

# Das eGo<sup>n</sup> Modellkonzept - Stromnetzmodellierung und Sektorenkopplung

Ulf Philipp Müller

ZNES - Hochschule Flensburg

30. September 2020





# Gliederung

---

- 1 Teilnehmer:innen
- 2 Keynote-Vortrag zu *PyPSA-Eur-Sec*, Dr. Tom Brown (KIT)
- 3 Forschungsfragen
- 4 Schematisches Modellkonzept
- 5 Räumliche Komplexität
- 6 HöS/HS Optimierung
  - Räumliche Komplexitätsreduktion
  - Zeitliche Komplexitätsreduktion
- 7 MS/NS Optimierung

# Teilnehmer:innen



# Teilnehmer:innen

---



[www.menti.com](http://www.menti.com)  
Code: 15 67 67 8

# Umfrageergebnisse



Aus welchem Bereich kommen Sie bzw. womit beschäftigen Sie sich? (Mehrfachnennung möglich)



Wissenschaft



Netzbetreiber



Regulierungsbehörde



Speicher



Sektorenkopplung



nur Strom



# PyPSA-Eur-Sec: A Sector-Coupled Open Optimisation Model of the European Energy System

Dr. Tom Brown  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Gruppenleiter Energiesystemmodellierung

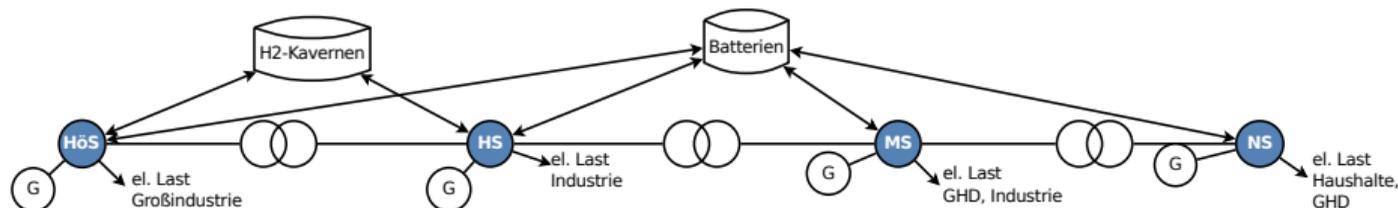
# Was hat *PyPSA(-Eur-Sec)* mit *eGo<sup>n</sup>* zu tun?



- die *eGo<sup>n</sup>*-Tools (*eTraGo*, *eDisGo* (...)) nutzen *PyPSA* und das entsprechende Modelldesign
- das gleiche Optimierungsverfahren (LOPF) wird verwendet
- *PyPSA-Eur-Sec* soll im Projekt als Szenariogenerator für das 100% RE Szenario dienen

- Inwieweit führt die **Sektorenkopplung** zu bisher übersehenem **Netzausbau- bzw. Energiesystemflexibilisierungsbedarf**?
- Welches Potenzial zur **Kostenreduktion** von Netz- und Speicherausbau kann mit verschiedenen Durchdringungen von zusätzlichen Flexibilitäten (insbes. Wärmepumpen und E-Mobilität) durch Sektorenkopplung gehoben werden?
- Welchen Einfluss hat die **räumliche Verortung** von sektorgekoppelten Anlagen in der **HöS/HS-Ebene** auf die Kosten, Netz- und Speicherausbaubedarf?
- Welchen Einfluss hat die räumliche Verortung von sektorgekoppelten Anlagen in der **MS/NS-Ebene** (insb. PtH und Ladeinfrastruktur) auf Netzausbaubedarf?

