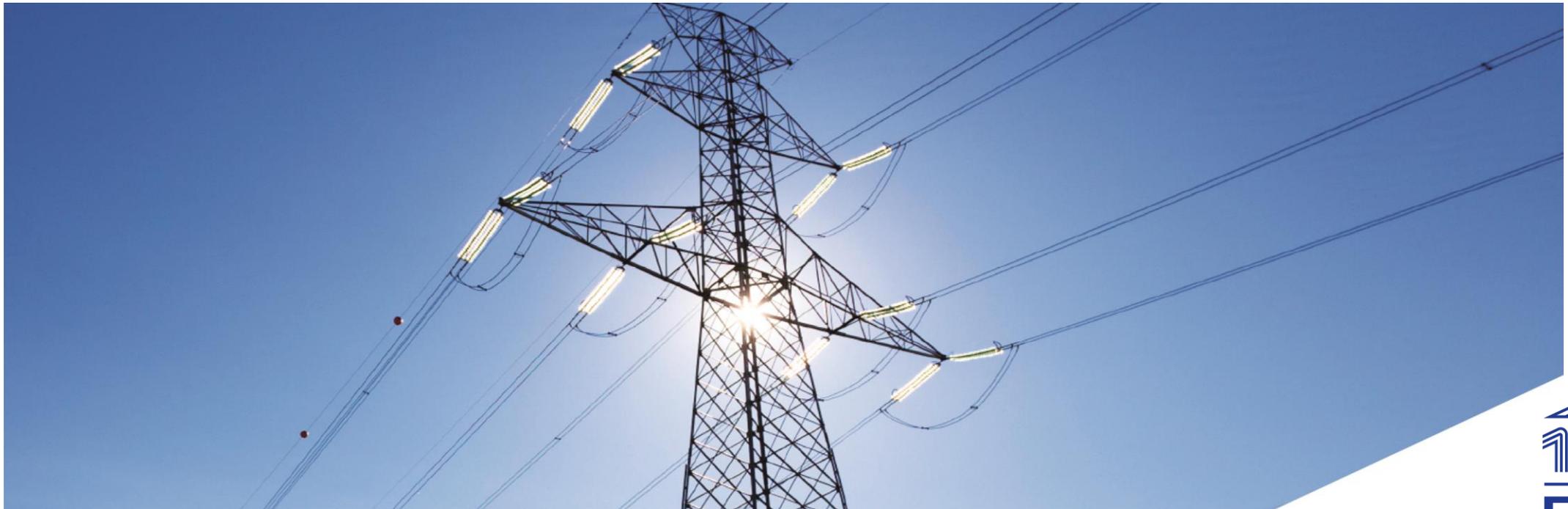


Parametrierung genetischer Algorithmen für die Bewertung von Netzausbau- und Netzverstärkungsmaßnahmen

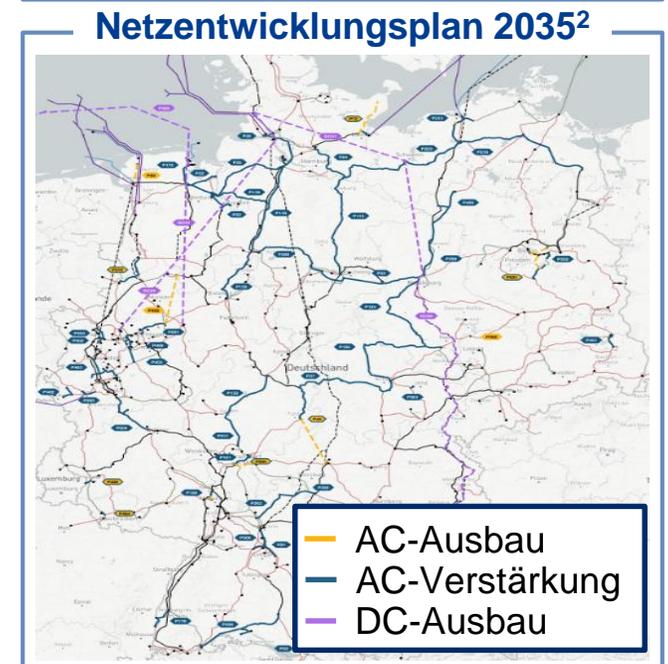
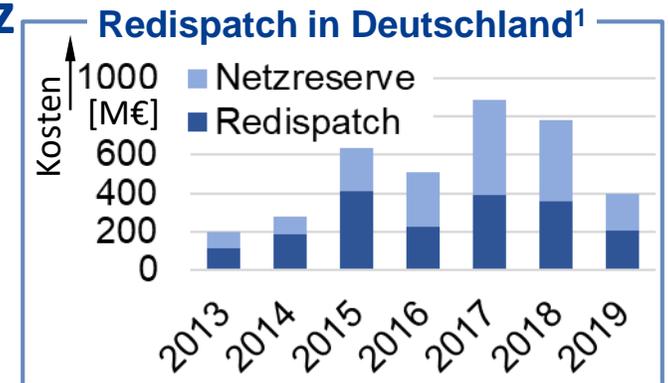
M. Sc. Niklas Erle

