

Einfluss der Modellierungsgenauigkeit des Höchstspannungsnetzes auf die Simulation von Hochspannungsnetzen

Annika Klettke, IAEW, RWTH Aachen University

Einleitung

Projekt SimBench

- Energiewende führt zu veränderter Netznutzung und somit zu Herausforderungen in Übertragungs- und Verteilnetzen
- Zukünftig neue Berechnungsmethoden für die Simulation von Netzbetrieb und Netzplanung in allen Spannungsebenen erforderlich
- Ziel: Entwicklung eines Benchmarkdatensatzes in Form von Netzmodellen und zugehörigen Zeitreihen, der einen Vergleich neu entwickelter Methoden ermöglicht

Benchmarkdatensätze für die Hochspannungsebene

- Ausbau dezentraler Erzeugungsanlagen führt zu verstärkt aktivem Netzbetrieb der Verteilnetze sowie zunehmendem Betrieb der Übertragungs- und Verteilnetze an ihren betrieblichen Grenzen
- Zunahme der Wechselwirkungen insbesondere zwischen Hoch- und Höchstspannungsnetzen zu erwarten
- Inwieweit können diese Wechselwirkungen für Benchmarkdatensätze für die Hochspannungsebene über vereinfachte Modelle der Höchstspannungsebene abgebildet werden?



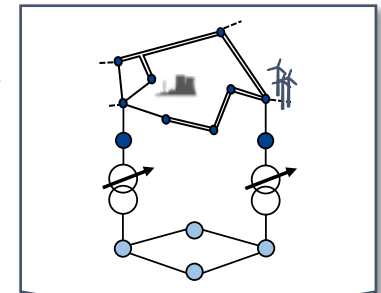
Modellierung der HöS-Ebene

- Ausgehend von vollständiger Modellierung des HöS-Netzes, Ableitung vereinfachter Netzabbildungen
- Zentrale Anforderungen an Benchmarkdatensatz der HS-Ebene
 - Geringe Komplexität der HöS-Modellierung
 - Möglichst genaue Abbildung der Wechselwirkungen zwischen HöS- und HS-Ebene

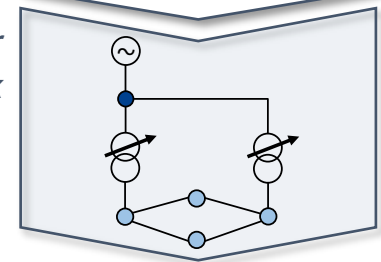
“Einzelner Slack”

- Verbindung der überspannungsseitigen Sammelschienen der HöS/HS-Transformatoren über impedanzlose Leitungen
- Einführung eines einzelnen Slack-Knotens, der die Wirkleistungsbilanzierung übernimmt
- Modellierung erfordert keine Kenntnis der Topologie und der Netznutzungssituationen des HöS-Netzes

*Vollst.
Abbildung*



*Einzelner
Slack*



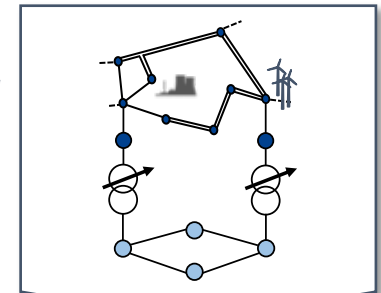
Modellierung der HöS-Ebene

- Ausgehend von vollständiger Modellierung des HöS-Netzes, Ableitung vereinfachter Netzabbildungen
- Zentrale Anforderungen an Benchmarkdatensatz der HS-Ebene
 - Geringe Komplexität der HöS-Modellierung
 - Möglichst genaue Abbildung der Wechselwirkungen zwischen HöS- und HS-Ebene

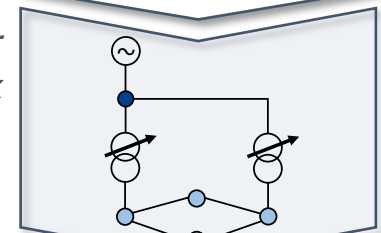
“Verteilter Slack”

- Keine Verbindung der überspannungsseitigen Sammelschienen der HöS/HS-Transformatoren
- Einführung von Ersatzgeneratoren an jeder überspannungsseitigen Sammelschiene der HöS/HS-Transformatoren
- Wirkleistungsbilanzierung des HS-Netzes über alle Ersatzgeneratoren
- Modellierung erfordert keine Kenntnis der Topologie und der Netznutzungssituationen des HöS-Netzes

