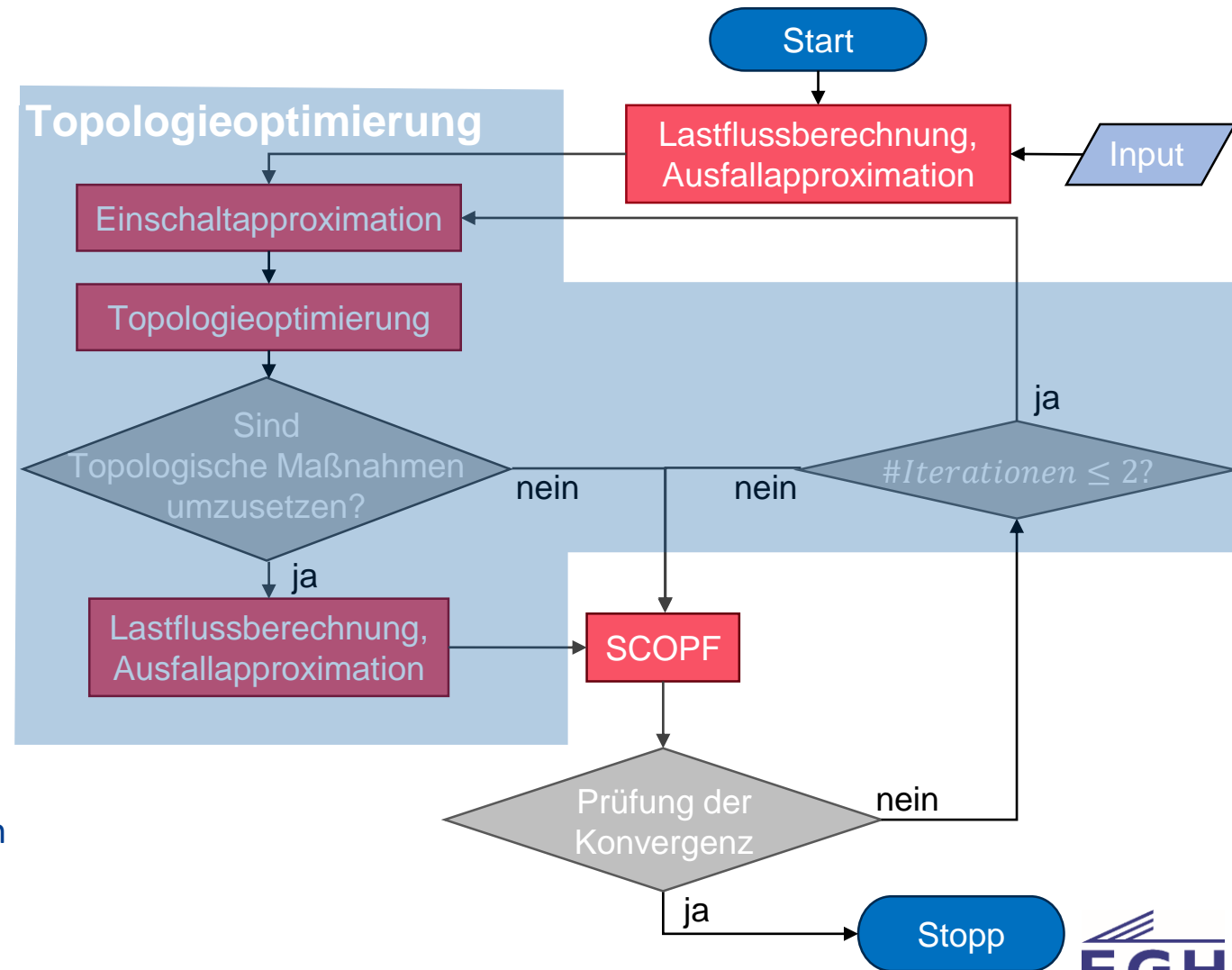
Heutiges Vorgehen: Redispatchsimulation

- Initiale Lastflussberechnung und Ausfallapproximation
- Security Constrained Optimal Power Flow (SCOPF)
 - Optimiert Redispatch, Trafostufen und PSTs
 - Aufstellen und Lösen eines gemischt ganzzahligen Optimierungsproblems
 - Linearisierte Berechnung ermöglicht schnelle Berechnungen
- Iterative Berechnung des SCOPF
 - Prüfung der Konvergenz nach Maßnahmeneinsatz
 - Maximale Anzahl Iterationen als Abbruchkriterium
- Topologische Maßnahmen als Input berücksichtigt
 - Betrachtung einer einzelnen Topologie im SCOPF
