

Modellierung robuster repräsentativer synthetischer Mittelspannungsnetze

Pascal Pfeifer

FGH e. V. – Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V.

Graz, 13.02.2020

Agenda:

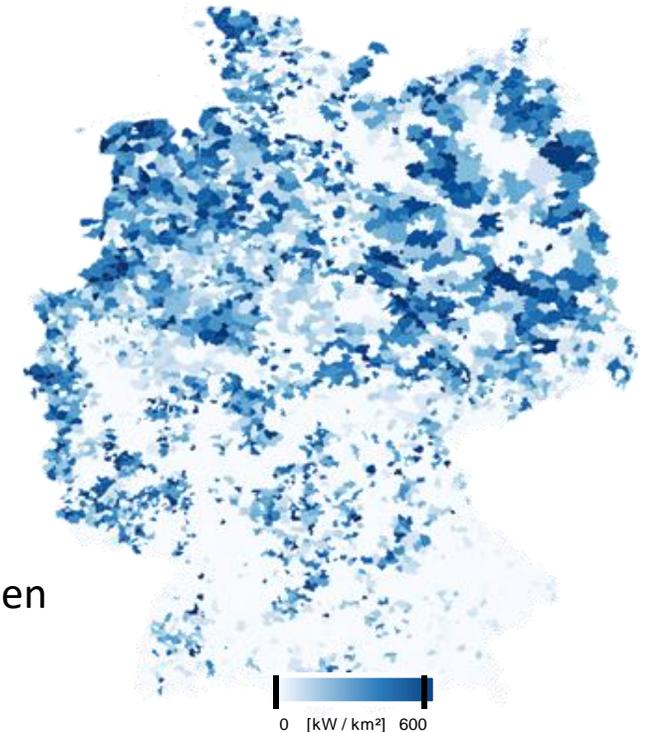
- Hintergrund und Zielsetzung
- Methodisches Vorgehen
- Exemplarische Ergebnisse
- Zusammenfassung



Hintergrund und Zielsetzung

- Versorgungsaufgabe deutschlandweit sehr heterogen geprägt
- Aktuelle Entwicklung: Energiewende, Elektrifizierung der Mobilitäts- und Wärmesektoren
- Regional Herausforderungen für die Verteilnetze
- Quantifizierung der gegenwärtigen und zukünftigen Herausforderungen durch wissenschaftliche Untersuchungen erforderlich
 - Physikalische Netzmodelle als Basis für technische Analysen
 - Netzmodelle nicht öffentlich verfügbar
 - Synthetische Erzeugung unter Berücksichtigung öffentlich verfügbarer Daten
 - Erstellung und Untersuchung aller 4500 Mittelspannungsnetze aufwendig
 - Auswahl repräsentativer Netzregionen und Erstellung der zugehörigen Netzmodelle
 - Quantifizierung zukünftiger Herausforderung erfordert Berücksichtigung von Szenarien
 - Ausweisung robust über mehrere Szenarien gültige Netzregionen und -modelle

Installierte Leistung
Windenergieanlagen
in Deutschland



Ziel des Beitrags

Entwicklung einer Methode zur Ableitung robuster repräsentativer synthetischer Mittelspannungsnetzmodelle

Methodisches Vorgehen

Eingangsdaten

- Ableitung repräsentativer Netzregionen mittels Clusteranalyse

- **Schritte der Clusteranalyse:**

- (1) Bestimmung von Merkmalen als Eingangsgrößen
- (2) Festlegung der Bewertungsgrößen
- (3) Wahl des Cluster-Verfahrens
- (4) Anwendung und Ergebnisbewertung