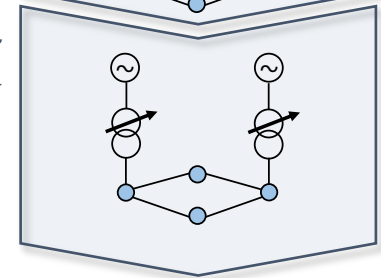
*Vollst.
Abbildung*



*Einzelner
Slack*



*Verteilter
Slack*

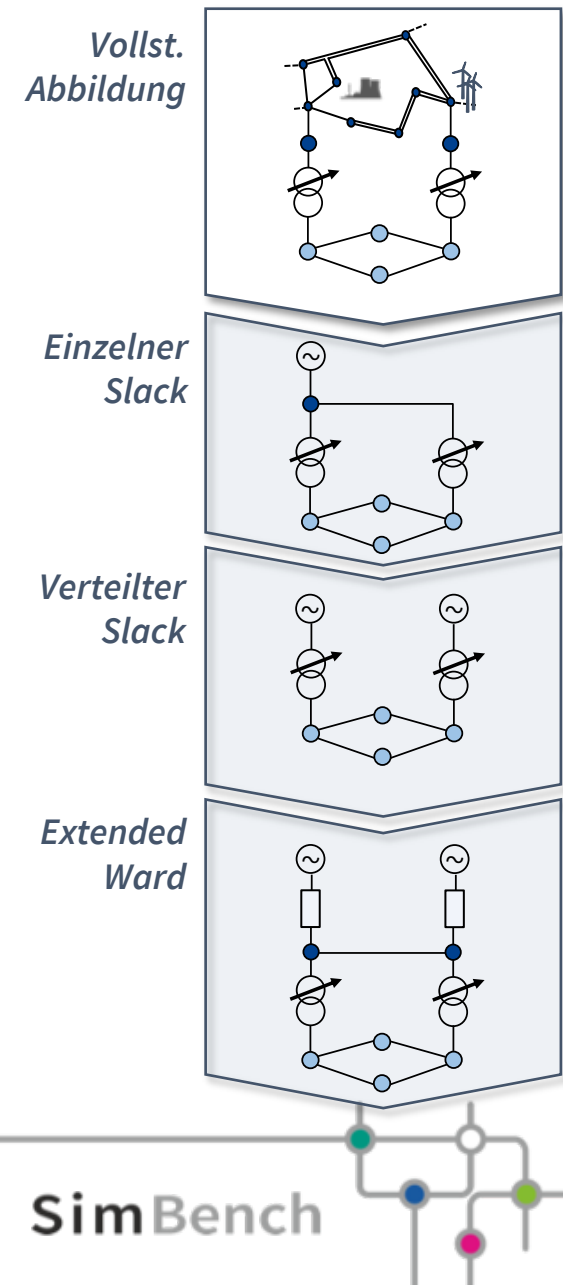


Modellierung der HöS-Ebene

- Ausgehend von vollständiger Modellierung des HöS-Netzes, Ableitung vereinfachter Netzabbildungen
- Zentrale Anforderungen an Benchmarkdatensatz der HS-Ebene
 - Geringe Komplexität der HöS-Modellierung
 - Möglichst genaue Abbildung der Wechselwirkungen zwischen HöS- und HS-Ebene

“Extended Ward”

- Etabliertes Netzwerkreduktionsverfahren mit exakter Abbildung des stationären Arbeitspunktes
- Modellierung des HöS-Netzes über Ersatzknoten und Leitungen an Netzverknüpfungspunkten
- Modellierung erfordert Ergebnisse einer Lastflussberechnung des vollständigen Netzmodells sowie konstante Topologie
- Detaillierte Kenntnis der Topologie und der Netznutzungssituationen des HöS-Netzes erforderlich



