

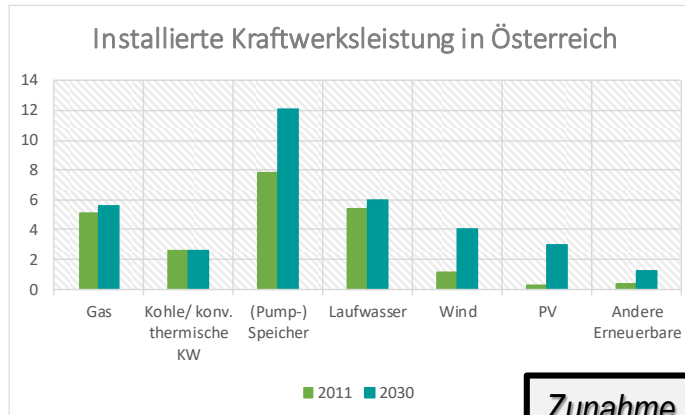
Methodik zur Erstellung reduzierter, elektrischer Netze für Zeitreihenberechnungen mit hohen Abbildungsgenauigkeiten

Anna Traupmann



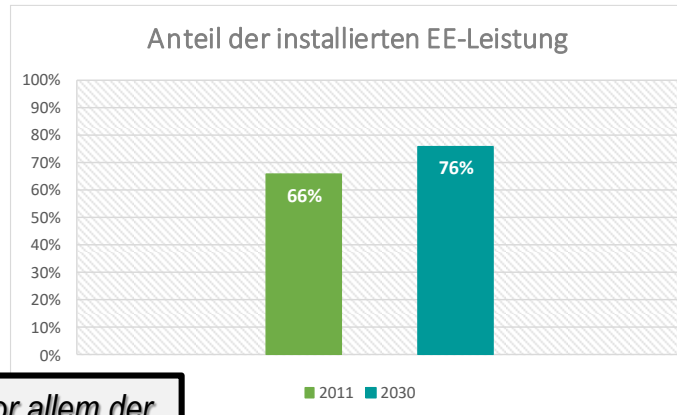
VORZEIGEREGION
ENERGIE





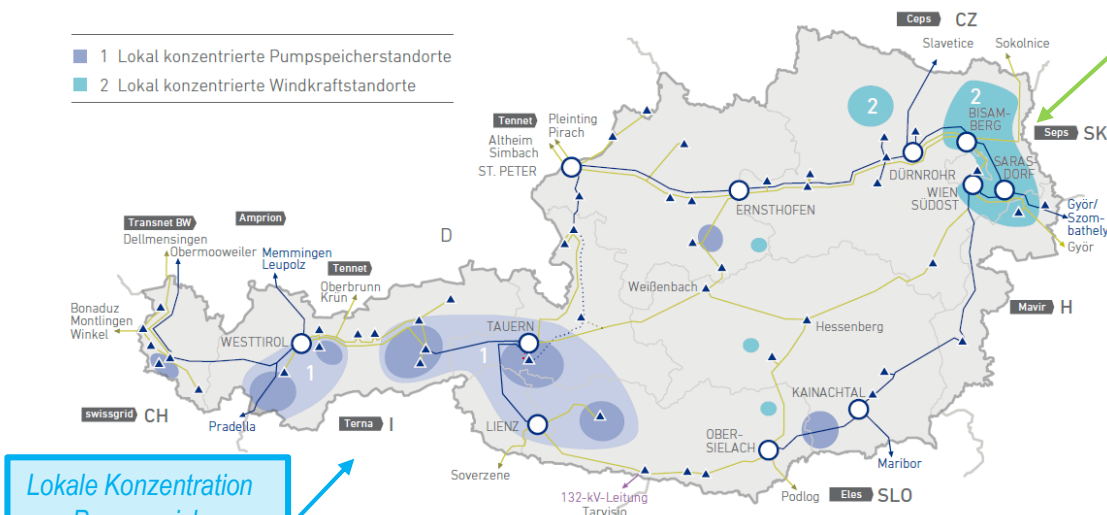
Quellen: E-Control, APG Masterplan 2030

Zunahme vor allem der Erneuerbaren Energien



Motivation

Räumliche Verteilung der potentiellen Kraftwerksstandorte in Österreich bis 2030



Lokale Konzentration von Windenergie im Osten

Lokale Konzentration von Pumpspeichern im Zentralalpenraum

Quelle: IndustRIES Studie 2019

Aufgrund topologischer Gegebenheiten und des Dargebots besteht eine starke räumliche Clusterung

Weite Stromtransporte, da Ort der Erzeugung und des Verbrauchs zunehmend entfernt voneinander liegen

Zusätzliche Herausforderungen im Energiesystem

- Alternde Infrastrukturen, die den neuen Verbrauchern im Netz nicht mehr gerecht werden können
- Erhöhte Anteile an (volatilen) erneuerbaren Energien → zunehmend volatile Lastflüsse
- Steigender Strombedarf
- Neue politische und rechtliche Rahmenbedingungen
- Mobilität als neuer Verbraucher

Flexibilisierung der harten zeitlichen Anforderungen im elektrischen Netz notwendig

Speicher und hybride Umwandlung → Verbesserungen im Energiesystem nicht mehr nur basierend auf einzelnen Netzen

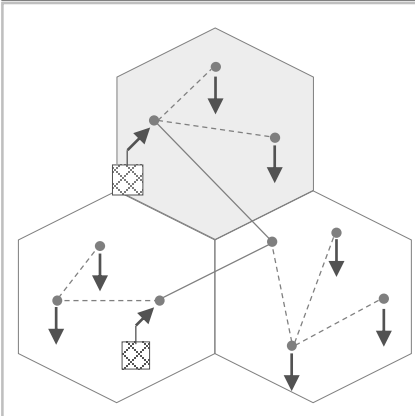
→ ansonsten Engpässe oder instabiler bzw. unsicherer Netzbetrieb