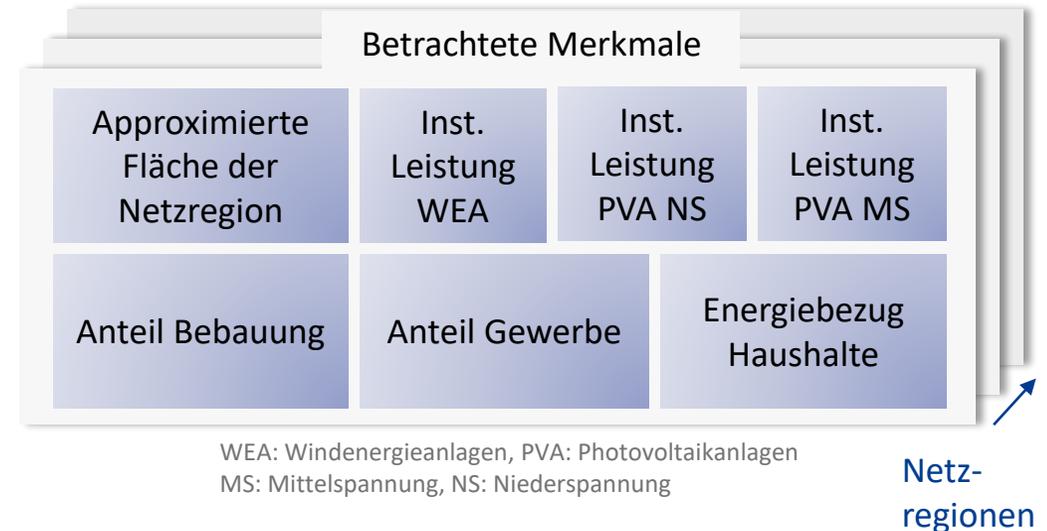
- **Wahl der Merkmale**

- Kriterien: Relevanz, hinreichende Datengrundlage, stochastische Unabhängigkeit, geringe Anzahl
- Kriterien für festgelegte 7 Merkmale erfüllt
- Gewährleistung einer gleichmäßigen Berücksichtigung aller Merkmale in Clusteranalyse notwendig
 - Skalierung der 5%- und 95 %-Quantile der Daten aller Merkmale auf $[0,1]$

→ Merkmale für alle betrachteten Netzregionen sind Eingangsdatensatz der Clusteranalyse

- **Berücksichtigung von Szenarien**

- Berücksichtigung als Merkmale aufgrund hoher stoch. Abhängigkeit und Vielzahl von Dimensionen nicht geeignet
 - Durchführen der Clusteranalyse für alle Szenarien und Auswahl der über alle Szenarien gesamtbesten Lösung



Methodisches Vorgehen

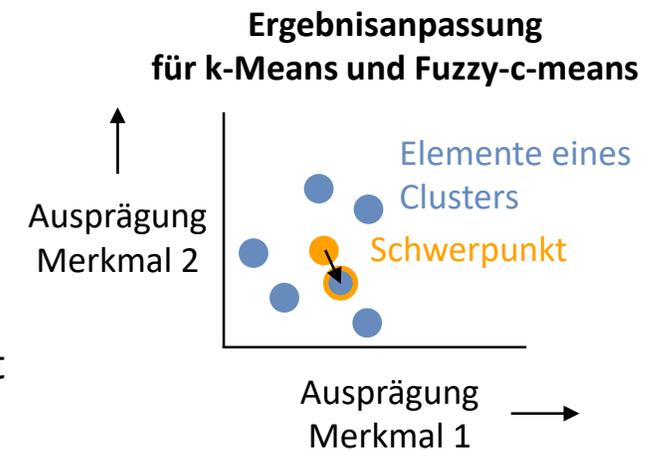
Bewertungsgrößen und Wahl des Cluster-Verfahrens

■ Anforderung an repräsentative Netze und daraus abgeleitete Bewertungsgrößen:

- **Heterogenität:** Berücksichtigung untypischer, ausgeprägter Netze
 - Ähnlichkeitsmaß der Cluster-Verfahren:
Quadr. Abstand $d_{i,s}$ zwischen Schwerpunkt s und Elementen i des Clusters (Euklidische Norm)
- **Repräsentativität:** Widerspiegeln der Grundgesamtheit durch Repräsentanten
 - Zusätzliche Auswertungsgröße (keine Zielgröße der Cluster-Verfahren):
Skalierungsfehler ε bei Auswertung aller Merkmale je Clusterschwerpunkt * n Elemente des Clusters gegenüber Summe der Merkmalsausprägung der Grundgesamtheit aller Elemente

■ Wahl des Cluster-Verfahrens

- Partitionierende Verfahren in Voruntersuchungen mit besten Ergebnissen
- Betrachtete Verfahren: K-Means, Fuzzy-c-means, k-Medoids
- K-Means, Fuzzy-c-means: Mittelwerte als Clusterschwerpunkte, die keinen Elementen der Grundgesamtheit aller Netzregionen entsprechen
 - Anpassung des Ergebnisses erforderlich:
Schwerpunktverschiebung zum nächstgelegenen Element der Grundgesamtheit
- Vergleichende Bewertung der genannten Verfahren und Beurteilung anhand der definierten Bewertungsgrößen notwendig

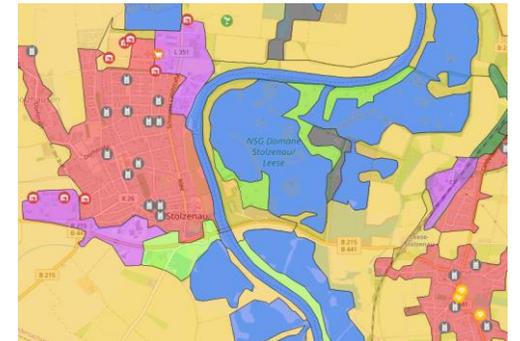


Methodisches Vorgehen

Modellierung der Netze

	Ergebnis der Clusteranalyse	Zusätzliche Eingangsdaten der Netzregion
Eingangsdaten	<i>Repräsentative Netzregion, Ausprägung der zugehörigen Parameter</i>	<i>Weitere EE-Anlagen, Innovative Netznutzung (Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge), Heimspeicher</i>
Verfahren	<ul style="list-style-type: none">■ Synthetische Erstellung aller Netzkunden auf Basis der Eingangsdaten■ Georeferenzierung der Netzkunden■ Topologieerstellung mittels Capacitated Vehicle Routing Problems (CVRP)■ Vorgehen zur Berücksichtigung von Szenarien:<ul style="list-style-type: none">■ Netzmodelle für zukünftige Szenarien als Modifikation des Netzmodells des Grund Szenarios■ Anschluss weiterer Netzkunden an Netztopologie des Grund Szenarios, ggf. Verstärkung der Betriebsmittel	
Ergebnis	<i>Netzmodelle für repräsentative Netzregion für verschiedene Szenarien</i>	