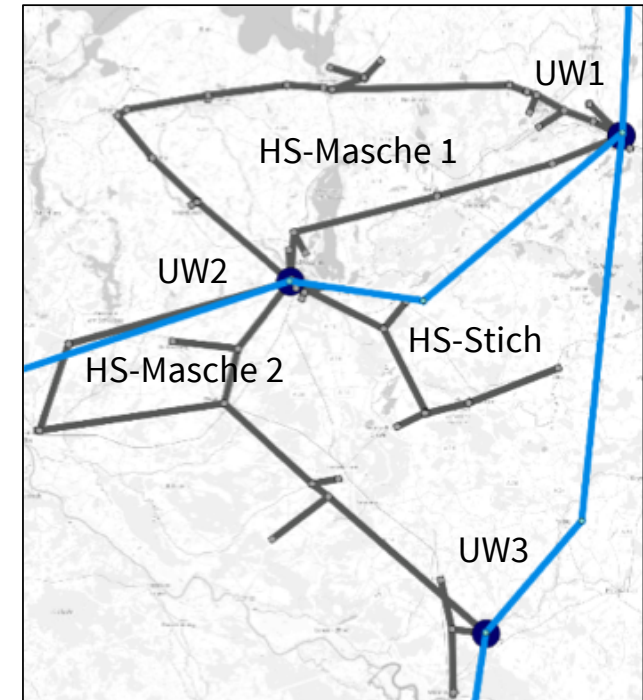
Untersuchungsszenario

Netzgenerierung

- Generierung des HS-Netzes im Rahmen des Projektes *SimBench*
- Netzmodell basierend auf georeferenzierten Daten von OpenStreetMap
- Anwendung verschiedener Algorithmen zur Überführung in rechenfähiges Knoten-Zweig-Modell

Netzmodell

- HS-Netzmodell
 - 74 Standorte, 77 Sammelschienen
 - Installierte EE-Leistung: 1.562 MW
- HöS-Netzmodell
 - Parametrierung auf Basis von Szenario B, NEP 2023
 - Drei Verknüpfungspunkte zwischen HöS- und HS-Netz
 - Regelung der HöS/HS-Transformatoren auf eine unterspannungsseitige Sollspannung



- 380 kV Leitungen
- 110 kV Leitungen
- Umspannwerk (UW)
 - 380 kV Knoten
 - 110 kV Knoten



(n-1)-Leitungsauslastungen

- Zentrale Wechselwirkungen zwischen HöS- und HS-Ebene durch Betriebsmittelausfälle
- Jahressimulation von Betriebsmittelausfällen
- Vergleich mit vollständiger HöS-Netzmodellierung

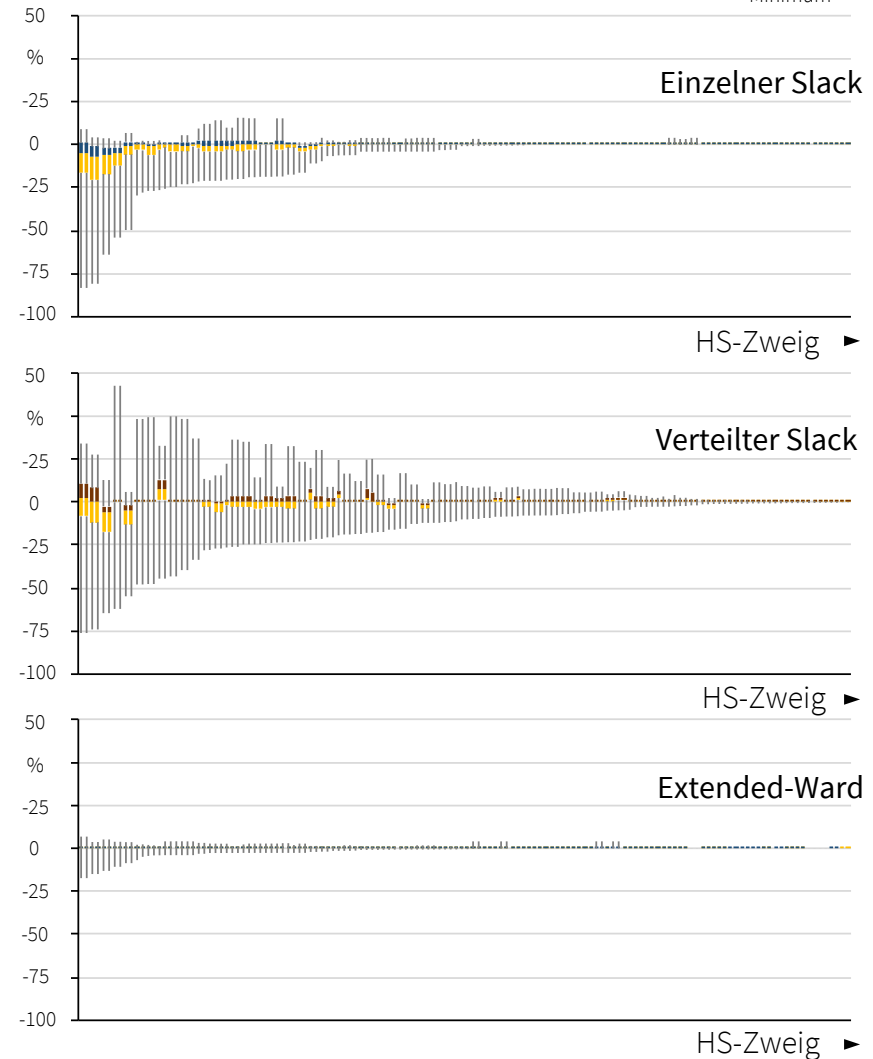
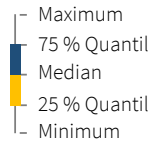
“Einzelner Slack” und “Verteilter Slack”