Aachen, 17.02.2022



Steigende Anforderungen an das elektrische Übertragungsnetz

- Änderung der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen
 - Zubau von (lastfernen) Stromerzeugungsanlagen auf Basis regenerativer Energien
 - Rückgang konventioneller Erzeugungskapazitäten (Kernenergie-/Kohleausstieg)
 - Stärkere Kopplung der europäischen Strommärkte
- Höhere Auslastung der vorhanden Netzinfrastruktur
- Einsatz betrieblicher Gegenmaßnahmen durch Übertragungsnetzbetreiber
- Langfristig Vermeidung von betrieblichen Gegenmaßnahmen durch Netzausbau- und -verstärkungsmaßnahmen (NAVM)
 - Vielzahl bestätigter NAVM in den kommenden Jahren
 - Temporäre Netzschwächungen während Umbauphasen zu erwarten
- Weiterhin instandhaltungsbedingte Freischaltungen notwendig
- Bewertung der Durchführbarkeit und erwarteter Kosten für betriebliche Gegenmaßnahmen während der Umsetzung geplanter NAVM sinnvoll
- Schaltungsplanung als Koordinationsinstrument notwendig



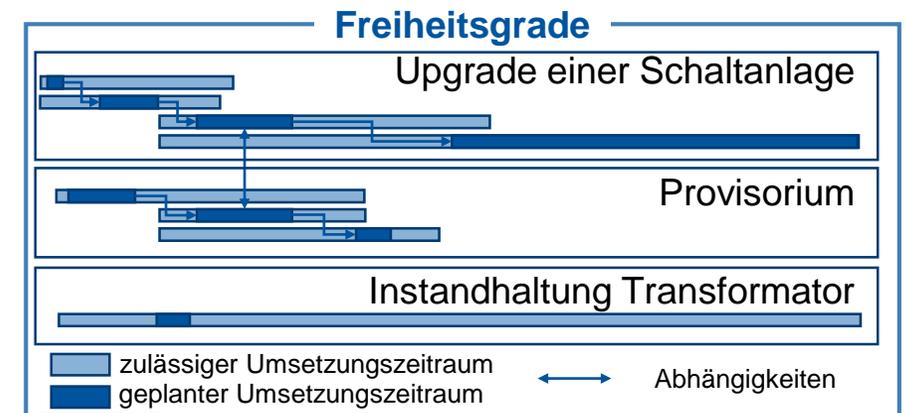
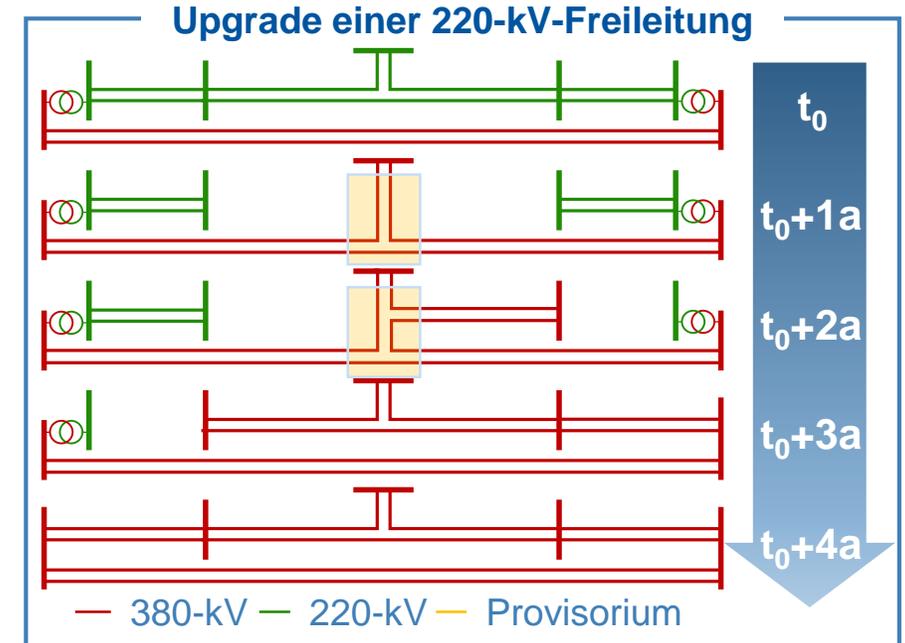
¹ BDEW, *Redispatch in Deutschland*, 2020

