

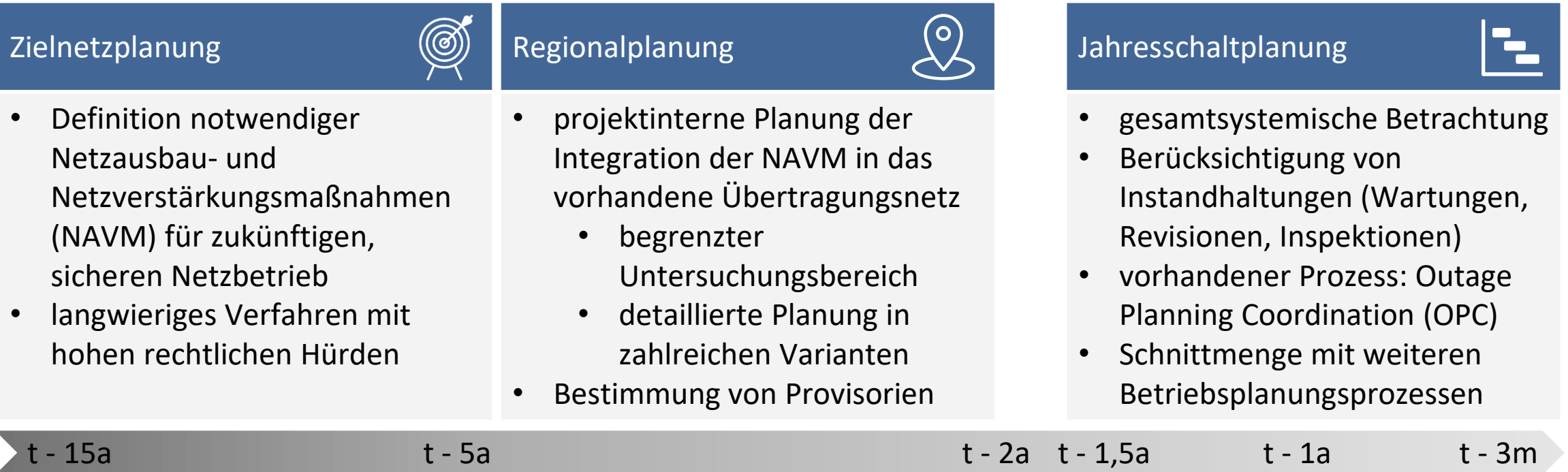
# Entwicklung eines probabilistischen Netznutzungsmodells für die Bewertung von Netzausbau- und Netzverstärkungsmaßnahmen

M.Sc. Niklas Erle

16. Symposium Energieinnovation  
Graz

# Einleitung

## Heutiges Vorgehen in der Schaltplanung



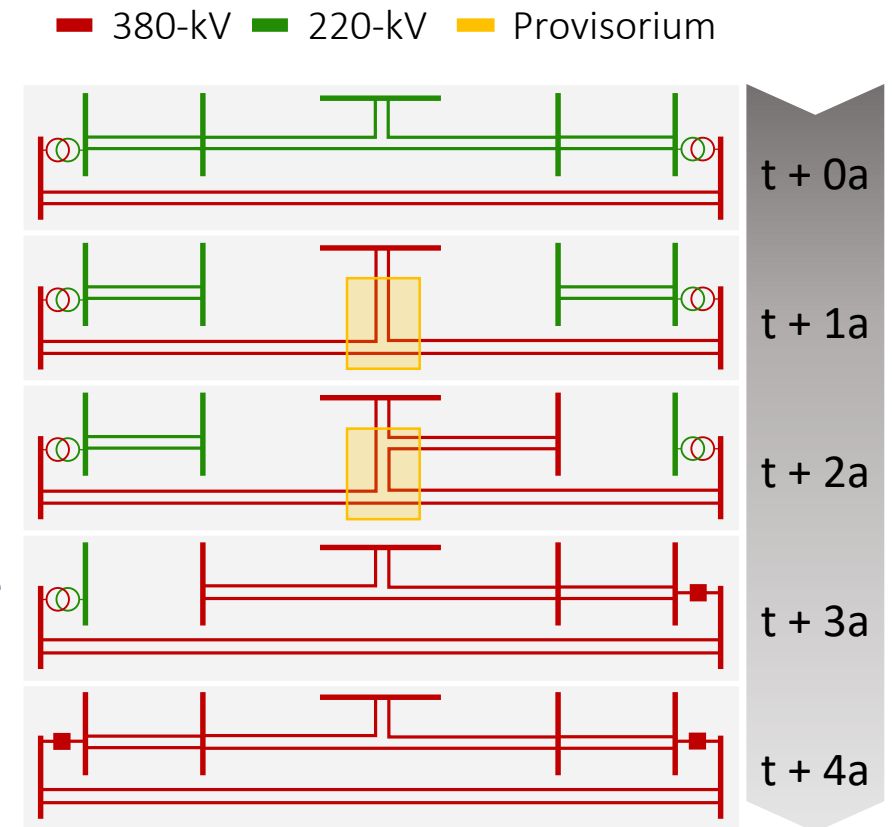
- gesamtsystemische Betrachtung der Freischaltungen derzeit erst in der Jahresschaltplanung, aber:
  - Vielzahl bestätigter NAVVM mit Umsetzungsdauer > 3 Jahre
  - Anpassung von Projektabläufen in der Jahresfrist nur mit Verzögerungen möglich
  - Vorlaufzeit für die Errichtung von Provisorien aufgrund von Genehmigungsverfahren > 2 Jahre