- In einer Vielzahl der Stunden und für viele HS-Leitungen Fehler im Bereich weniger Prozentpunkte
- In einzelnen Situationen (hoher HöS-Leistungstransport) Modellierungsfehler von bis zu 75 Prozentpunkten

“Extended Ward”

- Signifikante Reduktion der Abbildungsfehler der maximal auftretenden (n-1)-Leitungsauslastungen

Modellierungsfehler der (n-1)-
Leitungsauslastungen
(Jahressimulation)



(n-1)-Leitungsauslastungen

- Zentrale Wechselwirkungen zwischen HöS- und HS-Ebene durch Betriebsmittelausfälle
- Jahressimulation von Betriebsmittelausfällen
- Vergleich mit vollständiger HöS-Netzmodellierung

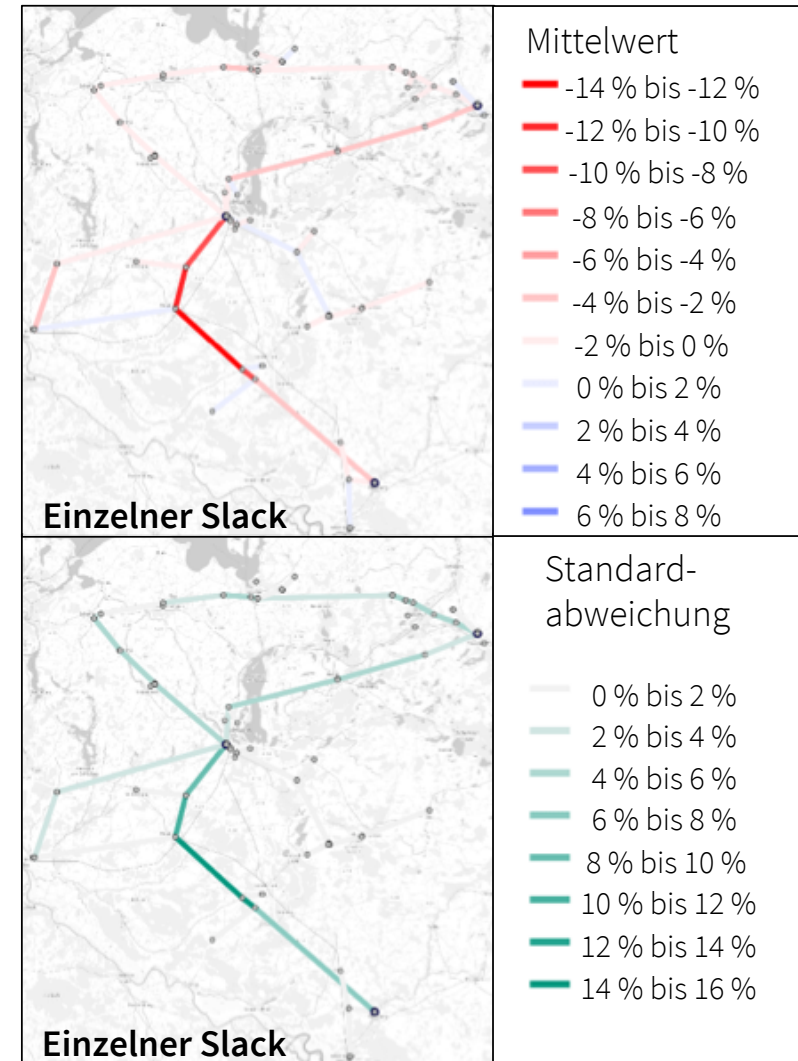
“Einzelner Slack” und “Verteilter Slack”