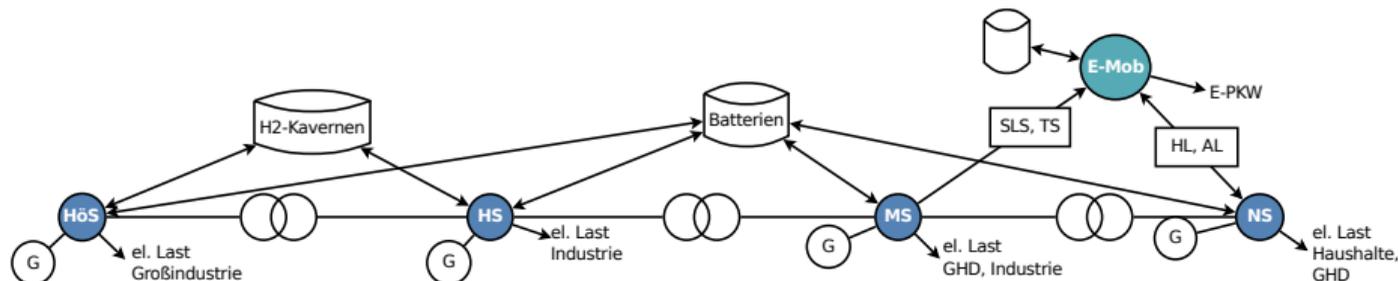
# Schema der Modellkomponenten Strom



## Legende

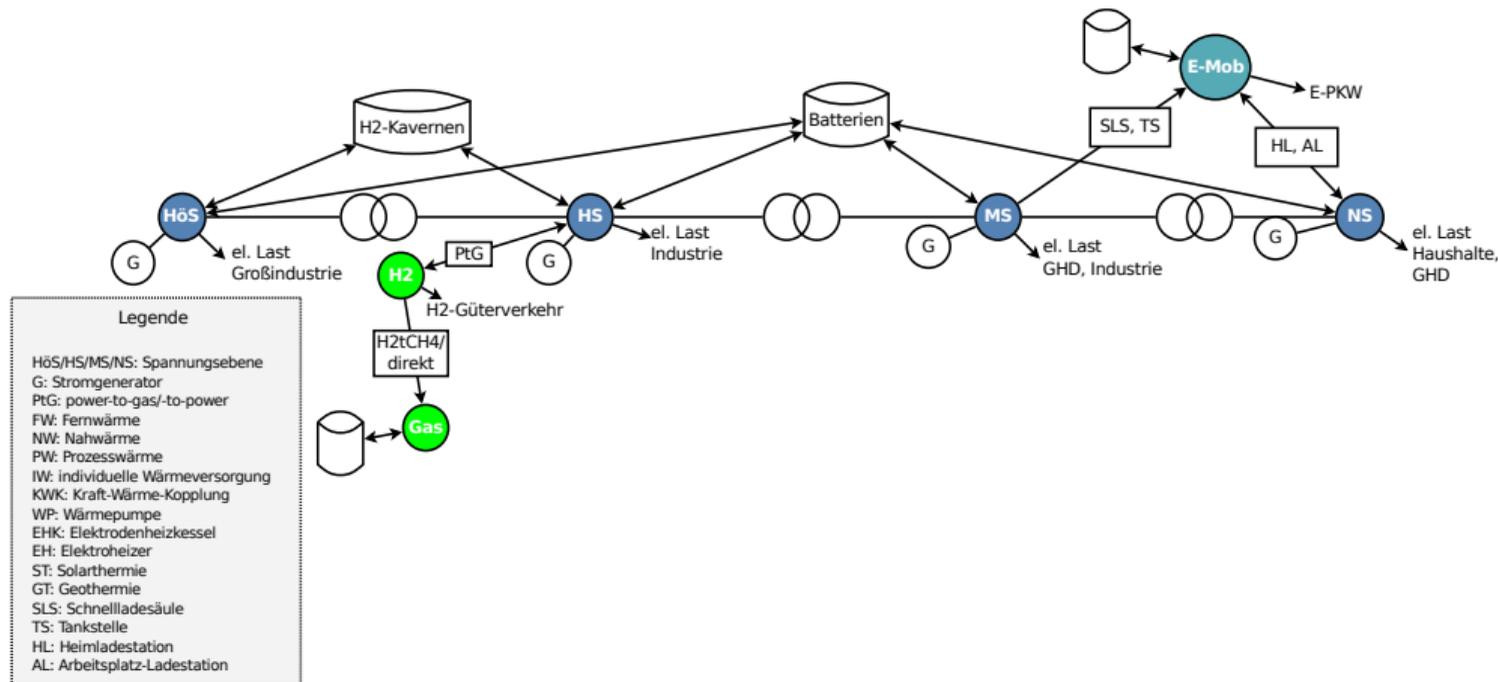
- HöS/HS/MS/NS: Spannungsebene
- G: Stromgenerator
- PtG: power-to-gas/-to-power
- FW: Fernwärme
- NW: Nahwärme
- PW: Prozesswärme
- IW: individuelle Wärmeversorgung
- KWK: Kraft-Wärme-Kopplung
- WP: Wärmepumpe
- EHK: Elektrodenheizkessel
- EH: Elektroheizer
- ST: Solarthermie
- GT: Geothermie
- SLS: Schnellladesäule
- TS: Tankstelle
- HL: Heimpladestation
- AL: Arbeitsplatz-Ladestation

# Schema der Modellkomponenten Strom / E-Mobilität



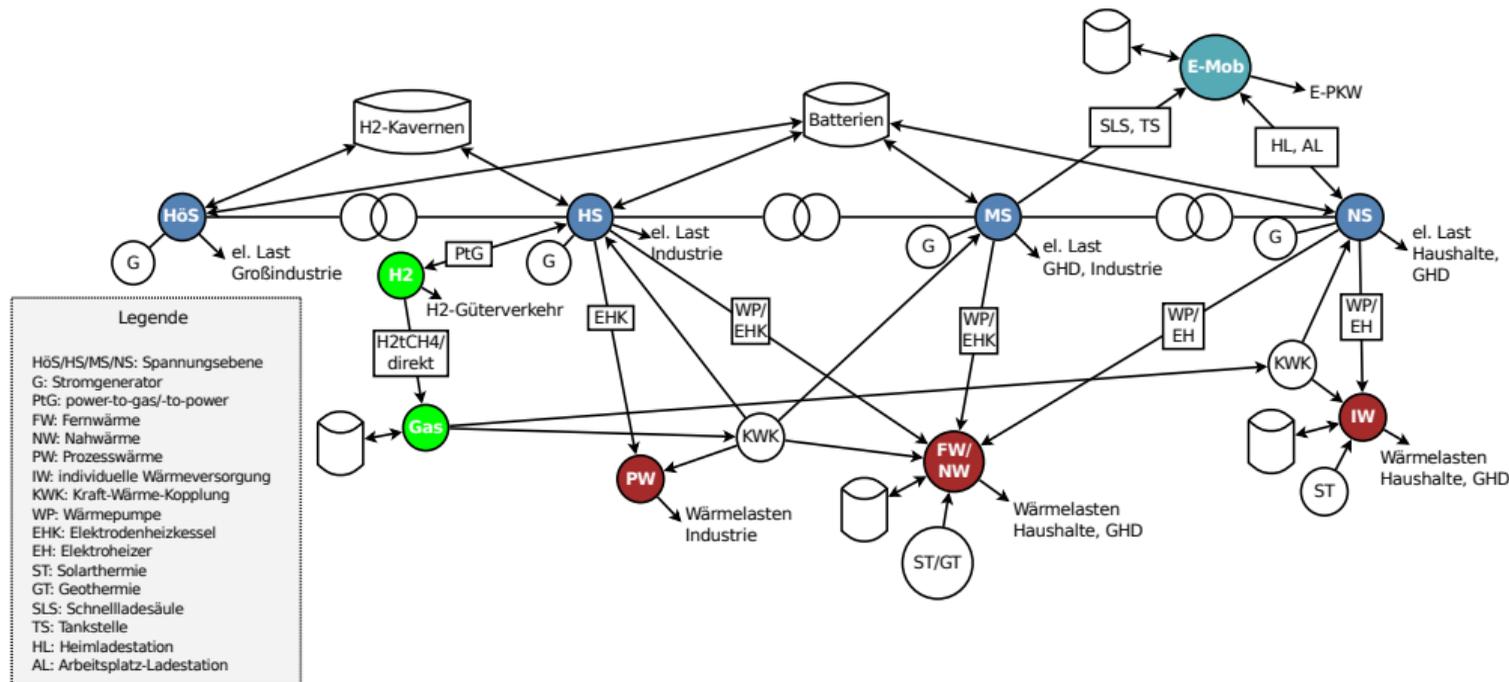
Legende	
HöS/HS/MS/NS:	Spannungsebene
G:	Stromgenerator
PtG:	power-to-gas/-to-power
FW:	Fernwärme
NW:	Nahwärme
PW:	Prozesswärme
IW:	individuelle Wärmeversorgung
KWK:	Kraft-Wärme-Kopplung
WP:	Wärmepumpe
EHK:	Elektrodenheizkessel
EH:	Elektroheizer
ST:	Solarthermie
GT:	Geothermie
SLS:	Schnellladesäule
TS:	Tankstelle
HL:	Heimladestation
AL:	Arbeitsplatz-Ladestation