Beispielhafte Georeferenzierung der Netzkunden



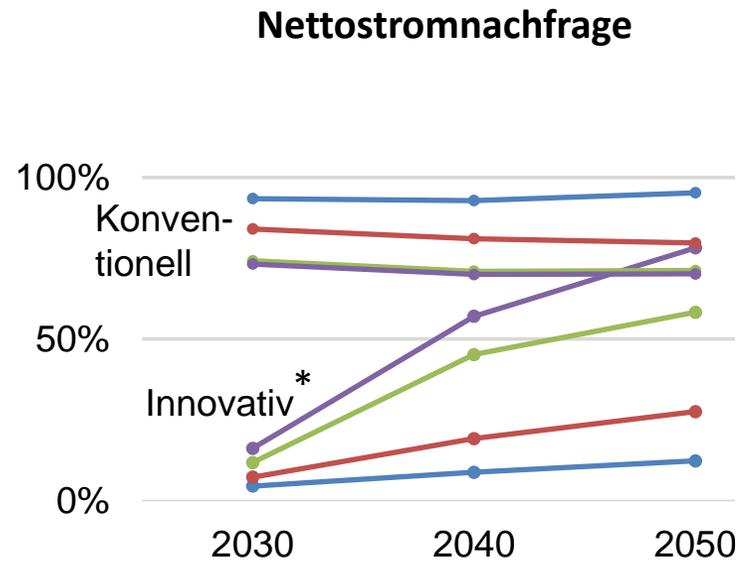
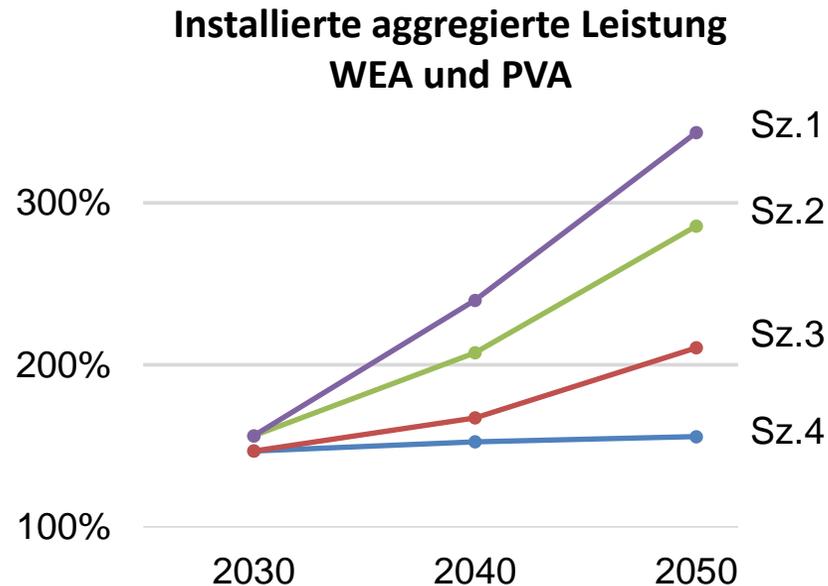
Quelle Karte: OpenStreetMap
Lizenz: CC-BY-SA 2.0

→ Exemplarische Anwendung von Clusteranalyse und Netzmodellierung

Exemplarische Ergebnisse

Szenariorahmen

- Exemplarischer Szenariorahmen aus Forschungsprojekt *enera*
- Regional aufgeschlüsselte Vorgaben zukünftiger Stromnachfrage und -angebot in Deutschland
- Definition verschiedener Szenarien mit konservativen bis progressiven Entwicklungspfaden



* Elektromobilität,
Power to Heat,
Power to Gas / Liquid

Für beide Darstellungen:
Referenzjahr für 100 % ist 2018

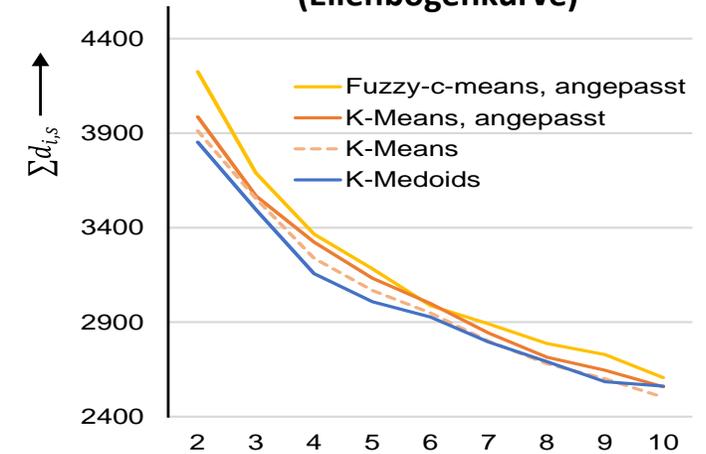
➔ Anwendung der Cluster-Verfahren für alle 12 Zustände (4 Szenarien, 3 Stützjahre)