- In einer Vielzahl der Stunden und für viele HS-Leitungen Fehler im Bereich weniger Prozentpunkte
- In einzelnen Situationen (hoher HöS-Leistungstransport) Modellierungsfehler von bis zu 75 Prozentpunkten

“Extended Ward”

- Signifikante Reduktion der Abbildungsfehler der maximal auftretenden (n-1)-Leitungsauslastungen

Geographische Verteilung der Modellierungsfehler der (n-1)-Leitungsauslastungen



(n-1)-Leitungsauslastungen

- Zentrale Wechselwirkungen zwischen HöS- und HS-Ebene durch Betriebsmittelausfälle
- Jahressimulation von Betriebsmittelausfällen
- Vergleich mit vollständiger HöS-Netzmodellierung

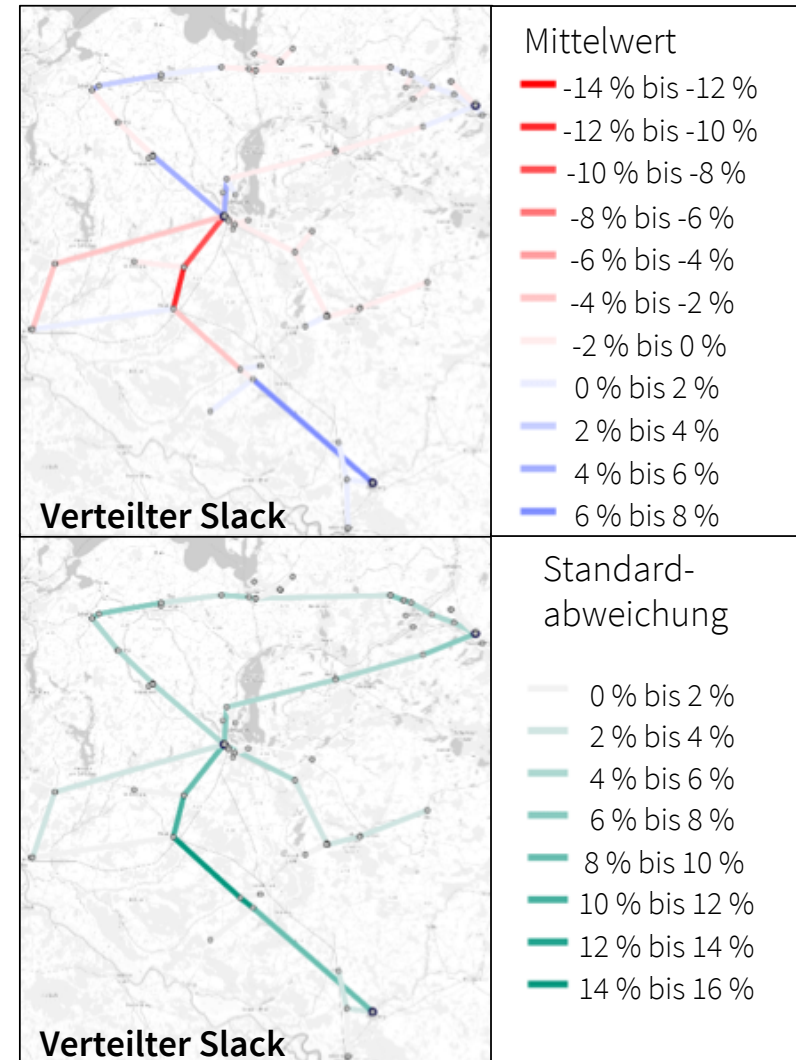
“Einzelner Slack” und “Verteilter Slack”