² 4-ÜNB, *Netzentwicklungsplan Strom 2035*, 2021

Problemstellung

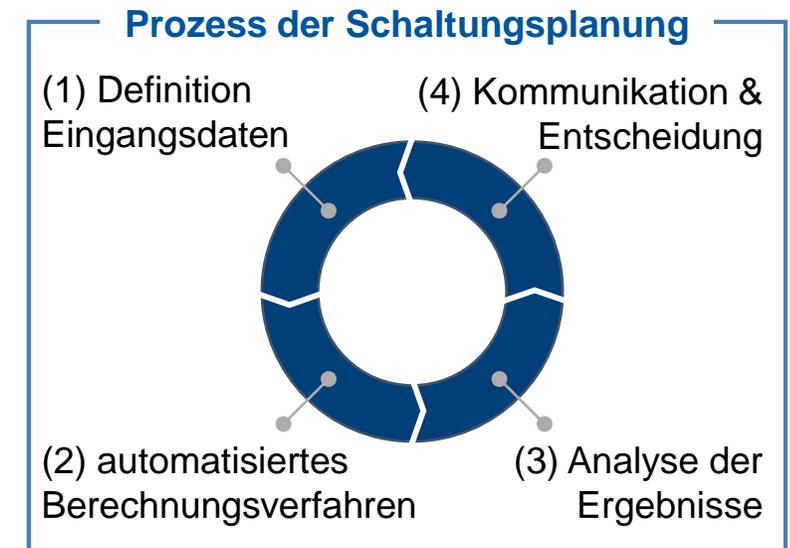
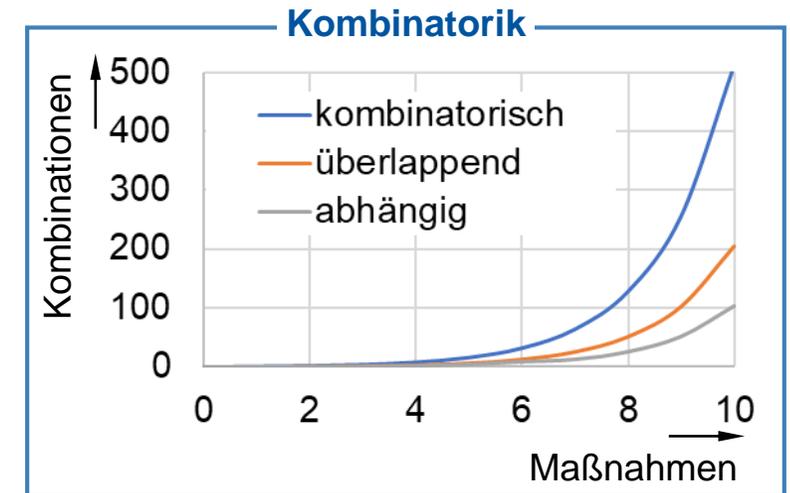
Problemstellung

- Erhöhung der Übertragungskapazität auf engpassbehaftetem Stromkreis
 - Upgrade des Stromkreises von 220-kV auf 380-kV
 - Umbau der Masten, Schaltanlagen und Transformatoren
 - Komplexe Netzausbau- und Netzverstärkungsmaßnahme mit 700 einzelnen Umbauschritten
 - Hoher Einfluss der Umbauschritte auf Engpasslage und –höhe in regionaler Umgebung
 - Nutzung netzplanerischer Freiheitsgrade bei ausreichender Vorlaufzeit möglich
 - Planung von Provisorien zur Überbrückung kritischer Umbauschritte
 - Verschiebung oder Anpassung des Ablaufs von NAVM möglich
 - Zeitliche Verschiebung von NAVM ist Freiheitsgrad
 - Abhängigkeitsstrukturen zwischen den einzelnen Umbauschritten
- Mittelfristige Planung der Maßnahmen sinnvoll