# Schema der Modellkomponenten Strom / E-Mobilität / Gas



# Schema der Modellkomponenten

## Strom / E-Mobilität / Gas / Wärme



# Menti-Fragen Block 1

---



[www.menti.com](http://www.menti.com)  
Code: 15 67 67 8



## Welche Technologie fehlt Ihnen?



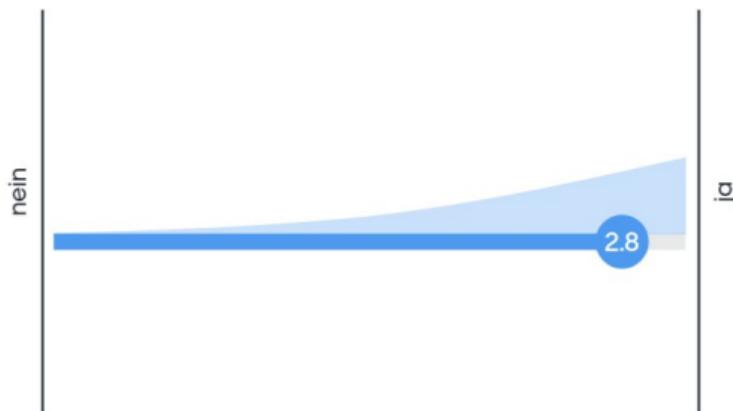
# h2 bedarf in industrie



# Umfrageergebnisse



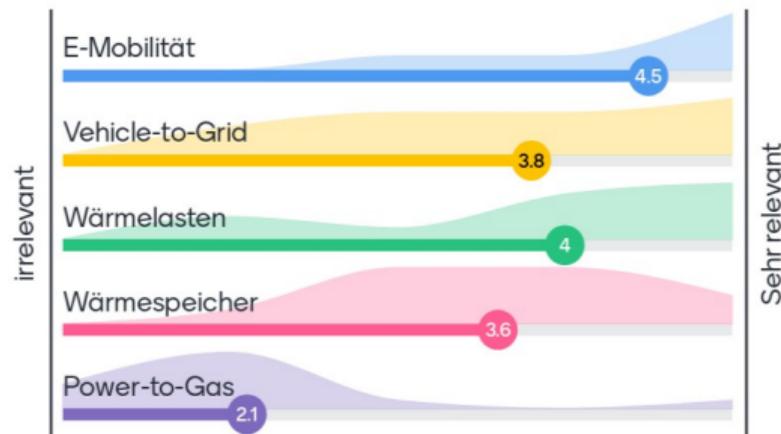
Ist die Verortung zu den Spannungsebenen schlüssig?



# Umfrageergebnisse



Welche neuen Komponenten aus der Sektorenkopplung sind besonders relevant für die Verteilnetzplanung?

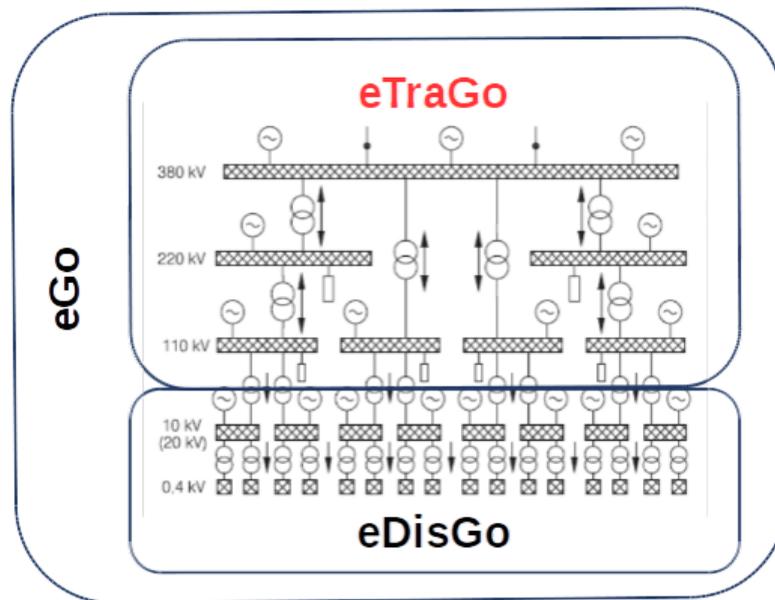


# Spannungsebenen-Top-Down-Verfahren

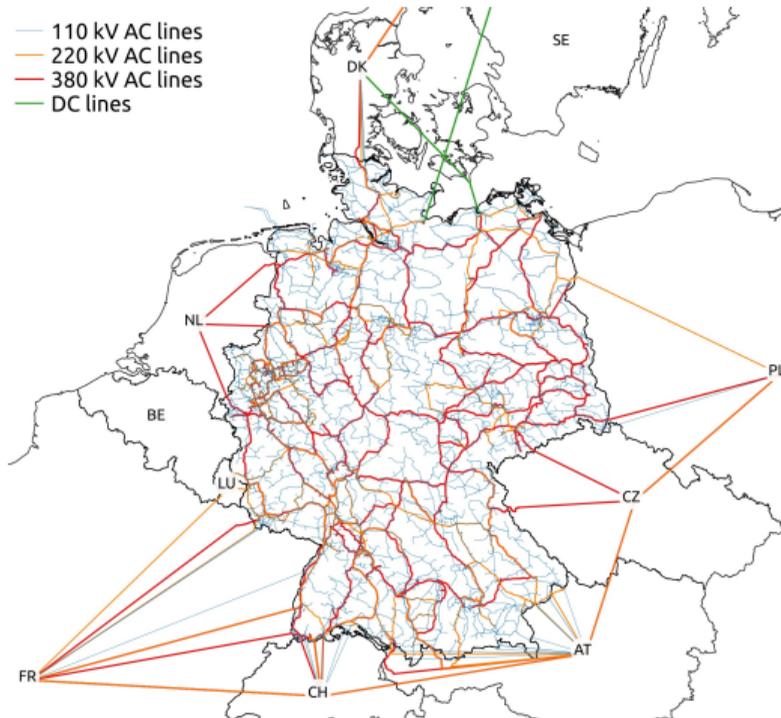


1. Systemkosten-Optimierung mit *eTraGo* für deutsche HöS- und HS-Ebene (inkl. aller darunter liegenden aggregierten Lasten und Erzeuger) im europäischen Verbund (inkl. Komplexitätsreduktion)
2. Schnittstelle zur MS-Ebene mittels Desaggregation und MS-Netz-Clustering
3. Berechnung der resultierenden Netzausbaubedarfe im MS- und NS-Bereich mit *eDisGo*
4. Speicher und Abregelungen in der MS- und NS- Ebene werden nur entsprechend der Schnittstellenvorgabe möglichst gewinnbringend verteilt
5. evtl. eine Rückkopplung/Iteration, die den Dispatch von Flexibilitätsoptionen verändert.

# Tool-Aufteilung je Spannungsebene



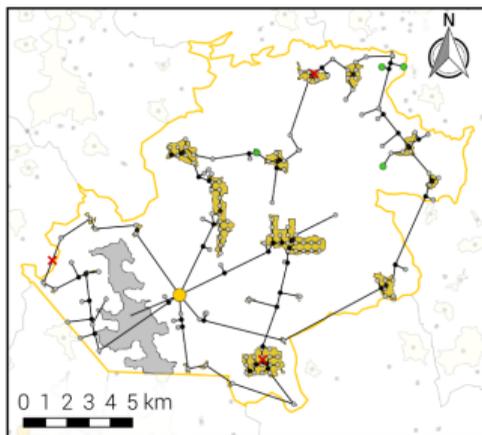
# Räumliche Komplexität in Deutschland HöS/HS



ca.