Modelle zur Abschätzung, wann und wo welcher Energieträger in welchen Mengen benötigt wird

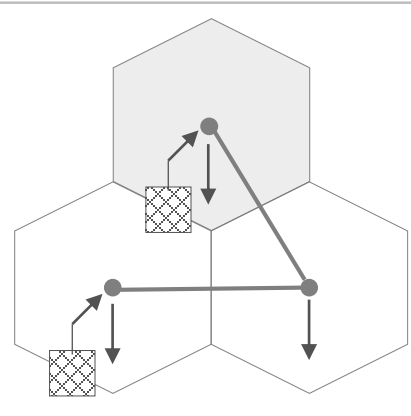
Prinzipiell günstige Voraussetzungen für die Integration der EE

Reduzierte Netze im zellularen Ansatz

1. Einteilung des Netzwerkes in Zellen basierend auf geographischen Gegebenheiten



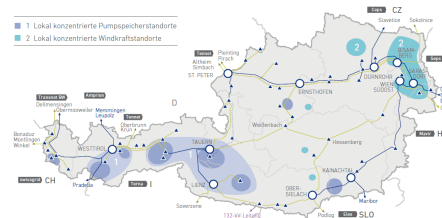
2. Aggregation aller Einheiten innerhalb einer Zelle im Zellenmittelpunkt



- Vernachlässigte, elektrische Leitungen innerhalb der Zellen
- Ursprüngliche, elektrische Leitungen im unreduzierten Netz
- Verbindungsleitungen zwischen den Zellen im reduzierten Netz
- Netzknoten im unreduzierten Netz
- Aggregierte, fiktiven Zellenknoten im reduzierten Netz

Strukturelle Änderungen der Netztopologie aufgrund der Aggregation verursachen Informationsverlust im reduzierten Modell → Kompensationsmethoden erforderlich

- *Kompromiss zwischen Abbildungsgenauigkeit und Rechenaufwand*
- *Örtliche und zeitliche Auflösung möglich*
- *Modellbasierte Analysen für eine effiziente Systemplanung*
- *Systemstabilität → effizienter Ausgleich auf der niedrigsten Systemebene je nach Netzsituation*



zellenbasierter Modellierungsansatz ermöglicht geeignete Modelldarstellung für z.B. Clustering der potentiellen Kraftwerksstandorte

...und genauere Analysen der Netzbereiche und verbindenden Stromtransportleitungen

Welche verlorenen Informationen führen zu Abbildungsungenauigkeiten?

Leistungsverluste in den vernachlässigten Leitungen innerhalb jeder Zelle

Abweichende interzelluläre Lastflüsse, Gesamtnetzverluste, Slack-Leistung

Welche Abweichungen zwischen reduziertem und nicht reduziertem Netz entstehen dadurch?

Wie können diese Abweichungen kompensiert werden?

Durch Ersatzelemente, die die Leitungsverluste in den Zellenknoten kompensieren

Einsatz von Netzreduktionsmethoden

Klassische Netzreduktionsmethoden passen für gewöhnlich auch die Leitungsparameter in den Verbindungsleitungen an → nicht ausreichend

Kompensation der vernachlässigten Leitungen

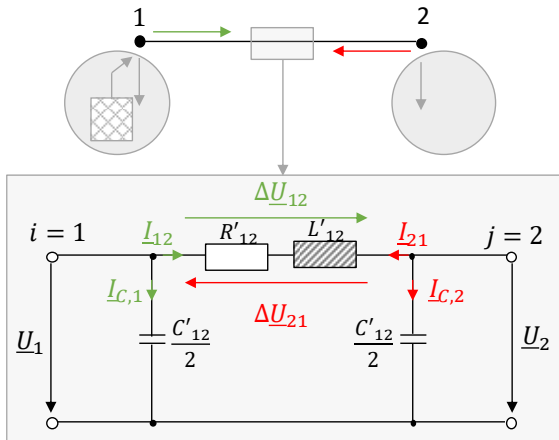
Verbindungsleitungen und Lastfluss

Lastfluss über einer Leitung setzt sich zusammen aus ...

- den an den Knoten anliegenden Lasten,
- den Verlusten dieser Leitungen sowie
- den Verlusten der verbundenen Leitungen

Knoten höherer Spannung → Lastflussrichtung → Knoten niedrigerer Spannung

$$S_{\text{Leitung}} = \underline{U}_i^* \cdot (-Y_{ij}) \cdot (\underline{U}_i - \underline{U}_j) + \underline{U}_i^* \cdot B_{ij} \cdot \underline{U}_i$$



$$S_{12} = \underbrace{\underline{U}_1^* \cdot (-Y_{12})}_{I_{12}^*} \cdot \underbrace{(\underline{U}_1 - \underline{U}_2)}_{\Delta \underline{U}_{12}} + \underbrace{\underline{U}_1^* \cdot B_{12}}_{I_{C,1}^*} \cdot \underline{U}_1$$

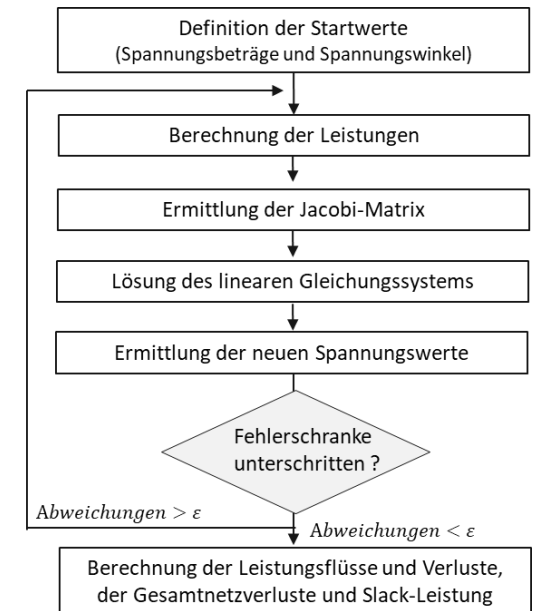
$$S_{21} = \underbrace{\underline{U}_2^* \cdot (-Y_{21})}_{I_{21}^*} \cdot \underbrace{(\underline{U}_2 - \underline{U}_1)}_{\Delta \underline{U}_{21}} + \underbrace{\underline{U}_2^* \cdot B_{21}}_{I_{C,2}^*} \cdot \underline{U}_2$$