- In einer Vielzahl der Stunden und für viele HS-Leitungen Fehler im Bereich weniger Prozentpunkte
- In einzelnen Situationen (hoher HöS-Leistungstransport) Modellierungsfehler von bis zu 75 Prozentpunkten

“Extended Ward”

- Signifikante Reduktion der Abbildungsfehler der maximal auftretenden (n-1)-Leitungsauslastungen

Geographische Verteilung der Modellierungsfehler der (n-1)-Leitungsauslastungen



(n-1)-Knotenspannungen

- Zentrale Wechselwirkungen zwischen HöS- und HS-Ebene durch Betriebsmittelausfälle
- Jahressimulation von Betriebsmittelausfällen
- Vergleich mit vollständiger HöS-Netzmodellierung

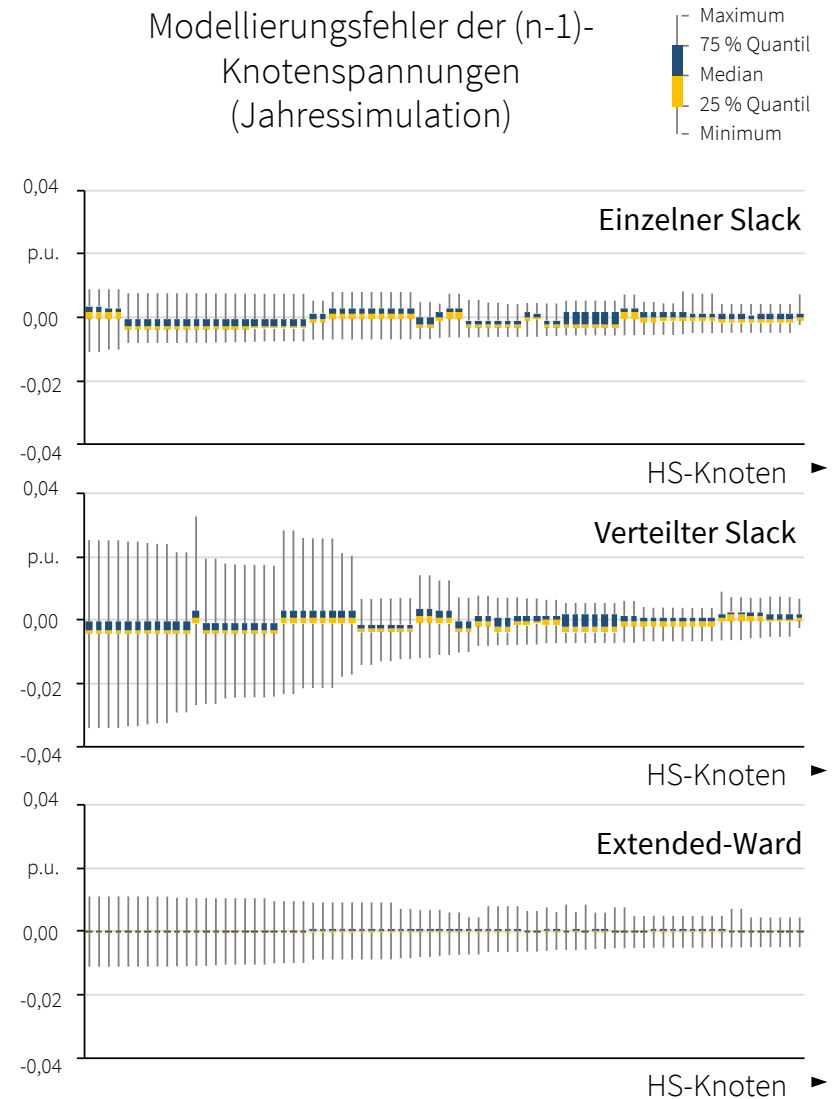
“Einzelner Slack” und “Verteilter Slack”

- Im Vergleich zu (n-1)-Leitungsauslastungen geringe Fehler der (n-1)-Knotenspannungen aufgrund der Spannungsregelung der HöS/HS-Transformatoren
- Im Vergleich zu (n-1)-Leitungsauslasten gleichmäßigere Verteilung der Fehler der (n-1)-Knotenspannungen innerhalb des HS-Netzes

“Extended Ward”

- Signifikante Reduktion der Abbildungsfehler der maximal auftretenden (n-1)-Knotenspannungen