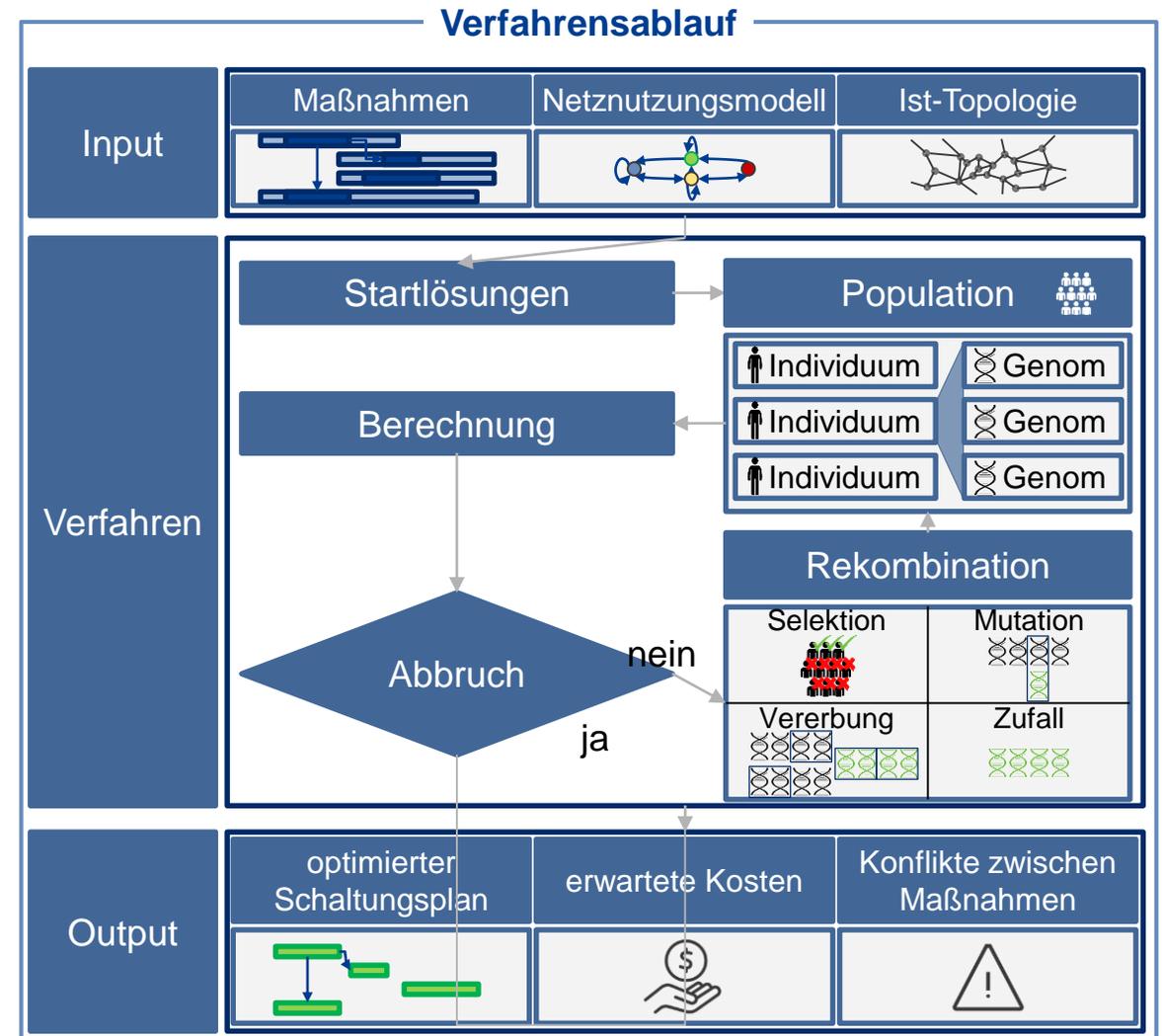
Anforderungen an Optimierungsverfahren

- Ziel: Unterstützung des Entscheidungsprozesses der Schaltungsplanung durch automatisiertes Optimierungsverfahren
- Exponentieller Anstieg der möglichen Kombinationen mit Anzahl der Schaltungen
- Geschlossene, analytische Lösung eines Optimierungsproblems
 - zur Minimierung der betrieblichen Kosten für Gegenmaßnahmen
 - unter Einhaltung der relevanten Netzsicherheitskriterien
 - und Beachtung der Abhängigkeiten von Maßnahmen
- für praxisnahe Problemstellungen nicht lösbar
- Praktische Entscheidungsunterstützung erfordert Bewertung konkreter Schaltungspläne
- Identifikation drohender Netzengpässe durch Kombination von Maßnahmen
- Zeitnahe Ausgabe möglicher Lösungen für weitere Analysen durch Schaltungingenieure