Kompensation muss in den Knoten erfolgen

Iteration im Newton-Raphson-Verfahren hat als Abbruchkriterium die Unterschreitung einer Fehlerschranke für die Abweichung zwischen bekannten und berechneten Knotenleistungen

Leitungsparameter beeinflussen (in einer Lastflussrechnung) die Verluste der Leitungen d.h. haben auf Lastfluss der Leitung nur geringen Einfluss → größter Einflussparameter sind Knotenbelastungen

Ablaufschema Newton-Raphson-Verfahren



Kompensation der vernachlässigten Leitungen

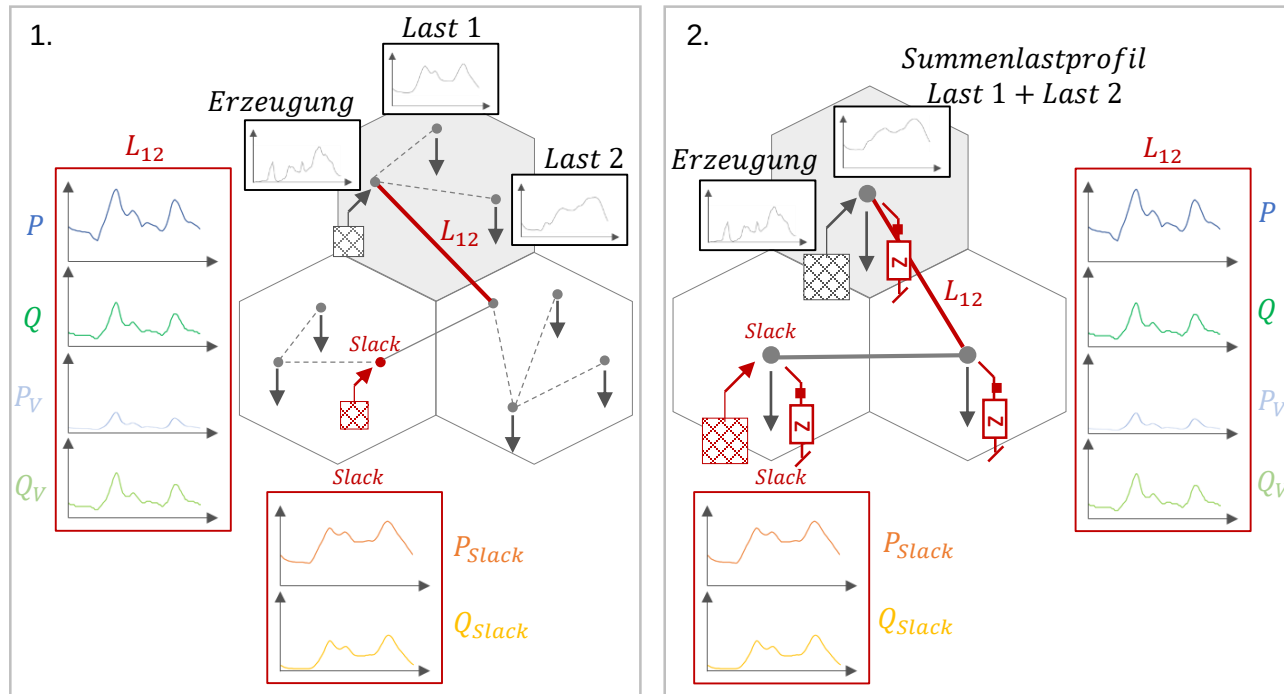
RLC-Module für Zeitreihenberechnungen

Notwendige Daten: Netz- bzw. Betriebsmittelparameter

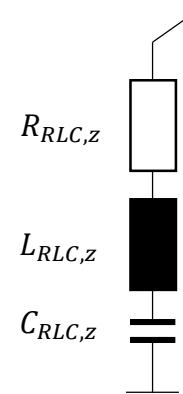
- Leitungsparameter aus dem Originalnetz
- Berechnung eines Serien-RLC-Moduls zum Ausgleich der Verlustleistungen in den vernachlässigten Leitungen

Serien-RLC-Modul → Vorgabe der vernachlässigten Wirk- und Blindwiderstände (R, L, C) am jeweiligen Zellenknoten

...die für die Verluste in den vernachlässigten Leitungen der jeweiligen Zelle verantwortlich sind



- Vernachlässigte, elektrische Leitungen innerhalb der Zellen
- Ursprüngliche, elektrische Leitungen im unreduzierten Netz
- Verbindungsleitungen zwischen den Zellen im reduzierten Netz
- Netzknoten im unreduzierten Netz
- Aggregierte, fiktiven Zellenknoten im reduzierten Netz
- Kompensationselemente (RLC-Modul)