Exemplarische Ergebnisse

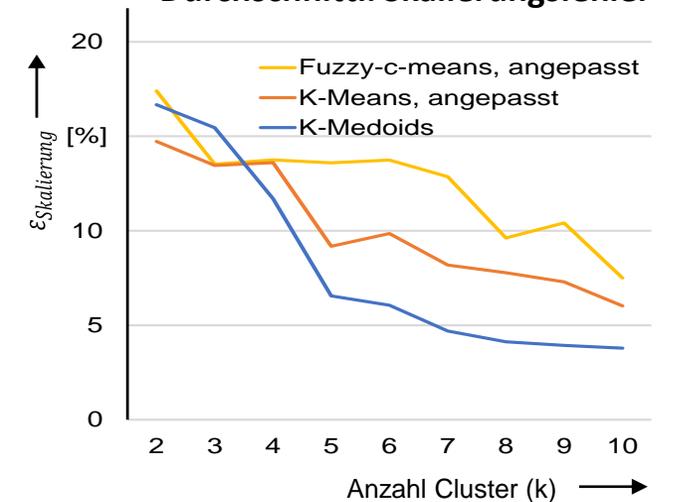
Bewertung von Cluster-Verfahren und Clustergröße

- Ausgewiesene Bewertungsgrößen zeigen Durchschnitt der Ergebnisse über alle Szenarien
- K-Medoids sowohl hinsichtlich quadratischem Fehlermaß als auch bei Skalierung der Parameter und Vergleich mit Grundgesamtheit am besten
- Wahl der Anzahl der Cluster anhand gezeigter Ergebnisse schwierig
- Deutliche Reduzierung von ε ab $k = 5$ festzustellen
- Detailbetrachtung der Ergebnisse mit Fokussierung auf k-Medoids-Algorithmus und Anzahl an Cluster von $5 \leq k \leq 8$ sinnvoll

Summe quadr. Abstände zwischen Schwerpunkten und Elementen (Ellenbogenkurve)