- Implementierung eines genetischen Algorithmus zur Schaltungsoptimierung sinnvoll



Ablauf des genetischen Algorithmus

- Bestimmung gültiger Startlösungen zu Beginn des Verfahrens
 - Vorgegebene Startlösungen durch Anwender
 - Zufällige Ziehung valider Startlösungen
 - Modell des genetischen Algorithmus besteht aus
 - Population: Summe zu bewertender Schaltungspläne
 - Individuum: Schaltungsplan
 - Genom: Maßnahmen (inkl. Randbedingungen)
 - Abbildung der Abhängigkeiten zwischen den Maßnahmen
 - Systemzustandsbewertung für alle Individuen der Population
 - Anwendung evolutionärer Strategien (Rekombination)
 - Iterative Anwendung bis Abbruchkriterien erfüllt sind
 - Konvergenz
 - Maximale Iterationsanzahl
- Verfahren zur Bestimmung optimierter Schaltungspläne



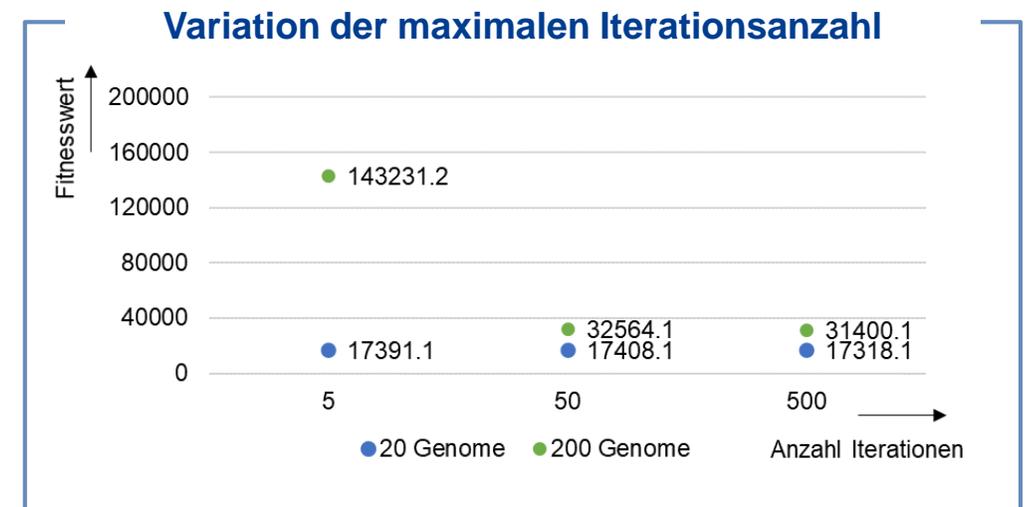
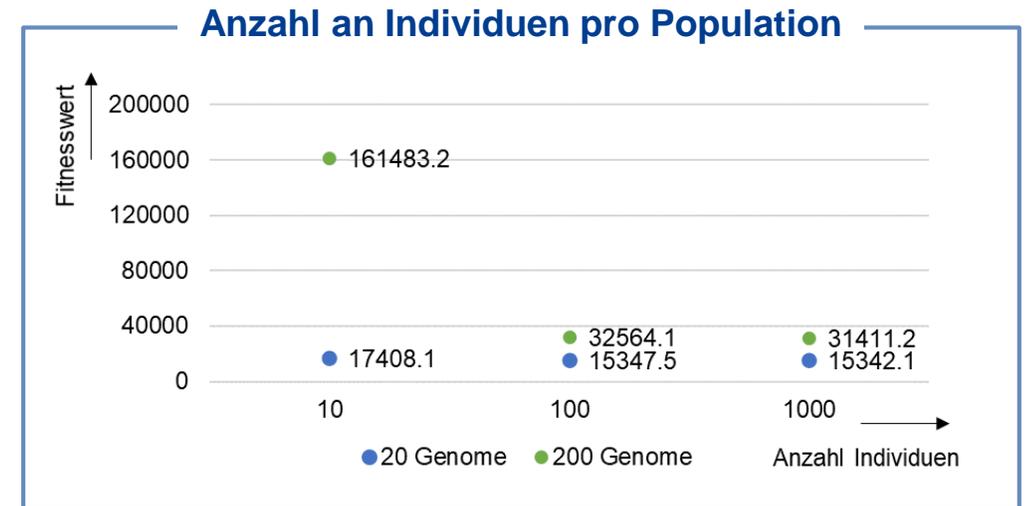
Fitness und Parametrierung