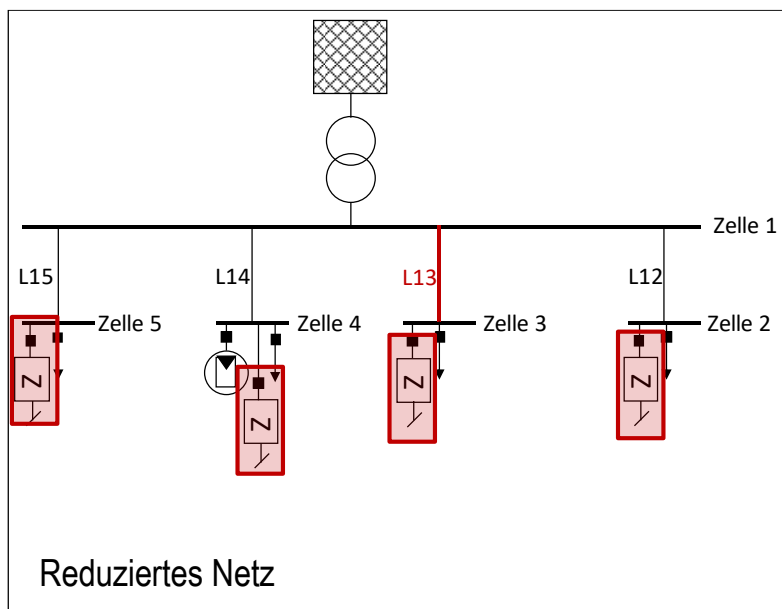
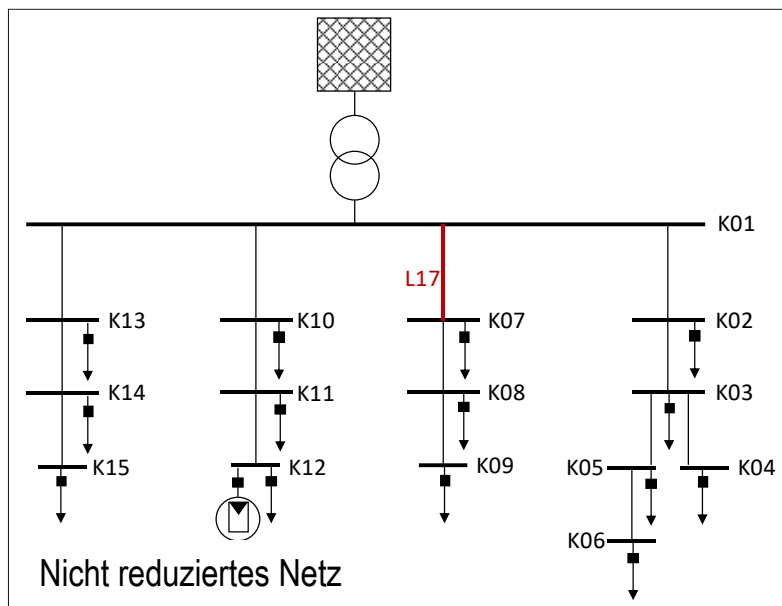
$$R_{RLC,z} = \sum_{i=1}^n R_{Leitung,i} \cdot l_{Leitung,i}$$

$$L_{RLC,z} = \sum_{i=1}^n \frac{X_{Leitung,i} \cdot l_{Leitung,i}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$C_{RLC,z} = \sum_{i=1}^n C_{Leitung,i} \cdot l_{Leitung,i}$$

n ... Anzahl der Leitungen innerhalb einer Zelle
 z ... Zellenanzahl (da für jede Zelle berechnet)