 - Umsetzung topologischer Maßnahmen basierend auf Erfahrungswerten
 - Erneute Simulation zur Betrachtung weiterer topologischer Maßnahmen notwendig
→ Objektivierung topologischer Maßnahmen und Integration in Optimierung sinnvoll



Modifiziertes Verfahren

- Weiterer Input: zulässige topologische Maßnahmen
 - Einschaltapproximation zur Abbildung des Schließens von Zweigen
 - Topologieoptimierung entkoppelt vom Redispatch
 - Geringere Komplexität → schnelle Lösbarkeit
 - Optimierungsziel: Reduktion der gesamten Engpassleistung
 - Begrenzung maximal gleichzeitig durchzuführender topologischer Maßnahmen möglich
- Umsetzung sinnvoller topologischer Maßnahmen
- Prüfung auf Konvergenz in Gesamtverfahren
 - Topologieoptimierung erfolgt nur 1. und 2. Iteration
- Vermeidung zyklischen Schaltens im Verfahren
- Integrierte Betrachtung von netz-/ und marktbezogenen Maßnahmen im Verfahren möglich



Topologieoptimierung

- Netzdatensatz des europäischen Übertragungsnetzes

- Initial 48 Netzengpässe - (n-1)-Fall

1. Iteration Topologieoptimierung

- Öffnen von 5 Kupplungen
- Reduktion der aggregierten Engpassleistung um ~18%

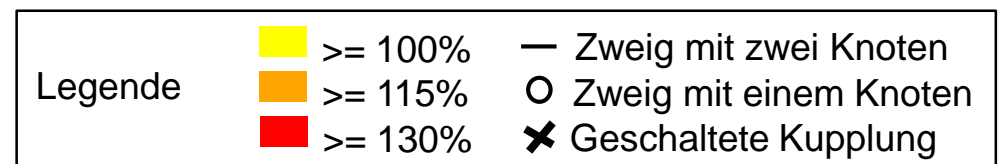
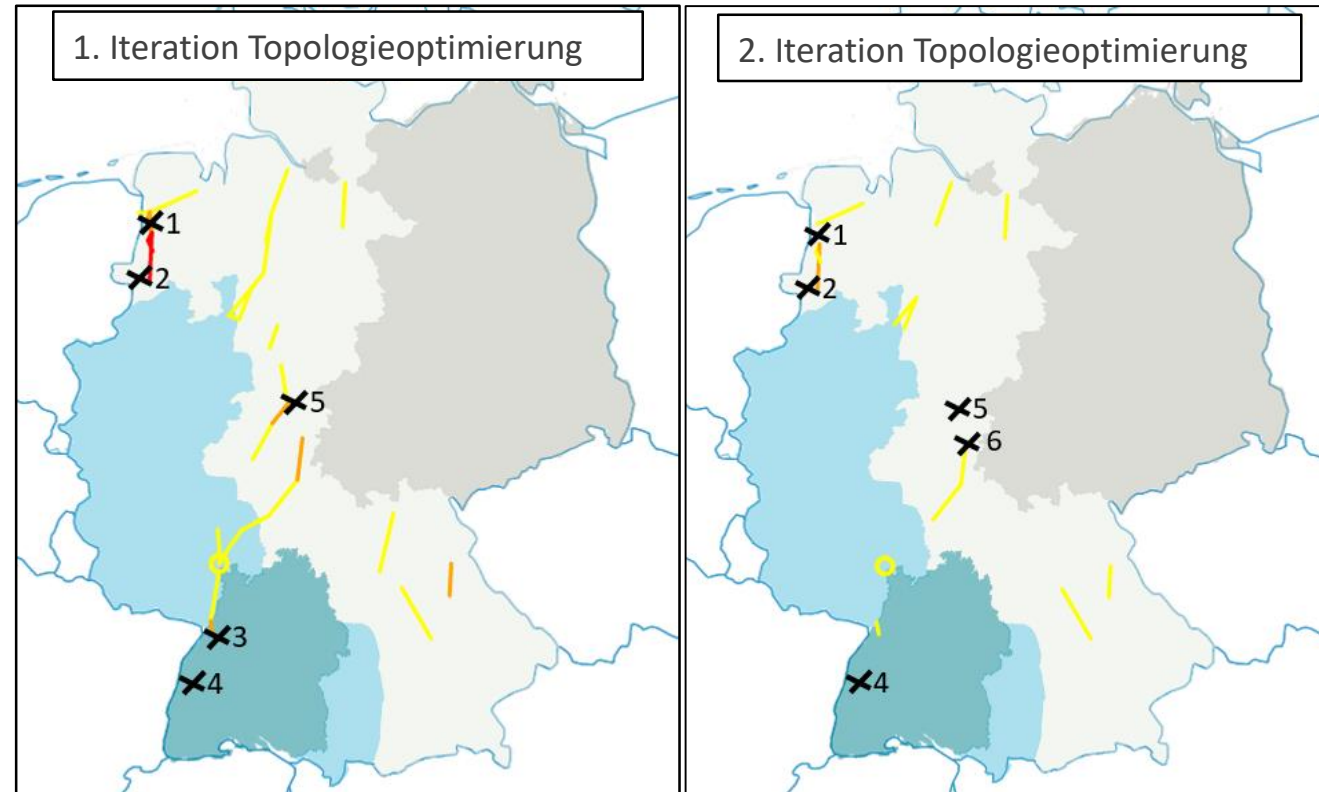
1. Iteration SCOPF