→ heutiges Vorgehen in der Schaltplanung kritisch zu hinterfragen

# Schaltungsplanung

## Exemplarischer Freileitungsumbau

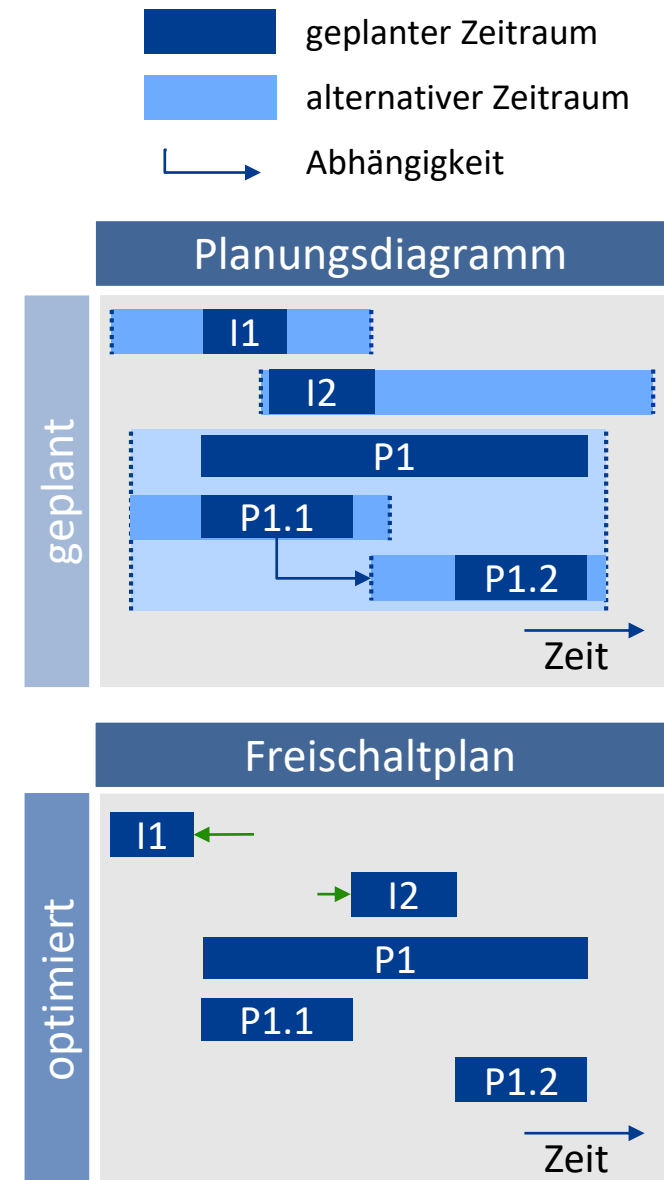
- Upgrade einer Freileitung von 220-kV auf 380-kV
  - Umbau der
    - Freileitungsmasten
    - Schaltanlagen
    - Transformatoren
  - bei Bedarf Einzug neuer Leiterseile
- skizziert: Endzustände der einzelnen Stützjahre
- insgesamt circa 700 unterjährige Schaltungen notwendig
- typisches Inspektionsintervall von Netzelementen  $\approx$  1-2 Jahre
- zusätzliche Instandhaltungen im Umsetzungszeitraum zu erwarten
- frühzeitige Planung kann mögliche Netzengpässe identifizieren und Verzögerungen beim Netzausbau vermeiden



# Mehrjahresschaltplanung

## Aktueller Stand der Entwicklungen bei TransnetBW

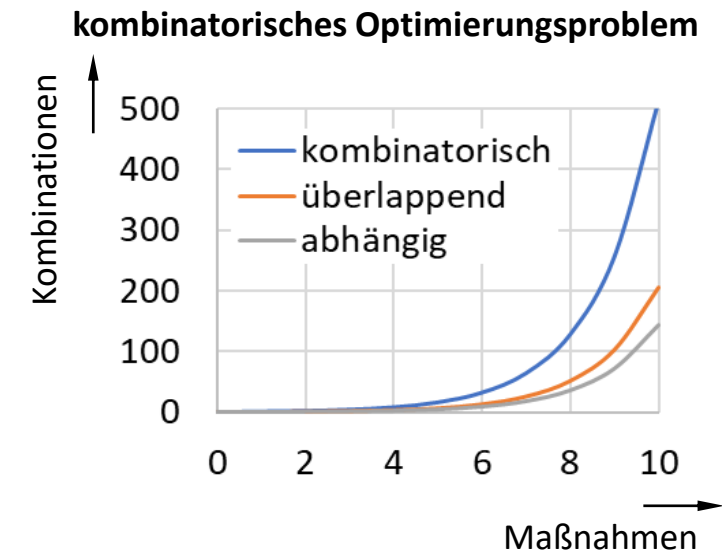
- **aktuelle Herausforderung für Übertragungsnetzbetreiber**
  - vermehrte Eingriffe für sicheren und zuverlässigen Betrieb des Übertragungsnetzes notwendig
  - Vielzahl bestätigter Netzausbau- und Netzverstärkungsmaßnahmen zur Ertüchtigung des Übertragungsnetzes
- **frühzeitige, systemweite Schaltplanung für NAVM ermöglicht**
  - Verschiebung
  - oder Umplanung einzelner Projektabschnitte
  - sowie die Planung von provisorischen Systemen zur Überbrückung kritischer Systemzustände
- **Abhängigkeiten zwischen verschiedenen NAVM zu erwarten**
  - kombinatorisches Optimierungsproblem mit hoher Problemkomplexität
  - Optimierung der Freischaltplanung mit genetischem Algorithmus
    - Berechnung vieler Kombinationen von Maßnahmen
    - Bewertung der Kritikalität und erwarteter Kosten für NAVM



# Mehrjahresschaltplanung

## Implikationen für das verwendete Netznutzungsmodell

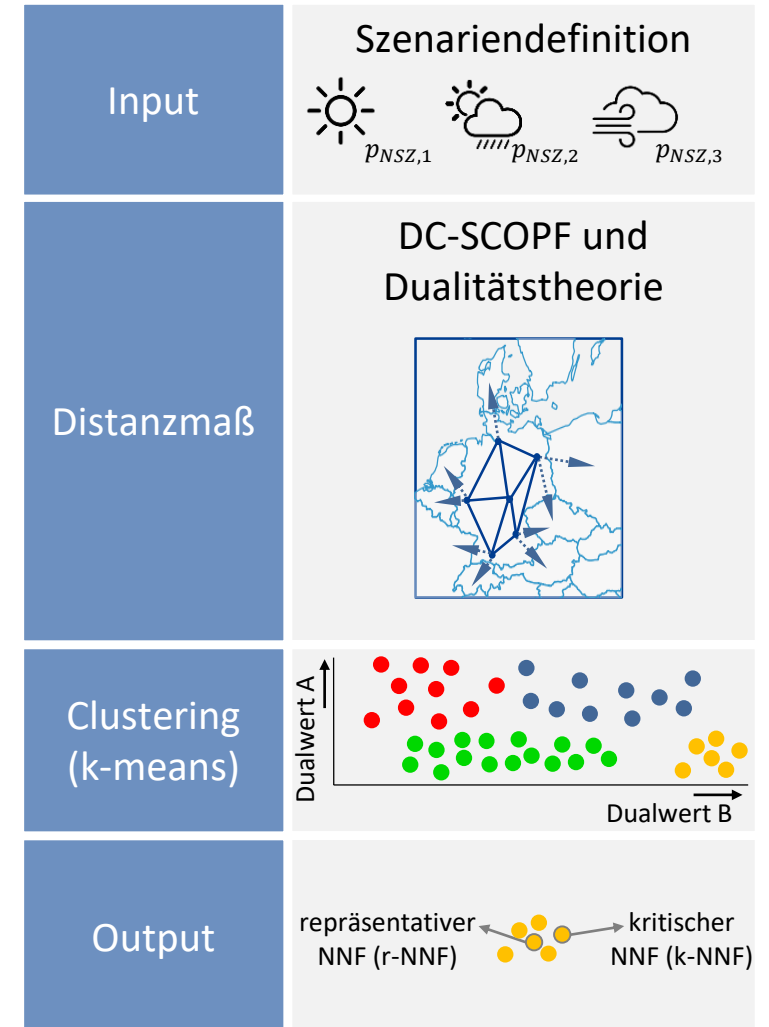
- Anzahl zu berechnender Kombinationen steigt exponentiell mit der Anzahl betrachteter Maßnahmen
  - Beispiel Freileitungsumbau: 700 einzelne Schaltungen in einzigem Projekt
  - vollständige Iteration im Rahmen der Mehrjahresschaltplanung nicht möglich
- Abstraktion von Berechnungen auf Basis von simulierten Szenarien im Stundenraster für ein gesamtes Jahr notwendig
- Berechnung möglichst vieler Kombinationen mit Aussagen zur
  - Umsetzbarkeit von Kombinationen von NAVM
  - und erwarteter Kosten im Netzenspassmanagement
- Entwicklung eines probabilistischen Netznutzungsmodells mit einer reduzierten Anzahl an Netznutzungsfällen zur Anwendung im genetischen Algorithmus



# Modell

## Clustering der Netznutzungsfälle

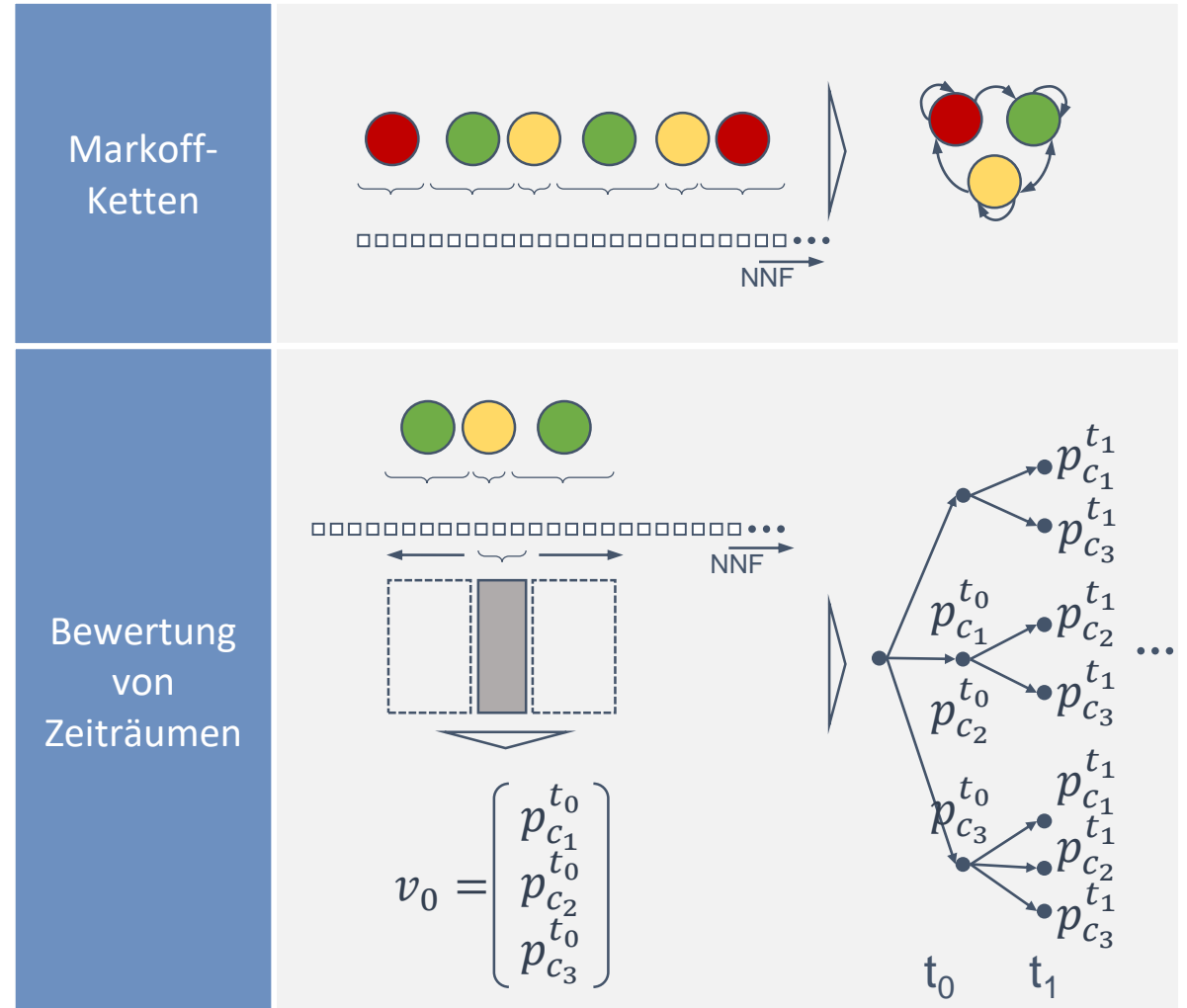
- Berücksichtigung der Unsicherheit der Wetterprognose
  - Stand der Technik: Marktsimulationen zur Generierung konsistenter Netznutzungsfälle (NNF)
  - Analyse unterschiedlicher Wetterjahre
    - Anzahl an NNF für praxisgerechten Einsatz des Verfahrens nicht zweckmäßig
- Identifikation gleichartiger NNF bezogen auf Schalthandlungen
  - Distanzmaß: duale Werte der Zweigenebenbedingungen aus DC-SCOPF
  - Interpretation: Einfluss einer fiktiven, infinitesimalen Erhöhung der Übertragungskapazität auf die Zielfunktion → infinitesimale Schalthandlung
- Vorgabe der maximalen Anzahl interpretierbarer NNF durch Anwender
  - praxisgerechter Einsatz des k-means-Algorithmus
- Identifikation möglicher Zeiträume für die Umsetzung der NAVM
  - kritische NNF (k-NNF): Prüfung der Umsetzbarkeit
  - repräsentative NNF (r-NNF): Ermittlung von erwarteten Kosten
  - Ermittlung der erwarteten Dauer und Eintrittswahrscheinlichkeit der r-NNF und k-NNF notwendig