5,25 kV Netz

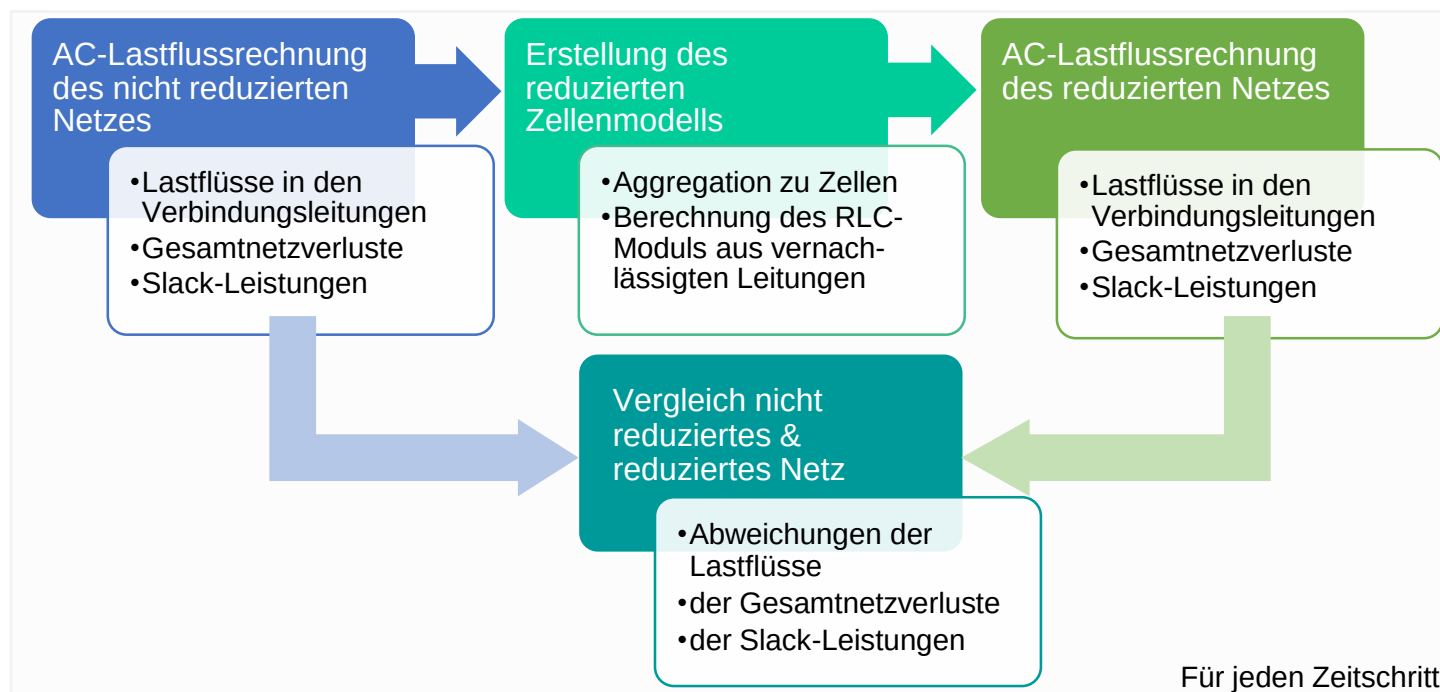


Anwendung der Methodik auf ein Testnetz

Mittelspannungsnetz 5.25 kV

Vorgehensweise bei der Validierung der Ergebnisse

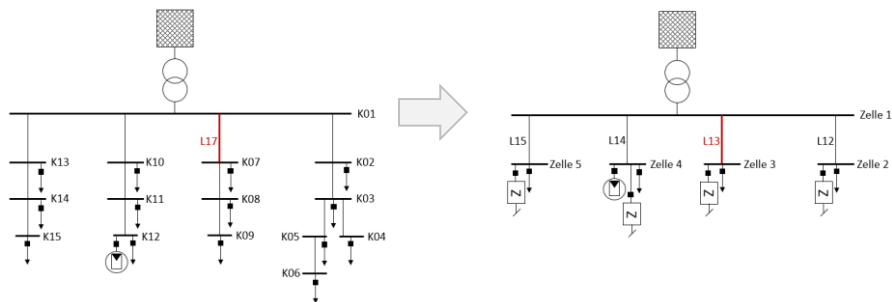
Vergleich des nicht reduzierten und des reduzierten Netzes