Modellierungsfehler der (n-1)-Knotenspannungen (Jahressimulation)



(n-1)-Knotenspannungen

- Zentrale Wechselwirkungen zwischen HöS- und HS-Ebene durch Betriebsmittelausfälle
- Jahressimulation von Betriebsmittelausfällen
- Vergleich mit vollständiger HöS-Netzmodellierung

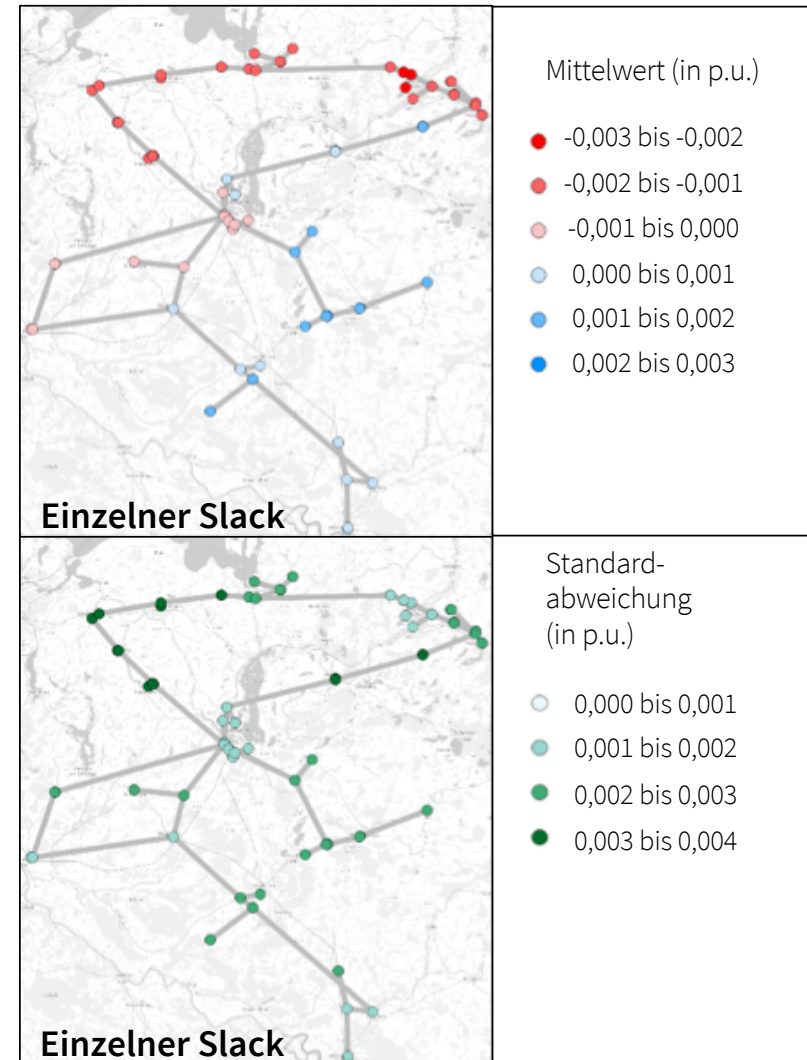
“Einzelner Slack” und “Verteilter Slack”

- Im Vergleich zu (n-1)-Leitungsauslastungen geringe Fehler der (n-1)-Knotenspannungen aufgrund der Spannungsregelung der HöS/HS-Transformatoren
- Im Vergleich zu (n-1)-Leitungsauslasten gleichmäßigere Verteilung der Fehler der (n-1)-Knotenspannungen innerhalb des HS-Netzes

“Extended Ward”

- Signifikante Reduktion der Abbildungsfehler der maximal auftretenden (n-1)-Knotenspannungen

Geographische Verteilung der Modellierungsfehler der (n-1)-Knotenspannungen



(n-1)-Knotenspannungen

- Zentrale Wechselwirkungen zwischen HöS- und HS-Ebene durch Betriebsmittelausfälle
- Jahressimulation von Betriebsmittelausfällen
- Vergleich mit vollständiger HöS-Netzmodellierung