# Modell

## Ableitung des probabilistischen Netznutzungsmodells

- Modellierung der Netznutzung als stochastischer Prozess
- sequentielle Abfolge der synthetischen Netznutzungsfälle als Input für Markoff-Ketten
- Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anfangszustände  $v_0$ 
  - exakte Sequenz der NNF nicht bekannt
    - Optimierung auf exakte Zeiträume in simuliertem Marktszenario nicht sinnvoll
    - Aufweitung der relevanten Netznutzungsfälle um einen Zeitraum von 4 Wochen
- Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der nächsten Zeitschritte
  - mehrmalige Multiplikation der Übergangsmatrix der Markoff-Kette mit Startvektor
    - durchschnittliche Zustandswahrscheinlichkeit erlaubt Ermittlung von erwarteten Kosten im Netzengpassmanagement

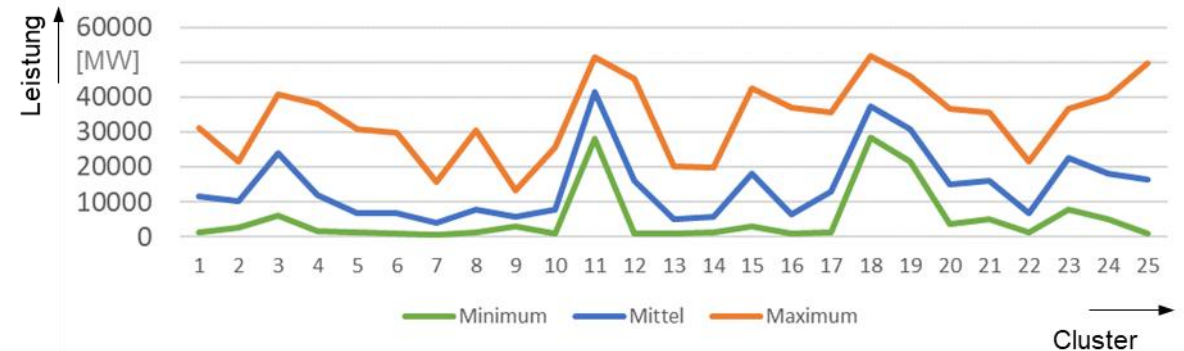


# Ergebnisse

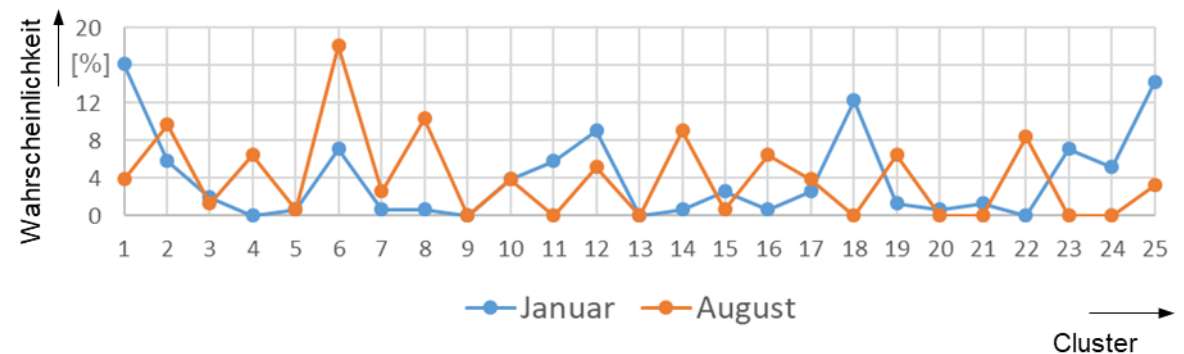
## Clusterverfahren und probabilistisches Netznutzungsmodell

- Plausibilisierung der Ergebnisse des Clusterverfahrens
    - erkennbarer Einfluss der Einspeisung aus Windenergieanlagen bei der Clusterbildung (insbesondere für Cluster 11, 18 und 19)
    - Einspeisung aus Windenergieanlagen nicht der einzige relevante Faktor (bspw. Cluster 25)
  - Bestimmung der Zustandswahrscheinlichkeit
    - saisonale Einflüsse bei der Bildung der Cluster relevant
    - bspw. Cluster 18 (Sommer) und 19 (Winter)
    - deutlich unterschiedliche Zustandswahrscheinlichkeiten in den relevanten Zeiträumen
- Gewichtungsfaktoren für die Ergebnisse der Netzanalysen im Rahmen der Mehrjahresschaltplanung

### Einfluss der Einspeisung aus Windenergieanlagen



### Zustandswahrscheinlichkeit





# Zusammenfassung

- aktuelle Herausforderung für Übertragungsnetzbetreiber
  - vermehrte Eingriffe für sicheren und zuverlässigen Betrieb des Übertragungsnetzes notwendig
  - Vielzahl bestätigter Netzausbau- und Netzverstärkungsmaßnahmen zur Ertüchtigung des Übertragungsnetzes
- frühzeitige, systemweite Freischaltplanung für Netzausbau- und Netzverstärkungsmaßnahmen hebt Potentiale zur Flexibilisierung der Freischaltplanung
- Implementierung des Prozesses der Mehrjahresschaltplanung beim Übertragungsnetzbetreiber TransnetBW
- komplexe und umfangreiche Netzanalysen für unterschiedliche Topologien notwendig
- Vorstellung eines probabilistischen Netznutzungsmodells
  - Reduktion der Problemkomplexität durch vorgelagertes Clusterverfahren
  - Ableitung von repräsentativen und kritischen Netznutzungsfällen
  - Modellierung der Netznutzung als stochastischer Prozess (Markoff-Kette)
- Netznutzungsmodell erlaubt Aussagen zur Umsetzbarkeit von Netzausbau- und Netzverstärkungsmaßnahmen und erwarteter Kosten im Netzengpassmanagement

# Fragen und Diskussion

## Kontakt Daten:

**Niklas Erle**

FGH e. V.

Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V.

Tel.: +49 241 997 857-199

Mail: [niklas.erle@fgh-ma.de](mailto:niklas.erle@fgh-ma.de)

Web: [www.fgh-ma.de](http://www.fgh-ma.de)



TRÄNSNET BW