- 4000 Umspannwerke
- 7000 Muffen
- 20.000 Leitungen

ca. 3600 MS-Netze:



-  MV grid district (MVG)
-  HV-MV substation (Transition point)
-  Satellite load area
-  Regular load area
-  Aggregated load area
-  MV branch (line/cable)
-  Circuit breaker
-  MV generator
-  MV-LV station
-  Cable distributor

# HöS/HS Optimierung

Verwendung des *PyPSA* Linear Optimal Power Flows (LOPF) - Integrierte mehrperiodige Optimierung von Investition und Kraftwerkseinsatz unter Berücksichtigung der linearisierten Kirchhoff'schen Lastflussgleichungen

$$\min_{\substack{F_\ell, H_{n,s} \\ g_{n,r,t}, h_{n,s,t}}} \left[ \sum_{\ell} c_{\ell} \cdot F_{\ell} + \sum_{n,r,t} (w_t \cdot o_{n,r} \cdot g_{n,r,t}) \right. \\ \left. + \sum_{n,s} c_{n,s} \cdot H_{n,s} + \sum_{n,s,t} w_t \cdot o_{n,s} \cdot [h_{n,s,t}]^+ \right] \quad \forall \ell, n, r, s, t \quad (1)$$

## investiv:

- Stromleitungskapazitäten
- Langzeitspeicher (Wasserstoff in Salzkavernen) und Kurzzeitspeicher (Li-Ion)
- power-to-gas Anlagen / Brennstoffzellen

## dispatch:

- Kraftwerkseinsatz
- Speichereinsatz (Strom, Wärme, Gas, E-Mobilität)
- power-to-heat Einsatz (Wärmepumpen, Elektrodenheizkessel)
- power-to-gas(-to-power) Einsatz

- Strom- und Wärme- und Verkehrslast (abgesehen von DSM-Flexibilitäten)
- Strom- und Wärmeerzeugungskapazitäten
- Speicherkapazitäten in den Bereichen Wärme, Verkehr und Gas
- Gas- und Wärmenetze (sehr vereinfachte Darstellung der Netze)
- Sektorenkopplungskapazitäten: power-to-heat, power-to-wheel

# Menti-Fragen Block 2

---

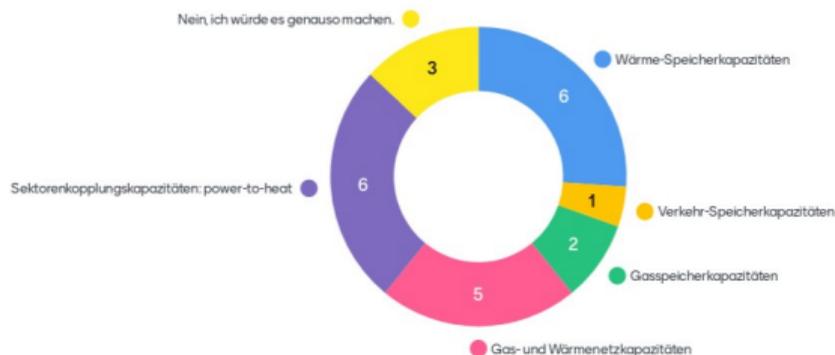


[www.menti.com](http://www.menti.com)  
Code: 15 67 67 8

# Umfrageergebnisse



Gibt es exogene Parameter, die Ihrer Meinung nach wichtig wären zu endogenisieren? Wenn ja, welche?



# HöS/HS - Komplexitätsreduktion

## Grundsätzlicher Trade-off

- europäische Perspektive wichtig für Szenarioerstellung sowie *eTraGo*-Optimierung
- möglichst geringe räumliche/inhaltliche Komplexität abseits des Deutschlandfokus

## Ausgangssituation

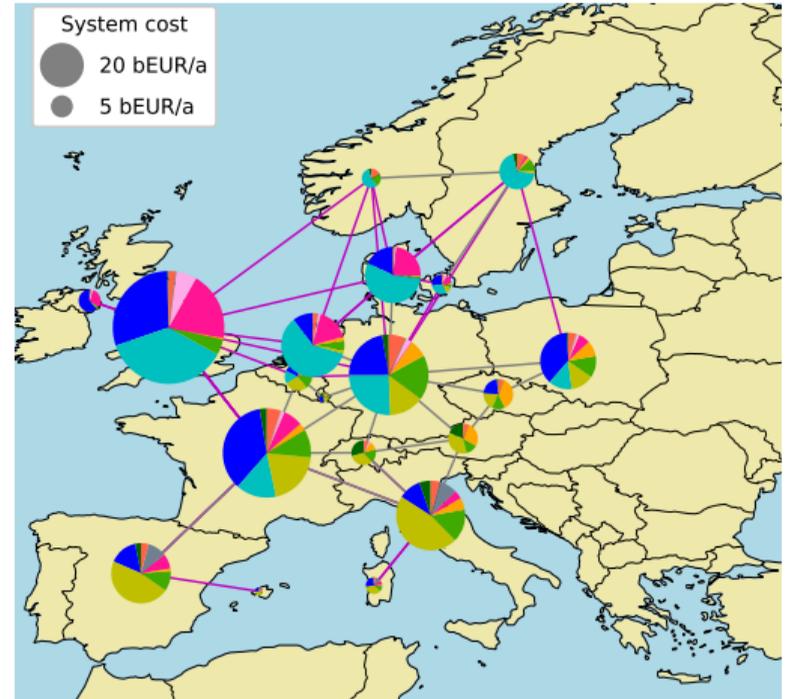
- im vorherigen Projekt wurden nur die heutigen elektrischen Nachbarn abgebildet
- die Ergebnisse, Sensitivitätsanalysen und Feedback haben eine signifikante Sensitivität gezeigt

# Abbildung der Nachbarländer



## Vermeintliche Verbesserungen

- Einbezug der absehbaren elektrischen Nachbarn Norwegen, England und Belgien
- darüber hinaus Italien
- darüber hinaus Spanien
- sowie Szenarioerstellung (*PyPSA-Eur-Sec*) als auch HöS/HS-Optimierung (*eTraGo*) 'sehen' die gleichen Länder





Auswertungen bzgl. Systemkosten, Netz-, Speicherausbau, sowie installierte Leistungen von Solar und Wind zeigen das obige Setting (inkl. Italien und Spanien)