- Maßnahmeneinsatz Redispatch und Trafostufen
- Verbleibend: 21 Netzengpässe

2. Iteration Topologieoptimierung

- Rücknahme Kupplung 3, Öffnen Kupplung 6
- Reduktion der aggregierten Engpassleistung um weitere ~ 3%

→Optimierungsziel erreicht (gesamte Engpassleistung reduziert)



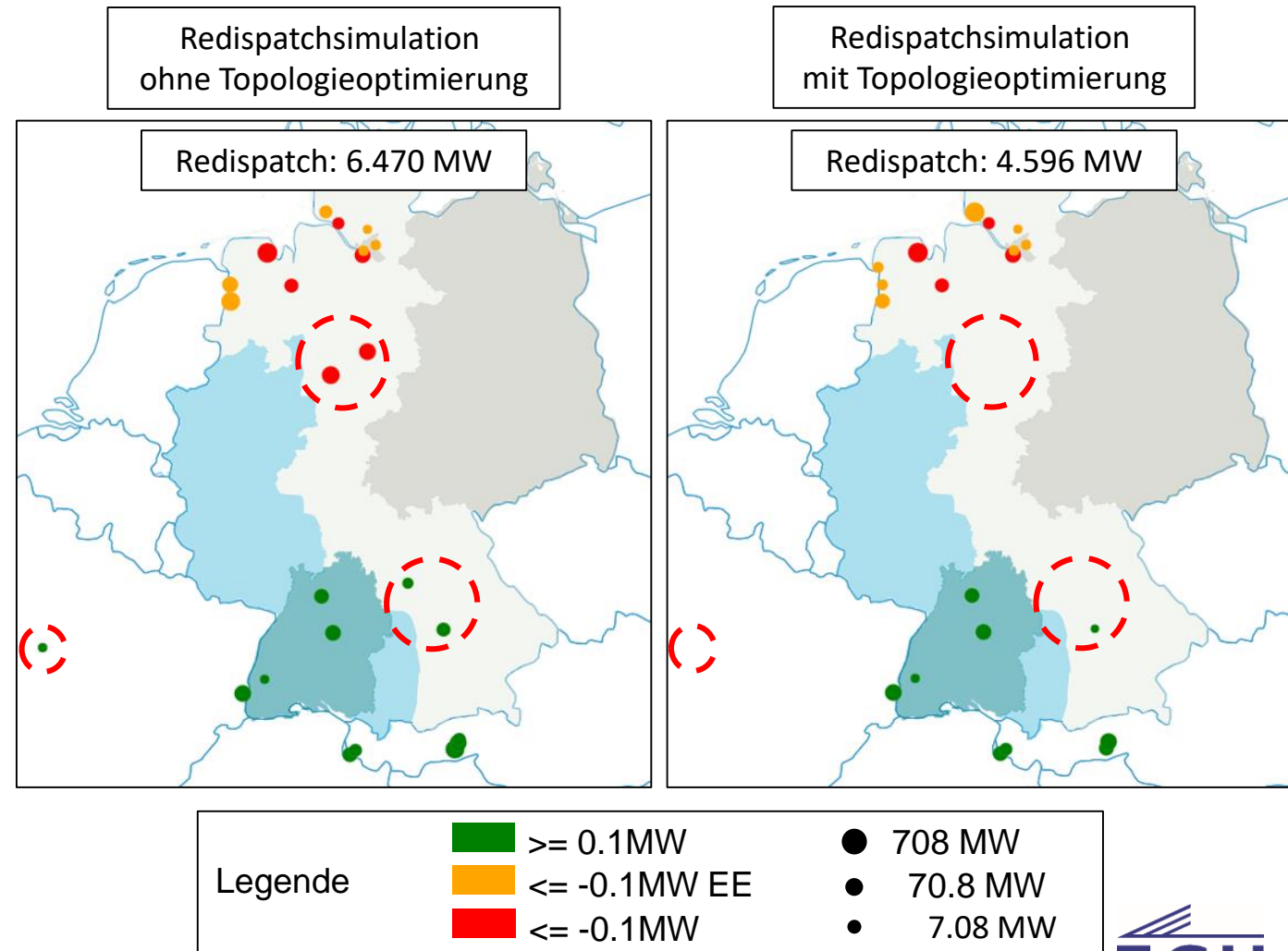
Validierung der Ergebnisse

- Validierung der Topologieoptimierung durch Vergleich mit Normalschaltzustand
- Überprüfung 37 netzbetrieblich bekannter topologischer Maßnahmen

Im Vergleich:

- Ersatz von notwendigem Redispatch durch topologische Maßnahmen
 - Weniger Reduktion der Erzeugungsleistung im Norden
 - Weniger Erhöhung der Erzeugungsleistung im Süden
→ Insgesamt weniger Redispatch notwendig
- Reduktion der Engpassleistung führt zu Reduktion der Redispatchmenge um ~ 29%

→ Senkung des notwendigen Bedarfs an marktbezogenen Maßnahmen durch Topologieoptimierung



Zusammenfassung und Ausblick

Einleitung

- Objektive Bewertungsverfahren zur Auswahl topologischer Maßnahmen sinnvoll
- Ziel: Entwicklung eines Verfahrens zur Berücksichtigung topologischer Maßnahmen in Redispatchsimulationen

Analyse

- Betrachtung von topologischen Maßnahmen zur Gewährleistung der Netzsicherheit sinnvoll
- Notwendigkeit von Approximationen aufgrund zeitkritischer Prozesse

Modellbildung und Verfahren

- Iterative Optimierung topologischer Maßnahmen entkoppelt von Redispatchoptimierung basierend auf Approximationen

Exemplarische Untersuchungen

- Potential zur Reduktion von Redispatchmaßnahmen um bis zu 29%

Entwicklung eines Verfahrens zur Berücksichtigung topologischer Maßnahmen in Redispatchsimulationen

M. Sc. Andrea Ewerszumrode (andrea.ewerszumrode@fgh-ma.de)