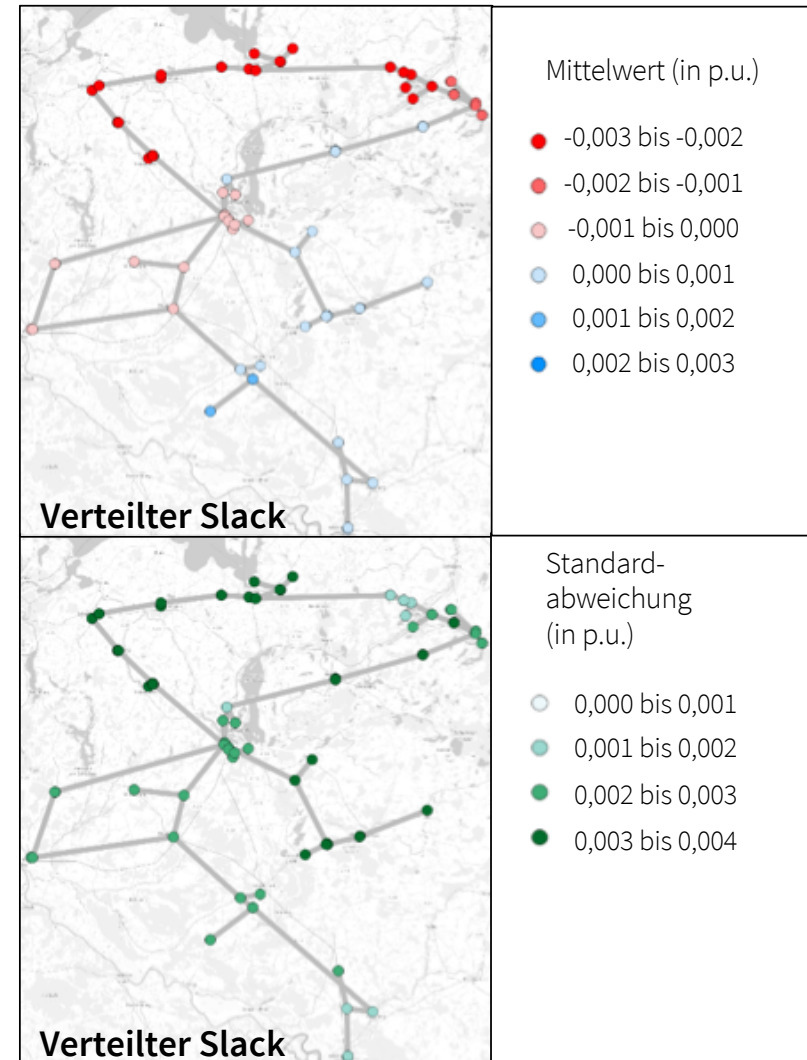
“Einzelner Slack” und “Verteilter Slack”

- Im Vergleich zu (n-1)-Leitungsauslastungen geringe Fehler der (n-1)-Knotenspannungen aufgrund der Spannungsregelung der HöS/HS-Transformatoren
- Im Vergleich zu (n-1)-Leitungsauslasten gleichmäßigere Verteilung der Fehler der (n-1)-Knotenspannungen innerhalb des HS-Netzes

“Extended Ward”

- Signifikante Reduktion der Abbildungsfehler der maximal auftretenden (n-1)-Knotenspannungen

Geographische Verteilung der Modellierungsfehler der (n-1)-Knotenspannungen



Zusammenfassung

Projekt SimBench

- Ziel: Entwicklung eines Benchmarkdatensatzes in Form von Netzmodellen und zugehörigen Zeitreihen, der einen Vergleich dieser Methoden ermöglicht
- Inwieweit können Wechselwirkungen zwischen Hoch- und Höchstspannungsnetzen vereinfacht im Rahmen von Benchmarkdatensätzen abgebildet werden?

Exemplarische Untersuchungen

- Vereinfachte Modellierungsansätze ohne detaillierte Kenntnis des HöS-Netzes zeigen signifikante Fehler insbesondere in auslegungsrelevanten Netznutzungssituationen
- Modellierungsansätze ohne Kenntnis des HöS-Netzes können für einen ersten Vergleich neuer Lösungsansätze im Bereich der Netzanalyse von HS-Netzen angewendet werden
- Abbildung realitätsnaher Betriebsmittelbelastungen im Hochspannungsnetz erfordern jedoch detailliertere Modellierung der HöS-Ebene (z.B. über Extended-Ward-Modelle)



Spannungswinkel