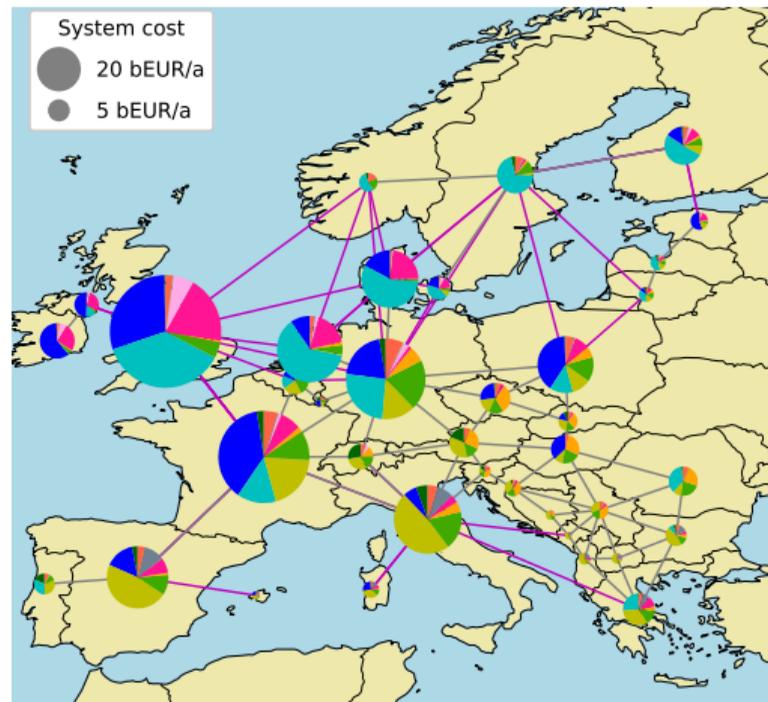
- kommt dem Original recht nah (normiert auf jeweilige Last)
- zeigt im Einzelfall allerdings für D trotzdem große Abweichungen (40% mehr Solarleistung in D bei starkem europäischen Netzausbau)

# Abbildung der Nachbarländer



Alternativ: Szenarioerstellung in *PyPSA-Eur-Sec* mit **allen** europ. Ländern, im Anschluss in *eTraGo*

- werden alle Länder außer die direkten el. Nachbarn vernachlässigt

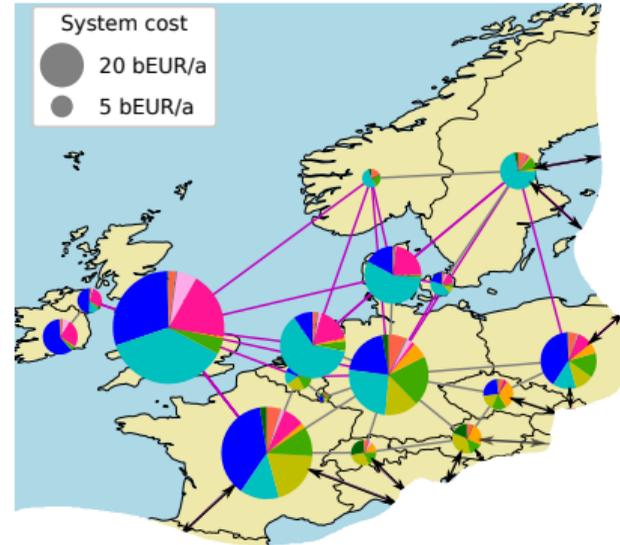


# Abbildung der Nachbarländer



Alternativ: Szenarioerstellung in pypsa-eur-sec mit **allen** europ. Ländern, im Anschluss in *eTraGo*

- werden alle Länder außer die direkten el. Nachbarn vernachlässigt
- alternativ muss zusätzlich der Flow je crossborder-Ltg zu den vernachlässigten Ländern getroffen werden



# Menti-Fragen Block 3

---

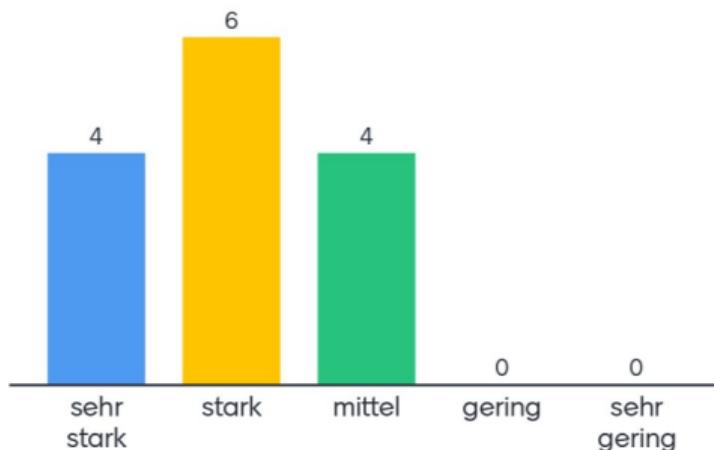


[www.menti.com](http://www.menti.com)  
Code: 15 67 67 8

# Umfrageergebnisse



Wie stark beurteilen Sie den Einfluss der Nachbarländer auf das deutsche Energiesystem?



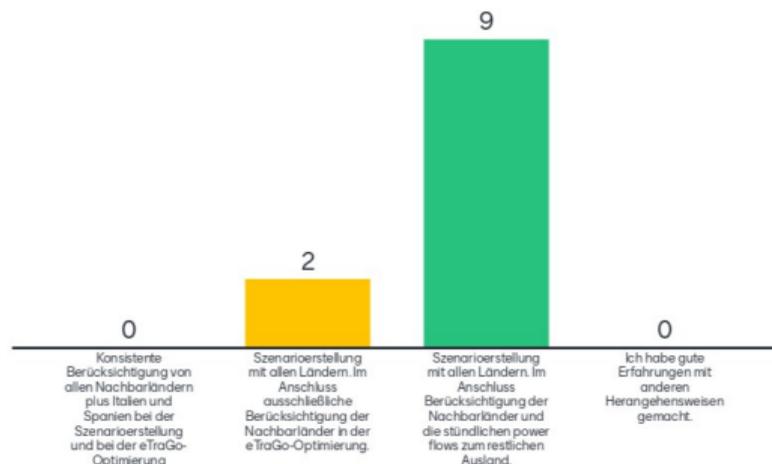
# Umfrageergebnisse



Welche Länder haben Ihrer Erfahrung nach großen Einfluss auf das deutsche System (evtl. auch aus der '2. Reihe')?