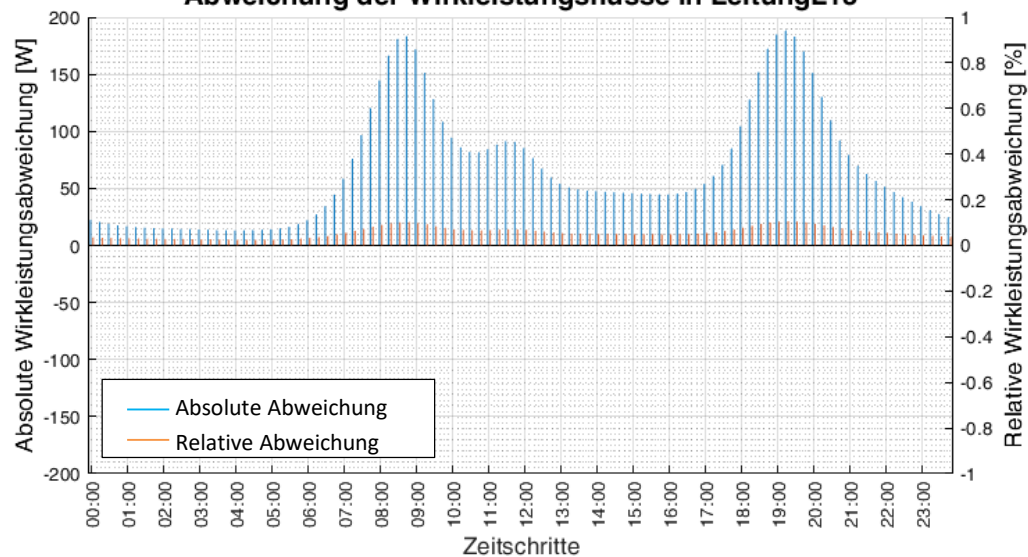
5,25 kV Netz

Abbildungsgenauigkeiten

Abweichung der Wirkleistungsflüsse und –verluste in Leitung L_{13}

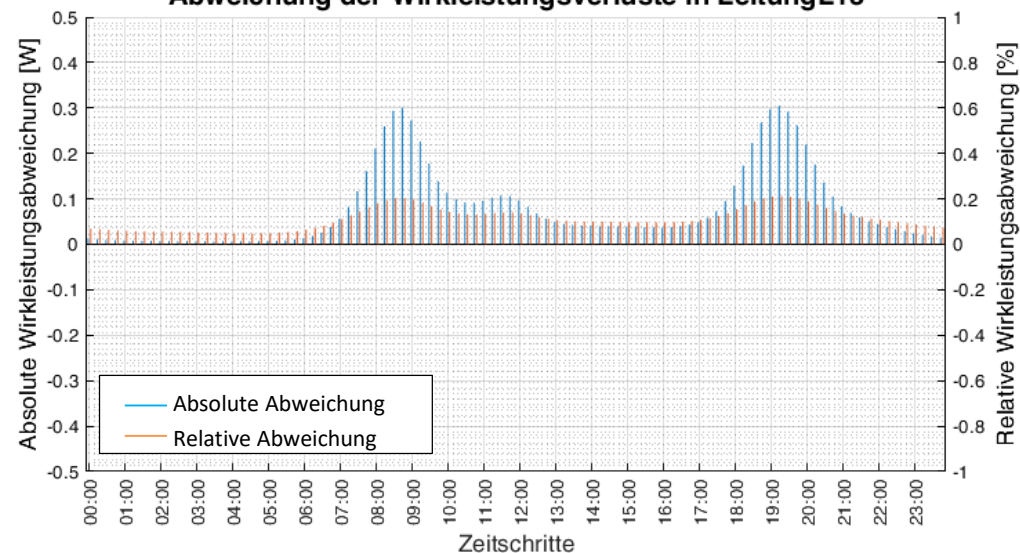


Abweichung der Wirkleistungsflüsse in Leitung L_{13}



Maximale Abweichung
188.24 W = 0.11%

Abweichung der Wirkleistungsverluste in Leitung L_{13}

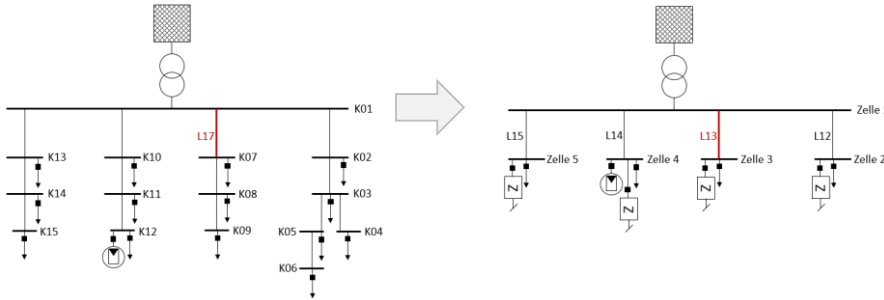


Maximale Abweichung
0.31 W = 0.21%