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Fitness-} \\ \text{funktion} \\ \hline \mathit{F_I} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Kosten für} \\ \text{Verschiebungen} \\ \hline \mathit{K_{I,V}} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{EPM-Kosten} \\ \text{(r-NNF)} \\ \hline \mathit{K_{I,r}} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{EPM-Kosten} \\ \text{(k-NNF)} \\ \hline \mathit{K_{I,k}} \\ \hline \end{array}$$

- Fitnessfunktion F_I durch Randbedingungen der Maßnahmen und Netzengpassmanagementsimulation bestimmt
 - Kosten für Verschiebungen $K_{I,V}$: Summe aller Kosten aufgrund von Abweichungen zu geplantem Umsetzungszeitraum
 - Kosten aus dem Engpassmanagement werden nach repräsentativen und kritischen Netznutzungsfällen unterschieden
 - EPM-Kosten (r-NNF): Bewertung von Redispatchkosten und verbleibenden Überlastungen für r-NNF
 - EPM-Kosten (k-NNF): Bewertung von verbleibenden Überlastungen für k-NNF
- Gewichtung der Ergebnisse der r-/k-NNF mit Eintrittswahrscheinlichkeiten des probabilistischen Netznutzungsmodells
- Möglichkeiten zur Parametrierung des genetischen Algorithmus
 - Maximale Iterationsanzahl als Abbruchkriterium
 - Anzahl an Individuen je Population
 - Aufteilungsfaktoren der Rekombinationsverfahren
- Untersuchung des Einflusses der Parametrierungsoptionen auf Ergebnishüte und Rechenzeit

Ergebnisse

- Untersuchungsrahmen
 - IEEE-39-Knoten Testnetz
 - Netznutzungszeitreihen (skaliert mit realen Zeitreihen)
 - 20 / 200 verschiebbare Maßnahmen (Genome)
- Höhere Anzahl an Individuen je Population
 - Verbesserung des Fitnesswerts für 20 und 200 Genome
 - Frühzeitiger Abbruch des genetischen Algorithmus bei 200 Genomen mit 10 Individuen
 - Verbleibende Überlastungen mit hohen Kosten
 - Erhöhung der Rechenzeit zwischen 100 und 1000 Individuen je Iteration um 620%
- Höhere maximale Anzahl an Iterationen
 - Verbesserung des Fitnesswerts für 200 Genome
 - Problemkomplexität gering
 - Abbruch des genetischen Algorithmus nach weniger als 4 Iterationen



Zusammenfassung

- Vorstellung eines genetischen Algorithmus zur Optimierung von Maßnahmen im Zeithorizont der Mittelfristplanung
 - Zeitliche Verschiebung von Maßnahmen als Freiheitsgrad
 - Modellierung des zukünftigen Netzengpassmanagements bildet Kosten für Schaltungsplanung ab
- Optionen zur Parametrierung des genetischen Algorithmus
 - Maximale Iterationsanzahl als Abbruchkriterium
 - Anzahl an Individuen je Population
 - Aufteilungsfaktoren der Rekombinationsverfahren
- Ableitung von Handlungsempfehlungen
 - Berücksichtigung von mindestens 100 Genomen je Population, um frühzeitigen Abbruch zu vermeiden
 - Vorherige Schätzung des Rechenzeitaufwands, um maximale Anzahl zu berechnender Kombinationen zu wählen
 - Parameter der Selektion sollte nicht höher als 0.2 gewählt werden, damit nur die besten Individuen in die nächste Population eingehen