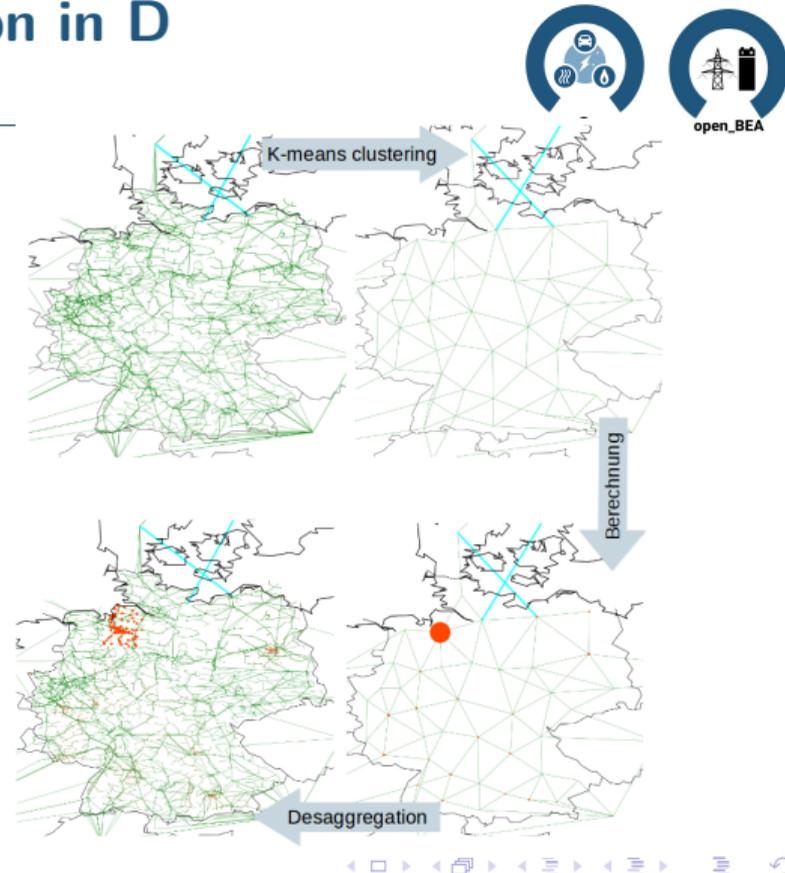
## Welche Vorgehensweise scheint am besten?



# Räumliche Komplexitätsreduktion in D

## Status Quo

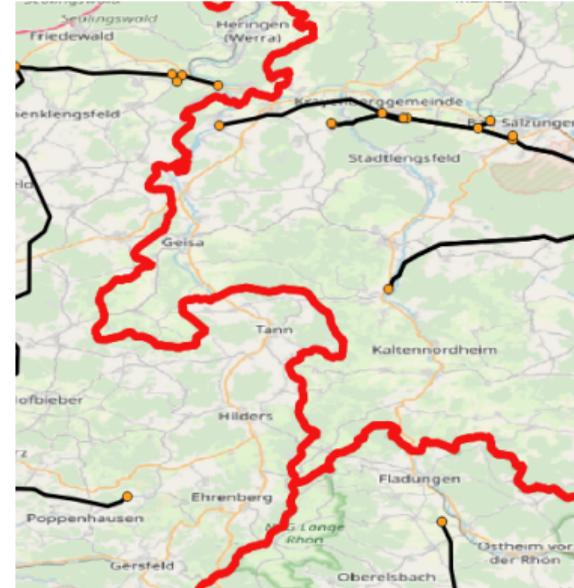
- K-means network clustering
  - Implementiert nach Hoersch et al. (2017)
  - Flexibles Einsparpotential auf k Knoten
  - Berücksichtigung sämtlicher Kapazitäten und Impedanzen zwischen Clustern
- Desaggregation
  - Ermöglicht eine Rückverteilung der Knotenergebnisse auf die ursprüngliche Komplexität. Wird für die Schnittstelle zu *eDisGo* verwendet.



# Räumliche Komplexitätsreduktion in D Planungen



- Motivation: fälschliche Vermaschung vermeiden
- Lösungsansatz:
  - auf k-medoid umstellen
  - bei der Clusterbildung die jeweilige Länge der elektrischen Verbindung des Originalknoten zum k-medoid Clusterknoten
  - Verwendung eines Dijkstra-Algorithmus



Bisher:

- bisher simply the best: Berechnung lediglich jeder 3.-5. Stunde (und entsprechender Gewichtung)
- hierarchisches Clustering mittels tsam zur Bildung von Typtagen (auch mit Modellierung von Inter-SOCs) zeigt bei höherer geographischer Auflösung keine gute Approximation

In der Entwicklung:

- Chronologisches snapshot clustering: Zusammenfassen aufeinanderfolgender Stunden in Abhängigkeit ihrer Ähnlichkeit

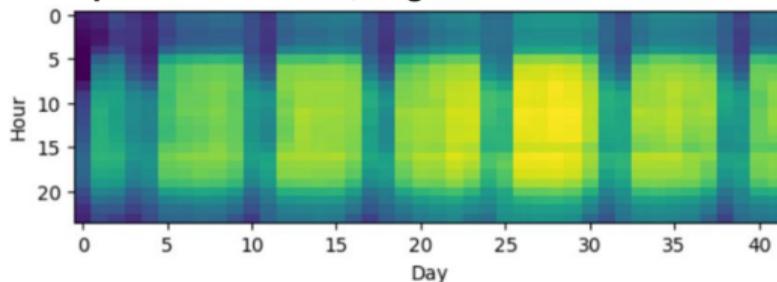
# Chronologisches Clustering (Segmentation)



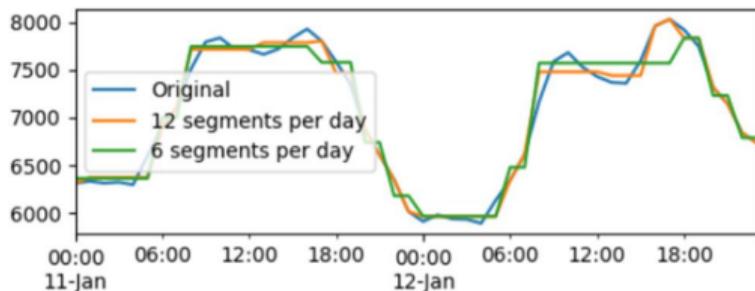
## Methodik

- Im Rahmen des chronologischen Clusterings werden nur benachbarte Zeitschritte zu Clustern zusammengefügt (Pineda, et al. 2018)
- Die Länge der Cluster (Segments) ist variabel, z.B.:  
Zeitraum mit konstanter Last → langes Segment  
Zeitraum mit Lastsprung → kurzes Segment

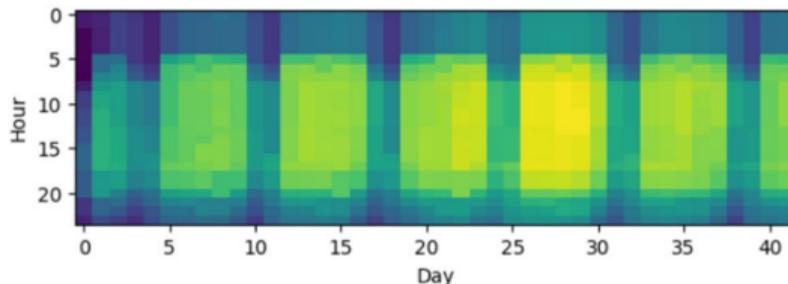
## Beispiel Jahresverlauf, originale Zeitreihe:



## Beispiel chron. Clustering im Tagesverlauf:



## Reduktion der Zeitschritte um 50% mit chron. Clustering → 12 Zeitschritte pro Tag mit variabler Schrittweite



Bildquellen: eigene Abbildungen, erstellt mit tsam python package (Forschungszentrum Jülich, <https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/tsam>)

# Menti-Fragen Block 4

---

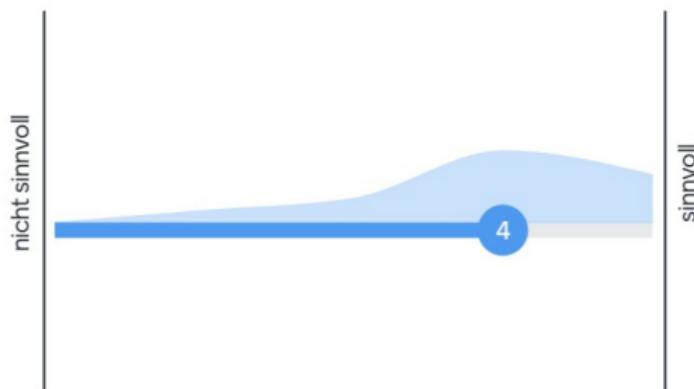


[www.menti.com](http://www.menti.com)  
Code: 15 67 67 8

# Umfrageergebnisse



Bewerten Sie die Kombination aus volkswirtschaftlicher Gesamtsystem-Optimierung vom deutschen sektorgekoppelten Stromsystem und der hohen Auflösung:



# Umfrageergebnisse



Welche vergleichbaren Projekte kennen Sie?



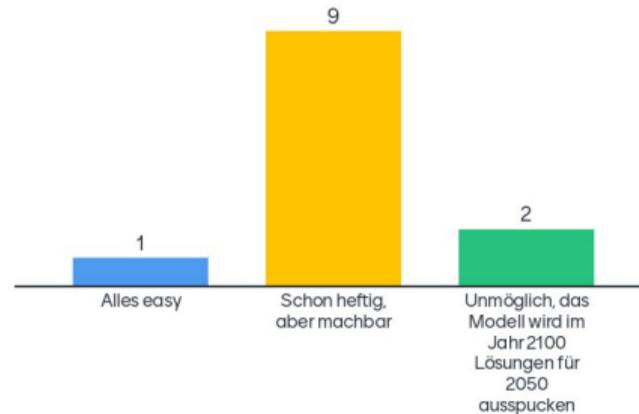
synergie  
kopernikus-projekt ensure  
modezeen  
flexess



# Umfrageergebnisse



Wie schätzen Sie den Zuwachs an Komplexität (Rechenzeit/-kapazität) ein durch die Zunahme der weiteren Sektoren?



# Umfrageergebnisse



Welche Methoden zur Komplexitätsreduktion verwenden Sie in den neuen Sektoren (E-Mobilität, Gas, Wärme)?



k-mean  
heuristiken für exogene



# Umfrageergebnisse



Kennen Sie Methoden zur zeitl. Komplexitätsreduktion, die intertemporale Abhängigkeiten (von Speichern) in hochaufgelösten Systemen gut abbilden?



parallelisierung  
time series reduction  
clustering



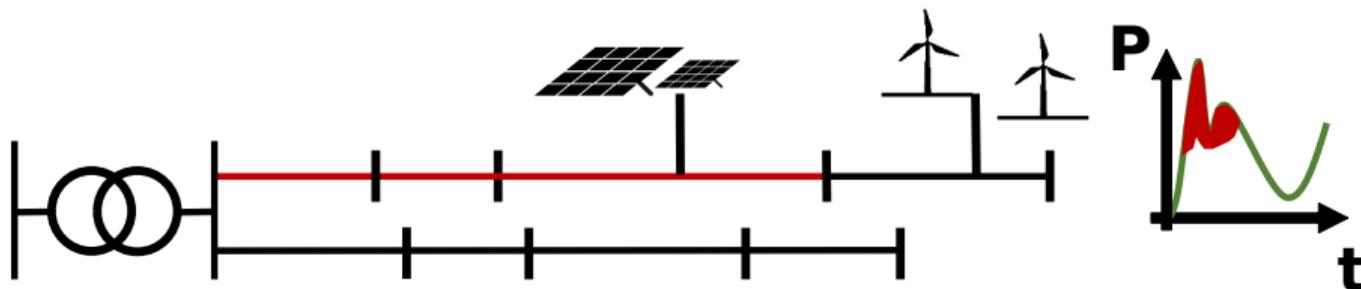
# MS/NS Optimierung

# Abregelung im MS-Netz



Spannungsbasierte Heuristik zur Bestimmung der Anlagenabregelung

- Einspeiser mit hoher Spannungsverletzung werden verstärkt abgeregelt
- Minimierung spannungsabhängigen Leistungsreduktion (Reglerkurve)



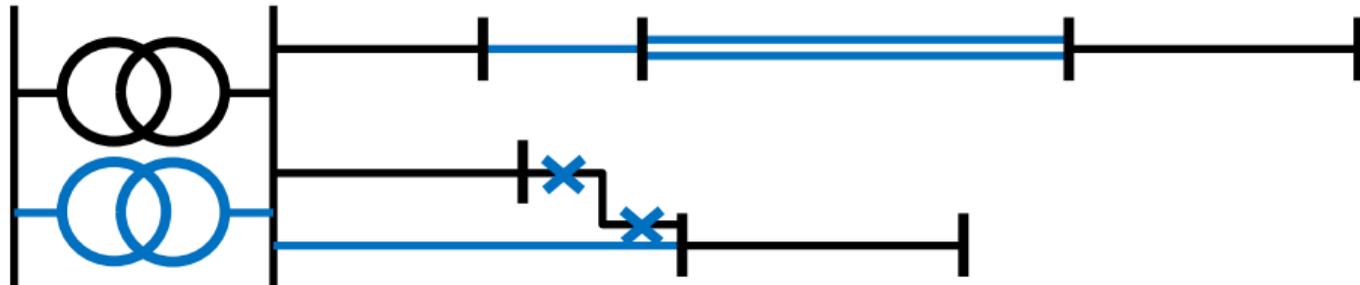
## Standort, Dimensionierung und Betrieb von Speichern