Durchschnittl. Skalierungsfehler

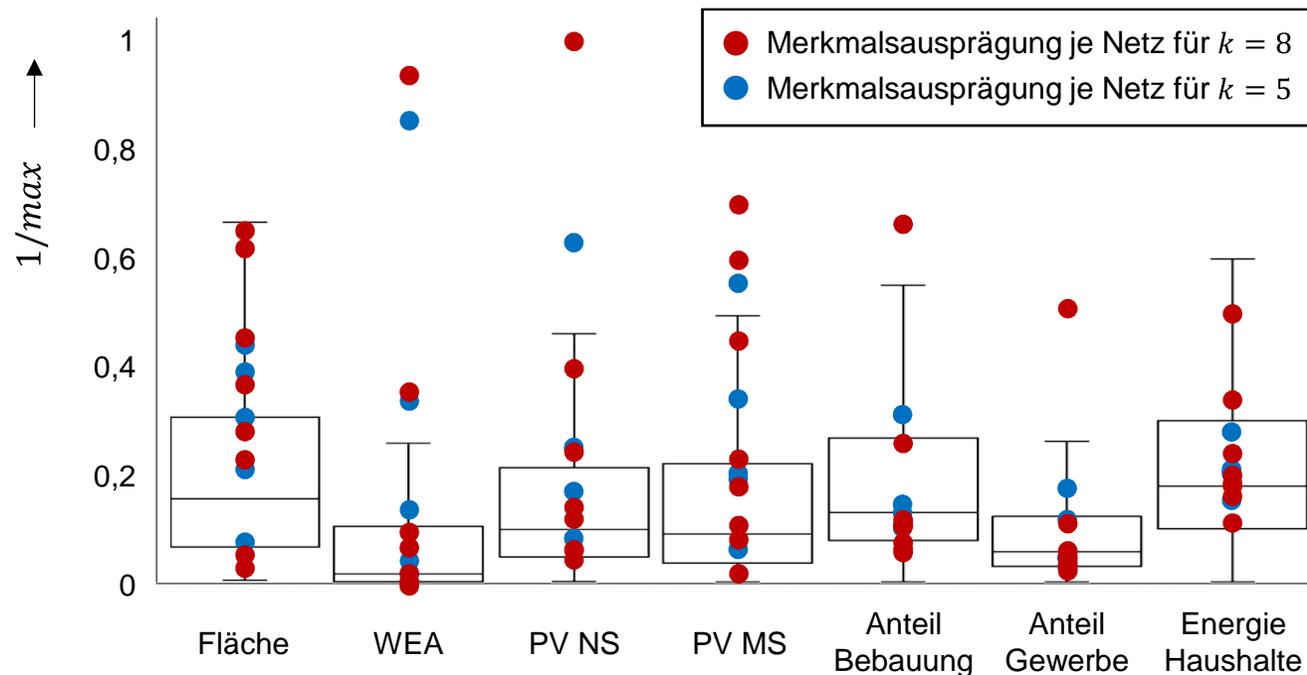


Exemplarische Ergebnisse

Detailbetrachtung $5 \leq k \leq 8$

- Skalierungsfehler für $k < 8$ zwar durchschnittlich gering, in einzelnen Merkmalen aber $> 10\%$
- Heterogenität der resultierenden repräsentativen Netze erst ab $k = 8$ hinreichend für alle Merkmale gegeben:

Beispielhafter Vergleich von $k = 5$ und $k = 8$:



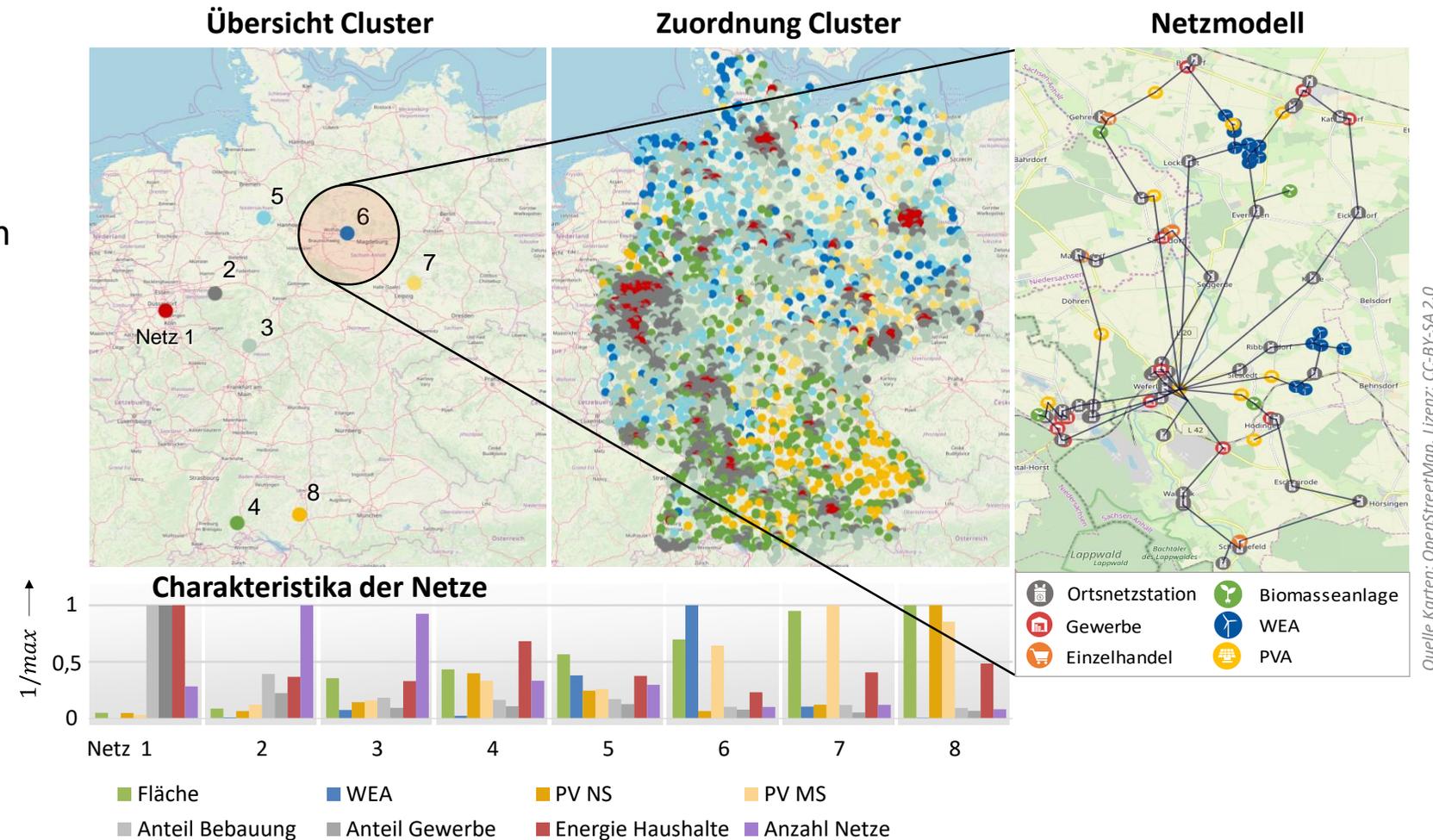
- Boxplot beschreibt Verteilung der Grundgesamtheit für alle Merkmale
- Punkte zeigen Merkmalsausprägungen der resultierenden Netze je Cluster
- Für $k = 5$ kein Netz mit hohen Werten für Fläche, Anteil Bebauung, Anteil Gewerbe, Energiebezug der Haushalte
- ➔ Kein ausgeprägtes städtisches Netz
- Ergebnisse mit $k = 6$ und $k = 7$ ähnlich für verschiedene Merkmale
- Für $k = 8$ ausgeprägte resultierende Netze für alle Merkmale