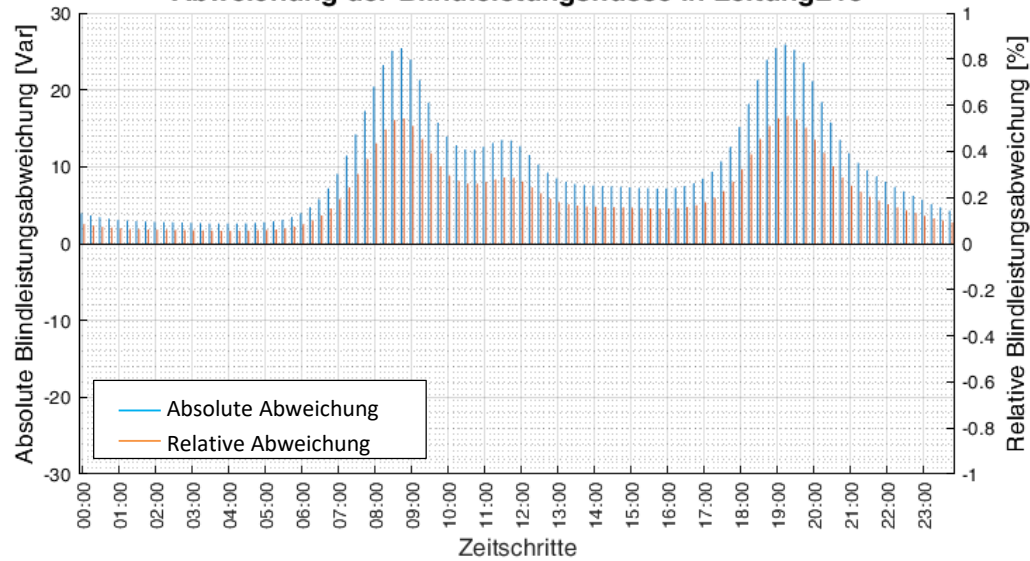
5,25 kV Netz

Abbildungsgenauigkeiten

Abweichung der Blindleistungsflüsse und –verluste in Leitung L_{13}

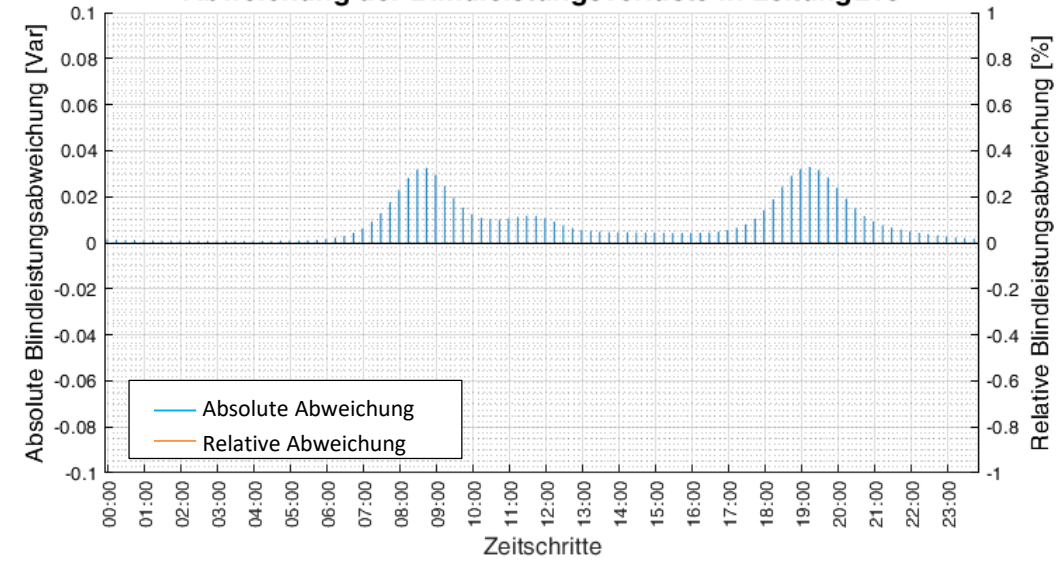


Abweichung der Blindleistungsflüsse in Leitung L_{13}



Maximale Abweichung
25.88 Var = 0.55%

Abweichung der Blindleistungsverluste in Leitung L_{13}

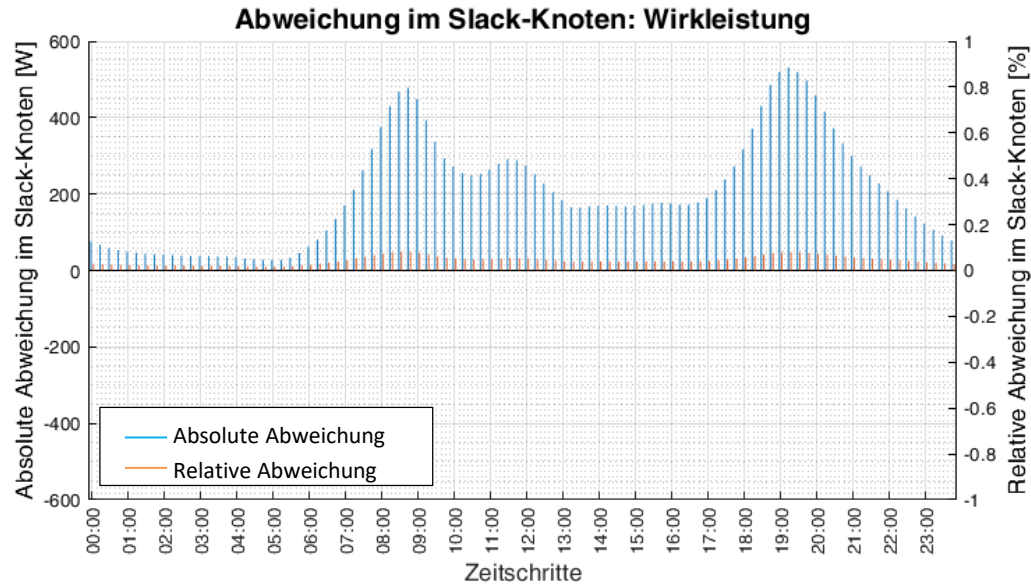
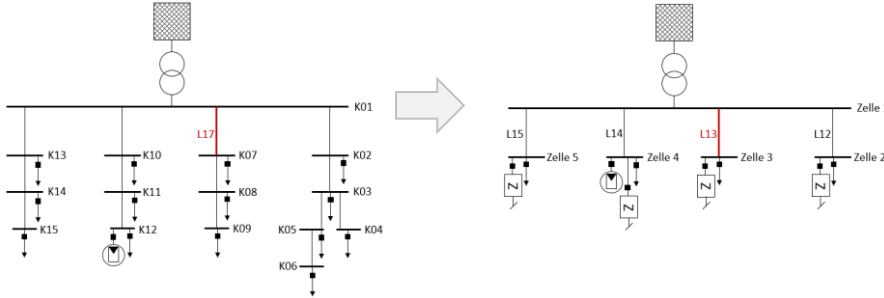


Maximale Abweichung
0.03 Var = 0.002%

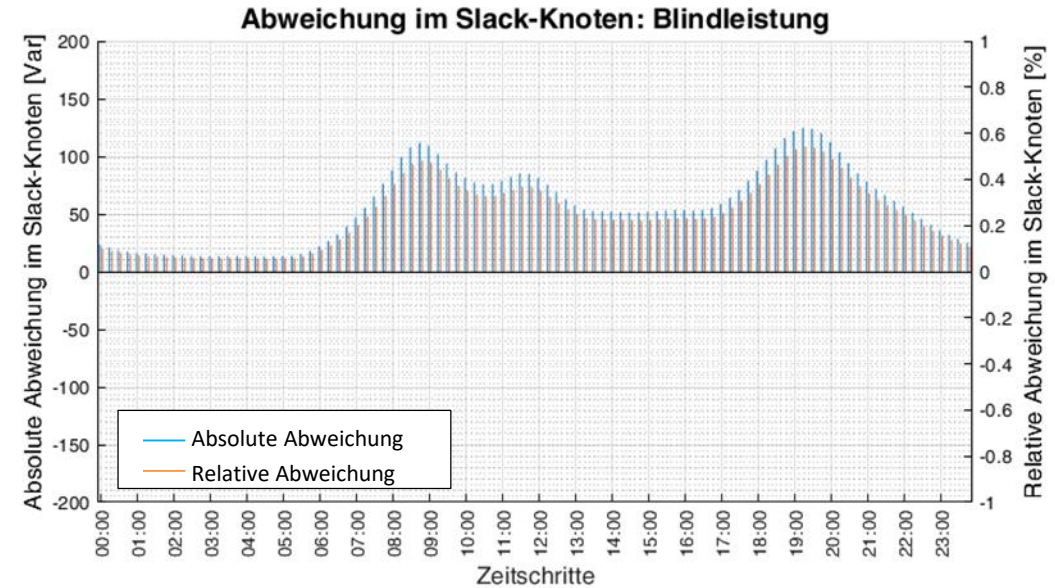
5,25 kV Netz

Abbildungsgenauigkeiten

Abweichung der Leistung im Slack-Knoten

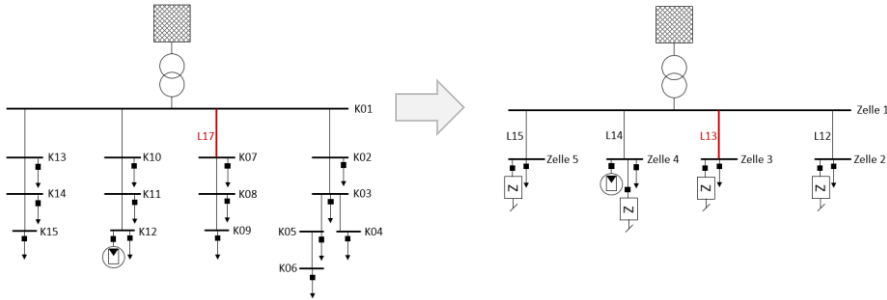


Maximale Abweichung
531.07 W = 0.08%



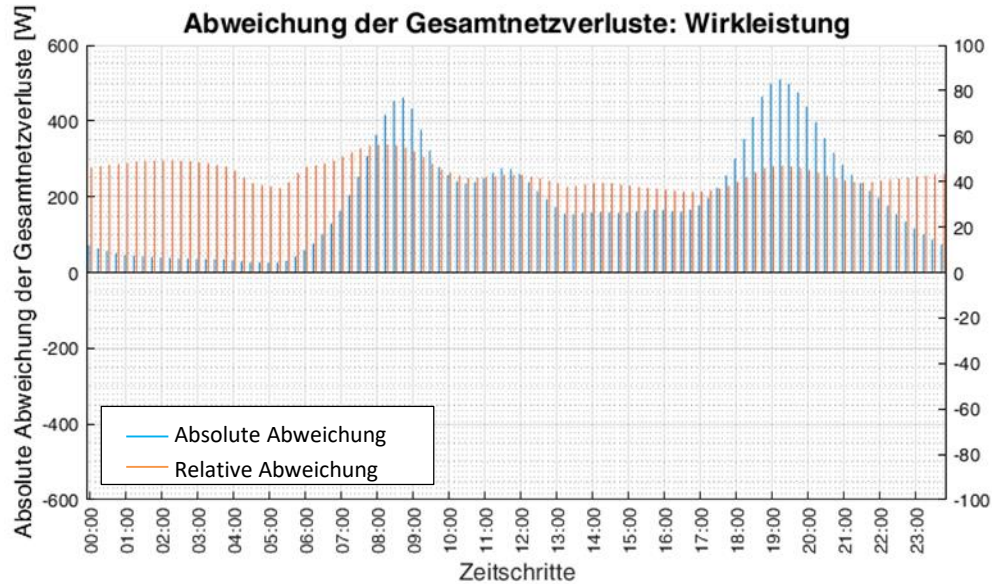
Maximale Abweichung
124.86 Var = 0.54%

5,25 kV Netz

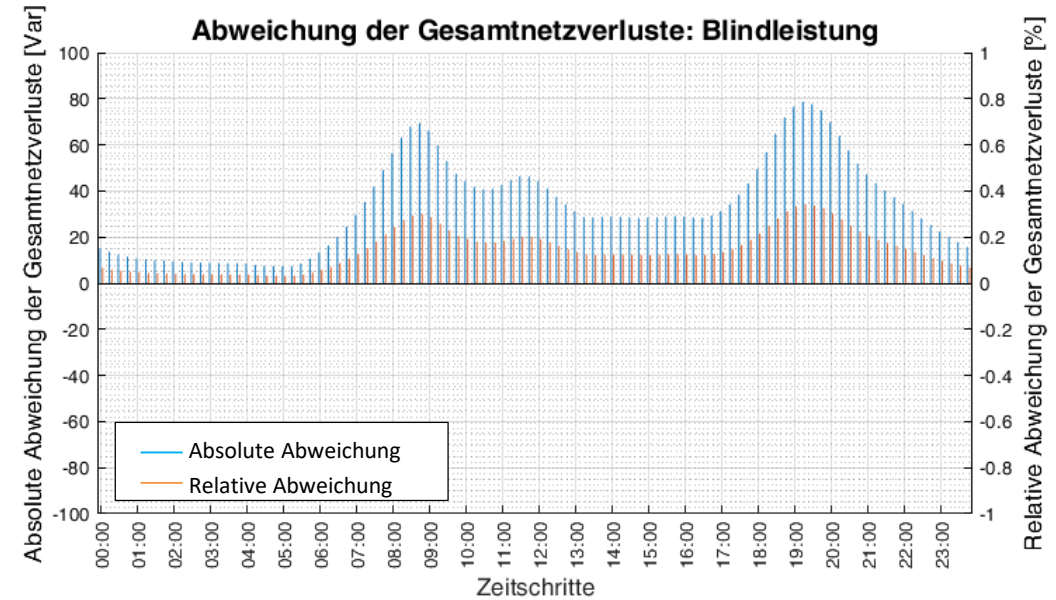


Abbildungsgenauigkeiten

Abweichung der Verlustleistungen des Gesamtnetzes



Maximale Abweichung
509.87 W = 56.3%



Maximale Abweichung
78.65 Var = 0.34%

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorgestellte Netzreduktionsmethode im zellularen Ansatz ermöglicht...



Vereinfachte, weniger komplexe Netzabbildungen in Form von Zellennetzmodellen



Minimale Abweichungen zwischen realem und aggregierten Netzmodell → hohe Abbildungsgenauigkeiten



Verkürzte Berechnungszeiten für feine zeitliche Auflösungen über lange Zeiträume

Reduktion des ursprünglichen Netzes um 67% d.h.
Verringerung der Knotenanzahl von 15 auf 5 Netzknoten

Relative Fehler liegen für gewöhnlich für beinahe alle elektrischen Größen, die hier betrachtet werden deutlich unter 1%

Verkürzung der Berechnungszeit von 0.42s auf 0.20s d.h.
Verringerung auf die Hälfte

Je nach Anwendungsfall →
Gegenüberstellung: Aufwand
der Zellennetzerstellung -
geringere Berechnungszeit

Anwendung der Methodik auf höheren Spannungsebenen
je nach Netztopologie und Lastzustand können höhere
Abbildungsgenauigkeiten auftreten

Netze auf höheren
Spannungsebenen weniger
komplex und geringer ausgedehnt

System- und
Versorgungssicherheit

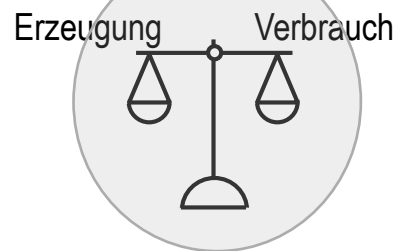
Speicherung und
Flexibilisierung in anderen
Energieträgernetzen

Transport
elektrischer Energie
über weite Strecken

- Anwendung als elektrisches Netzmodell für z.B. energieträgerübergreifende Netzberechnungen

- Schnelle Abschätzungen über Lastflusssituationen mit großen Datenmengen

Kontinuierliches Gleichgewicht



VORZEIGEREGION
ENERGIE



Danke für die Aufmerksamkeit!