- Heuristik zur netzdienlichen Speicherpositionierung
- Optimierung von Speicherstandort und -kapazität
- Minimierung von Spannungsbandverletzungen und Leitungsbelastungen

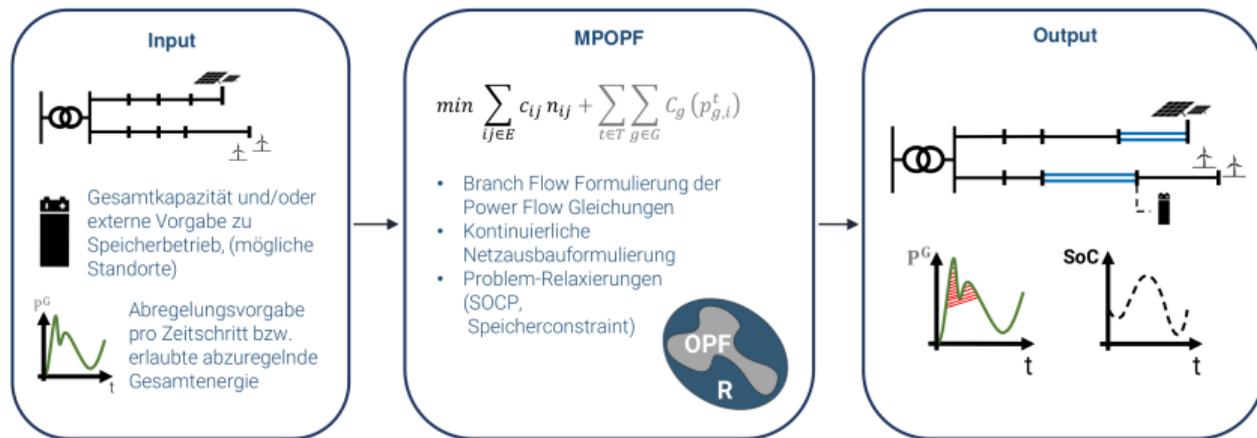


## Konventioneller Netzausbau nach DENA und BW Verteilnetzstudie

- Parallele Leitungen
- Strangauftrennung
- Weitere Transformatoren



# MPOPF als neue integrierte Optimierungsmethode



## Schwierigkeiten des Multi-Period Optimal Power Flow (MPOPF)

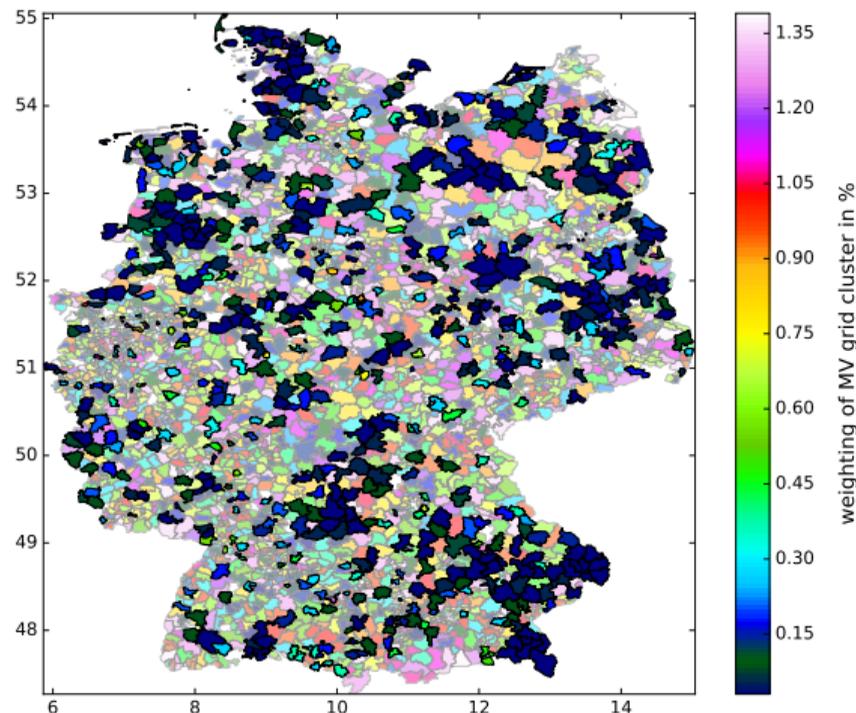
- Hartes Optimierungsproblem: begrenzte Anzahl von Zeitschritten
- Kontinuierlicher Netzausbau

# Räumliche Komplexitätsreduktion MS/NS



k-means clustering unter Berücksichtigung folgender Charakteristika

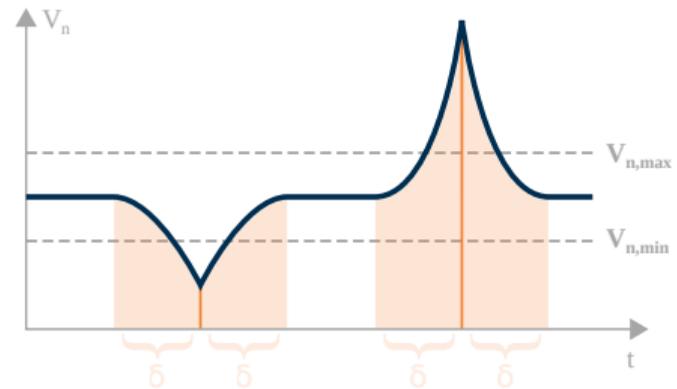
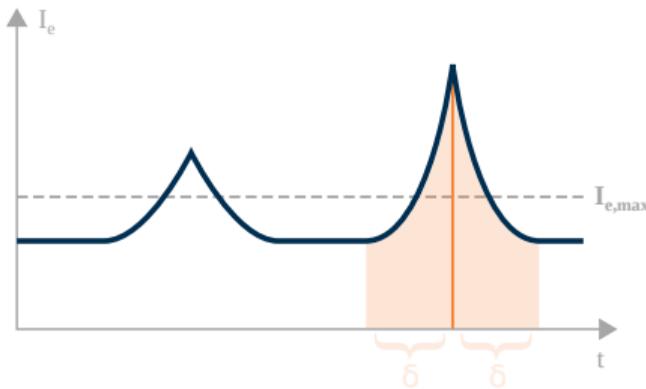
- installierte Windkapazität
- installierte Solarkapazität
- längster Pfad im Netz
- installierte Speicherkapazität (aus *eTraGo*-Optimierung)



# Zeitliche Komplexitätsreduktion MS/NS



Identifikation relevanter Zeiträume in Bereichen von Peaks an denen Spannungsbandverletzung bzw. thermische Überlastung auftreten.



# Diskussion

Fragen? Kommentare?