➔ Bestes Ergebnis bei Anwendung des k-Medoids-Algorithmus und Clusteranzahl von $k = 8$

Exemplarische Ergebnisse

Repräsentative Netze

- Resultierende 8 Netzregionen über ganz Deutschland verteilt
 - Zuordnung der Cluster zeigt städtische und ländliche sowie PVA- und WEA-geprägte Regionen
 - Ergebnis umfasst sowohl ausgeprägte seltene Netze als auch häufige Durchschnittsnetze
 - Netzmodellierung zeigt sinnvolle geografische Verortung der Netzkunden und typische Ringnetztopologie
- ➔ Ansatz zur Modellierung repräsentativer Netze geeignet



Quelle: Karten: OpenStreetMap, Lizenz: CC-BY-SA 2.0

Zusammenfassung

Ziel des Beitrages

Entwicklung einer Methode zur Ableitung robuster repräsentativer synthetischer Mittelspannungsnetzmodelle als Grundlage wissenschaftlicher Untersuchungen

■ Zweistufiges Vorgehen:

- (1) Auswahl repräsentativer Netzregionen mittels Clusteranalyse auf Basis 7 charakterisierender Merkmale
- (2) Modellierung der Netze der repräsentativen Netzregionen

■ Exemplarische Anwendung

- Berücksichtigung von konservativen bis progressiven Szenarien
- Bestes Ergebnis bei Verwendung des k-Medoids-Algorithmus und $k = 8$ Clustern
- Resultierende Netzregionen über Deutschland verteilt
- Bandbreite von kleinen städtischen Netzen bis hin zu ländlichen Netzen mit hoher Zahl von EE-Anlagen
- Exemplarische Netzmodellierung: Geografische Verortung der Anlagen und typische Ringnetztopologie

Fragen und Diskussion

Kontakt Daten:

Pascal Pfeifer

FGH e. V.

Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V.

Tel.: +49 241 997 857-10

Mail: pascal.pfeifer@fgh-ma.de

Web: <https://www.fgh-ma.de>



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages