

Abschlussworkshop eGoⁿ Komplexitätsexplosion und -reduktion

DLR, OvGU, EUF, HSFL, RLI

02.06.2023





Hendrik-Pieter Tetens
DLR - Institut für vernetzte Energiesysteme
Oldenburg



Stephan Günther
Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg



Katharina Esterl
Europa-Universität Flensburg
Flensburg



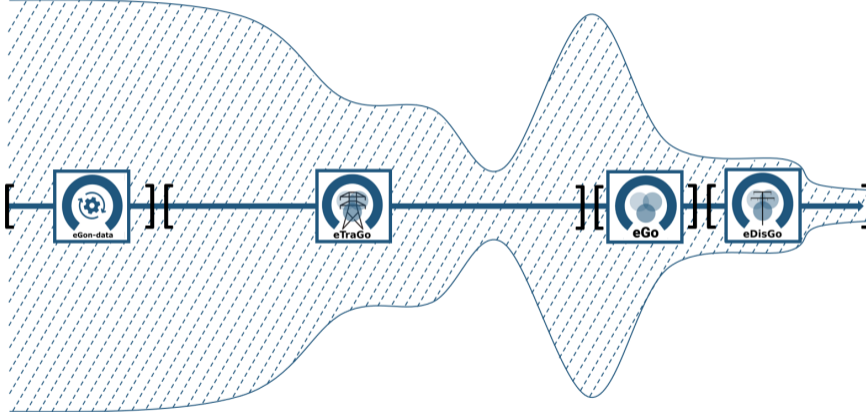
Birgit Schachler
Reiner Lemoine Institut
Berlin

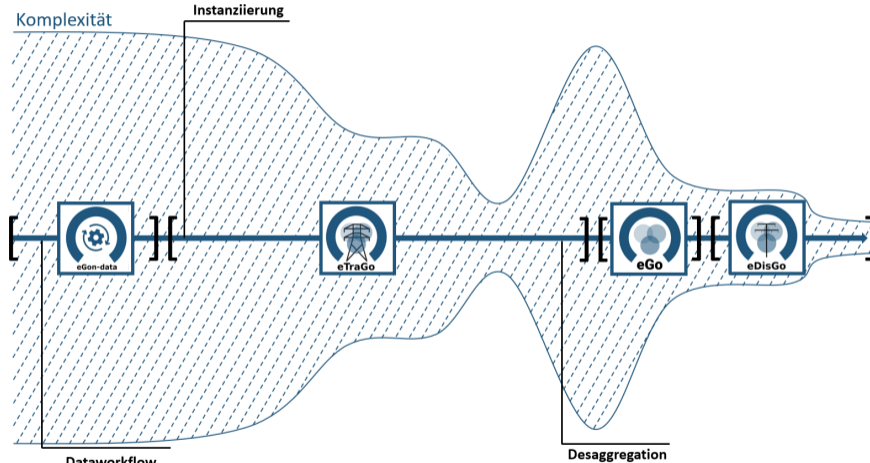


Carlos Epia
Hochschule Flensburg
Flensburg



Komplexität

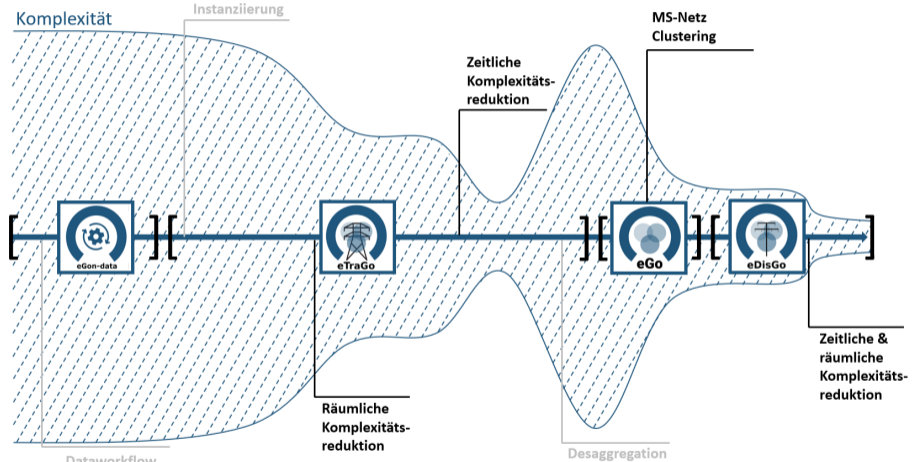




Dataworkflow

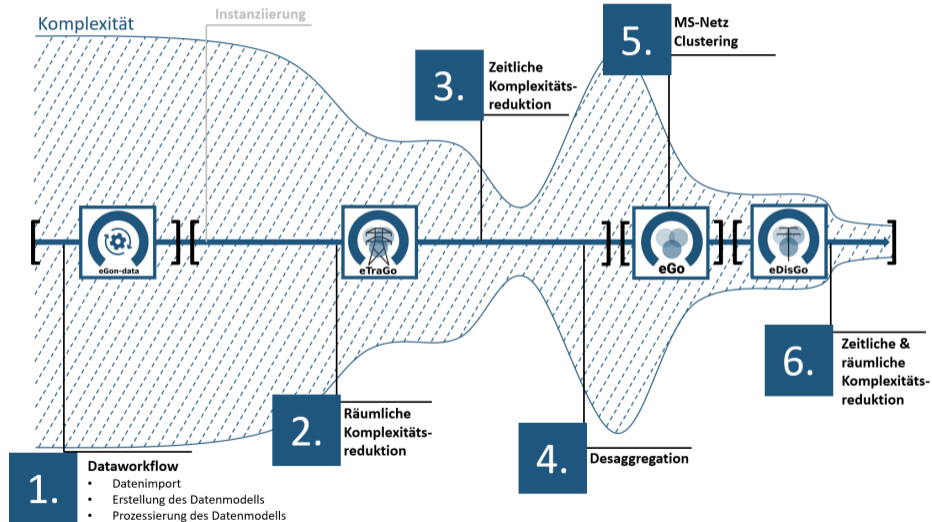
- Datenimport
- Erstellung des Datenmodells
- Prozessierung des Datenmodells

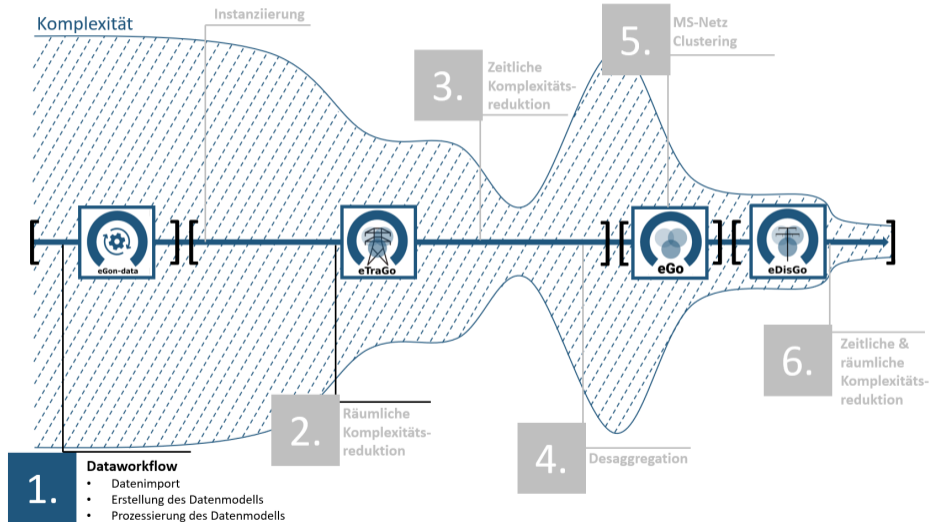
Desaggregation



Dataworkflow

- Datenimport
- Erstellung des Datenmodells
- Prozessierung des Datenmodells







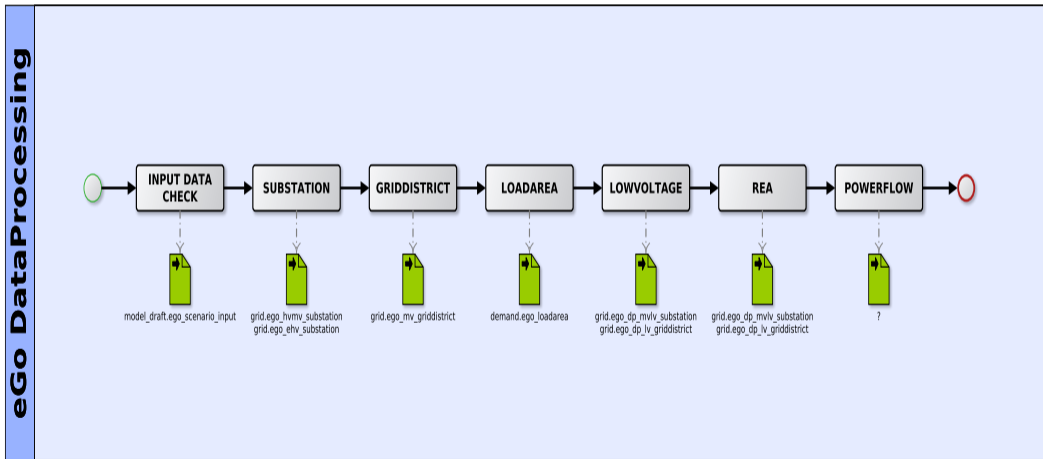
Datenaquise war schon in open_eGo ein kompliziertes Thema

Führte zu Entwicklung des data_processing



Ein Rückblick:

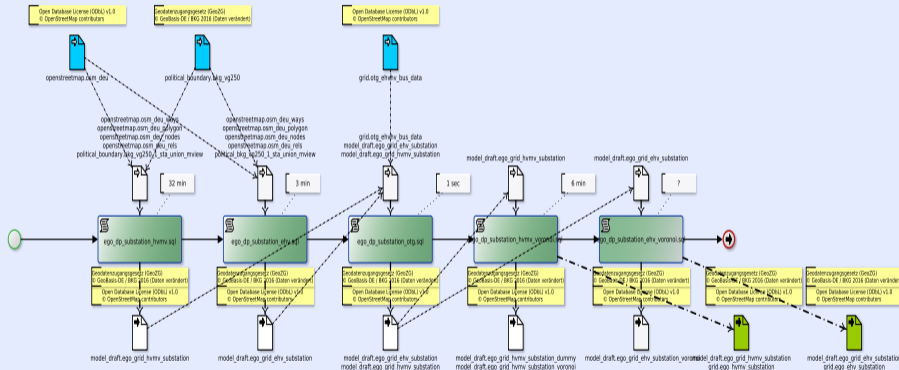
- Sequentielle Abarbeitung einzelner Skripte
- Laufzeit von fünf bis vierzehn Tagen
- Kleine Änderungen machten kompletten Neustart notwendig
- Neustart im Fehlerfall nicht unkompliziert
- Graphische Übersicht wurde getrennt von Implementierung erstellt und gepflegt



Der "Substation" Subgraph



eGo DataProcessing - substation

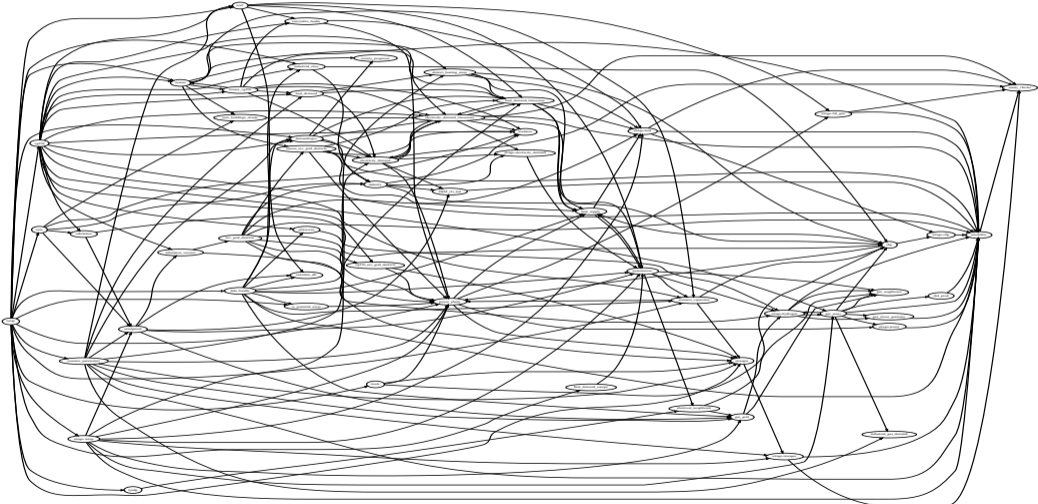


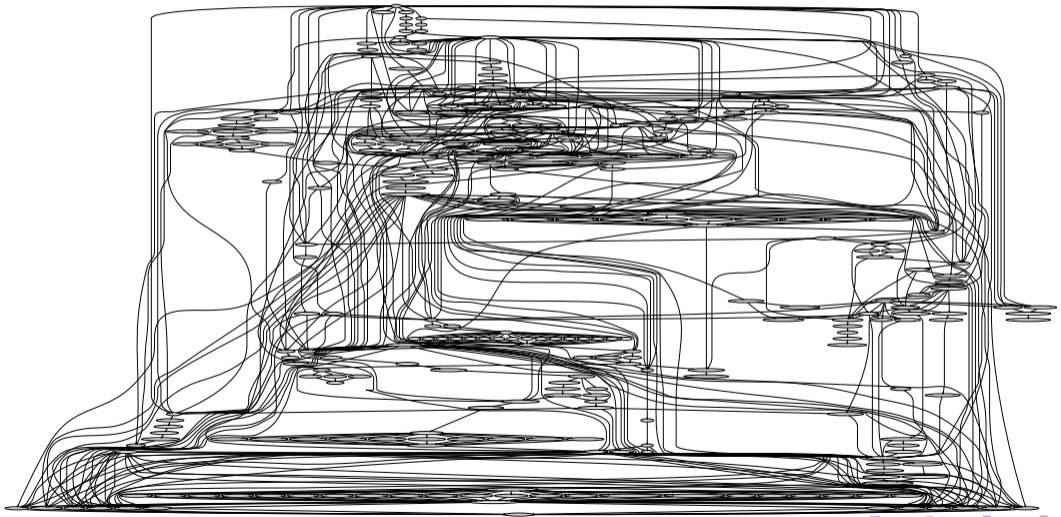


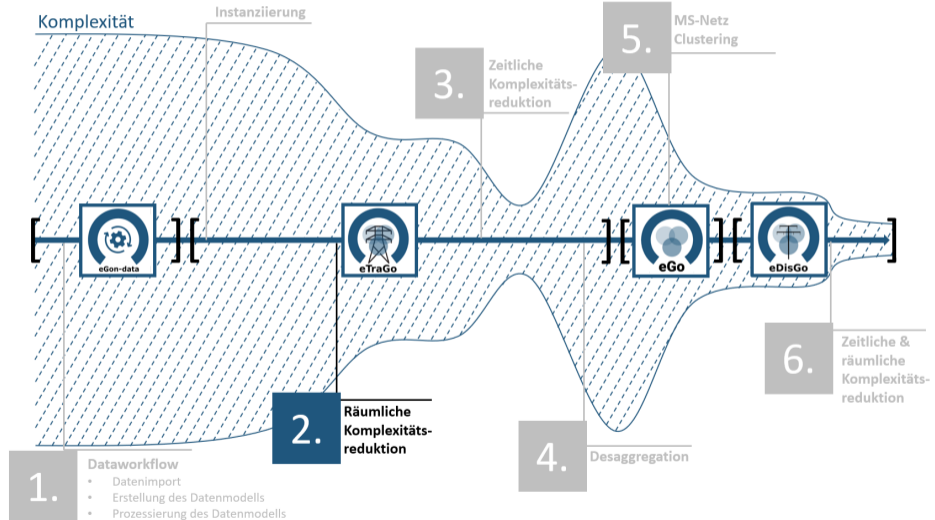
- Ist der Nachfolger des in `open_eGo` entwickelten `data_processing`
- Bei beiden handelt es sich um installierbare Python Pakete, die eine Kommandozeilenapplikation bereitstellen
- `egon-data` verbessert das `open_eGo data_processing` in wesentlichen Punkten:
 - Laufzeit liegt immer noch bei etwa 14 Tagen, trotz wesentlich höherer Komplexität
 - Es gibt ein dokumentiertes Kommandozeileninterface (CLI)
 - Die benötigte Datenbank zur Ablage der Daten kann lokal bereitgestellt oder aus einem vordefinierten Container genutzt werden
 - Mit *Apache Airflow* wird ein dediziertes Workflow Management Tool (WMT) genutzt, um der deutlich höheren Komplexität gerecht zu werden

Die Nutzung eines WMTs hat deutliche Vorteile:

- Unabhängige Prozesse können parallel ausgeführt werden
- Das führt dazu, dass in einem Durchlauf potentiell mehr als ein Fehler erkannt wird
- Im Fehlerfall kann der Workflow direkt am Fehlerort neu gestartet werden
- Durch das Userinterface des WMTs ist die Struktur des Workflows deutlich besser zu überblicken
- Neustarts sind in verschiedenen Varianten möglich und deutlich einfacher durchführbar









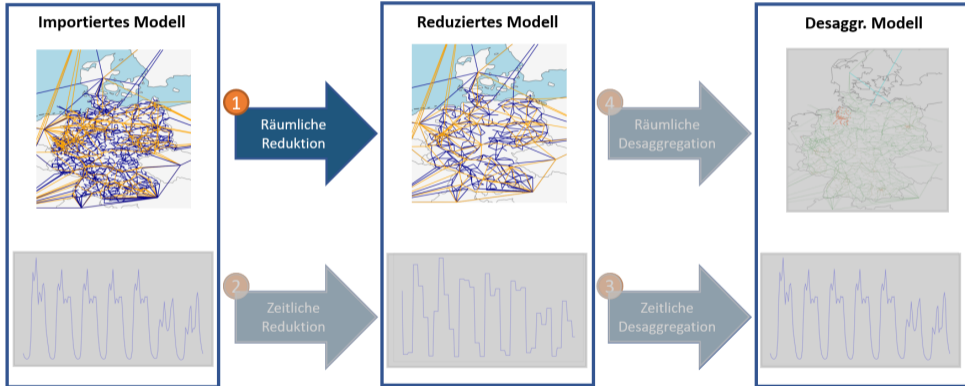
- Python3-Tool
- Initial entwickelt im Projekt *open_eGo*
- Erweiterungen in eGoⁿ: Sektorenkopplung sowie zusätzliche Funktionalitäten
- Veröffentlicht auf GitHub:
<https://github.com/openego/eTraGo>

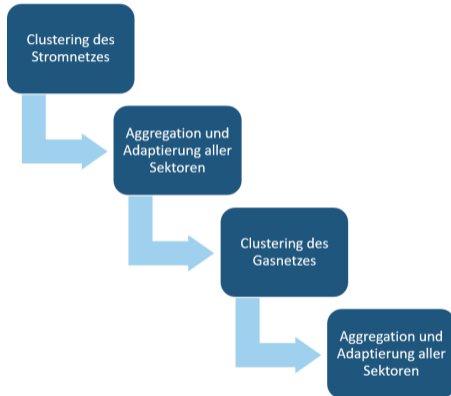


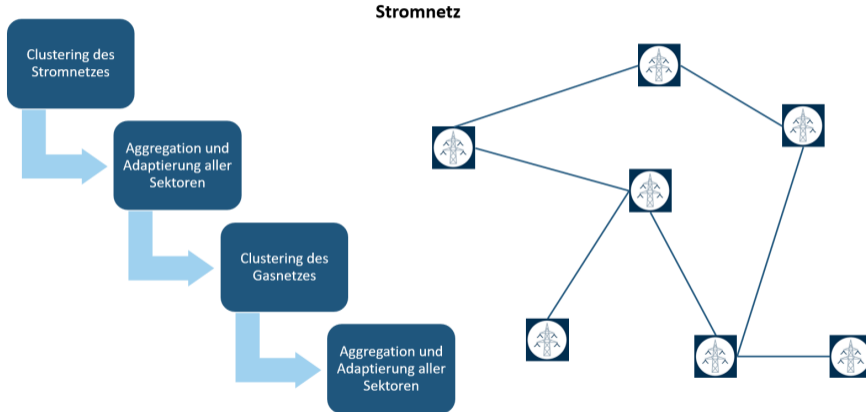
Auflösung des verwendeten Modells der Höchst- und Hochspannungsebene:

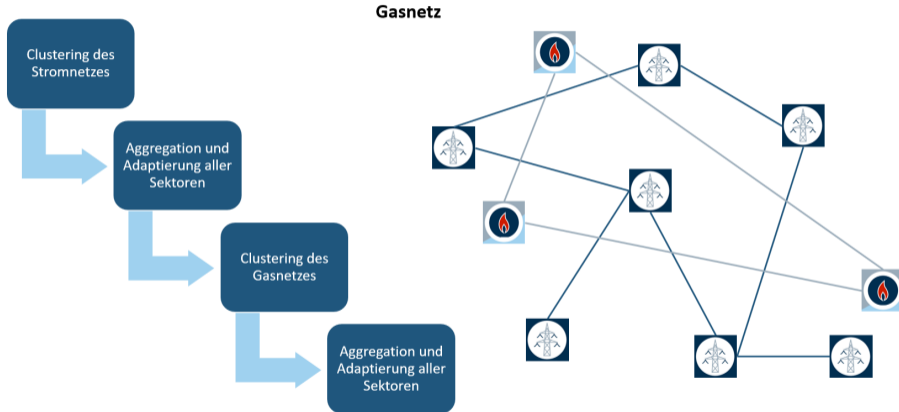
Räumliche Auflösung: elektrisches Netz mit etwa 10.000 Knoten, CH4-Netz mit etwa 632 Knoten, insgesamt etwa 31.000 Knoten

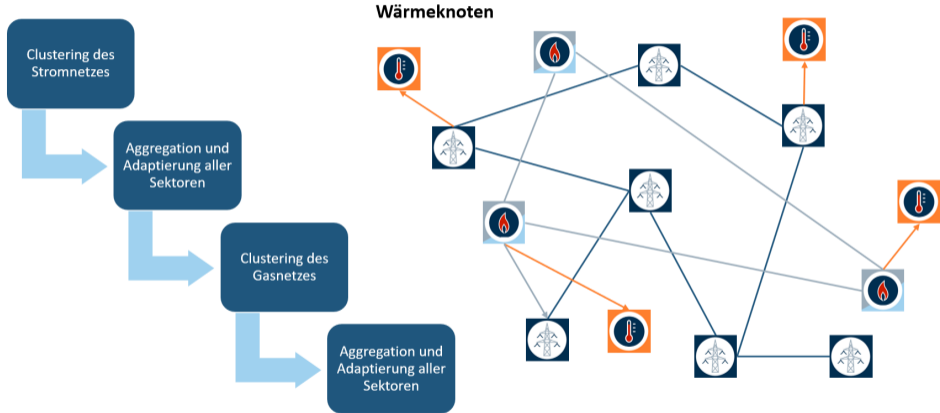
Zeitliche Auflösung: ein Jahr in stündlicher Auflösung (8.760 Zeitschritte)

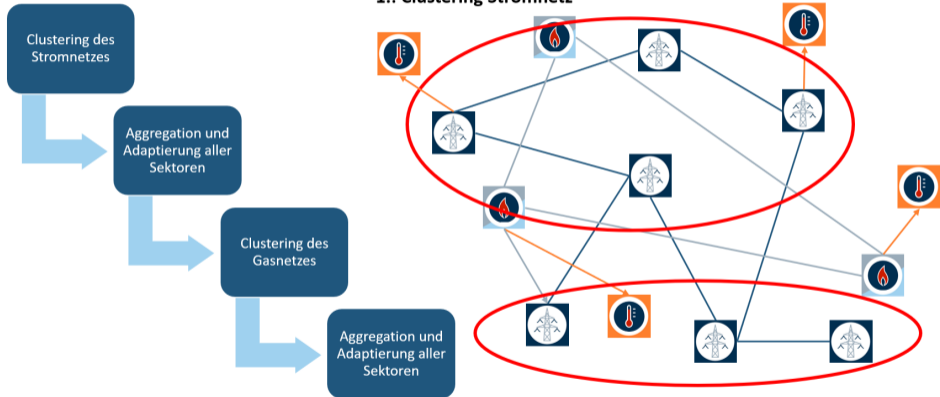






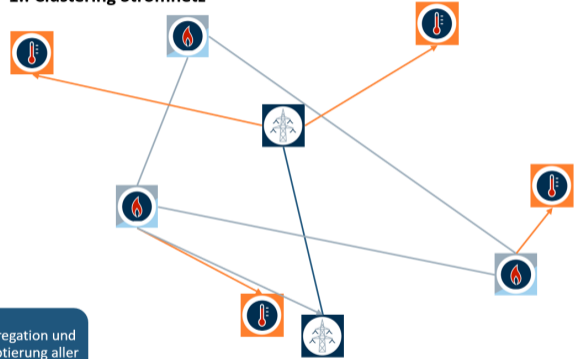


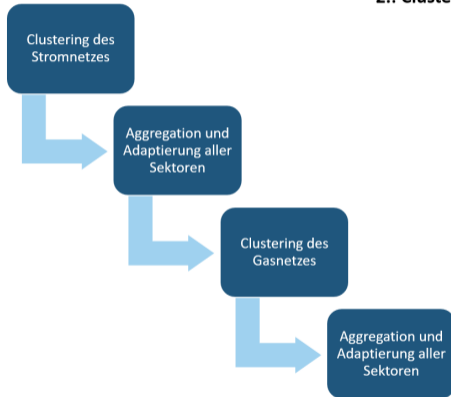




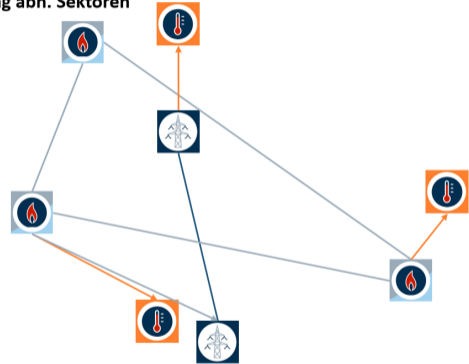


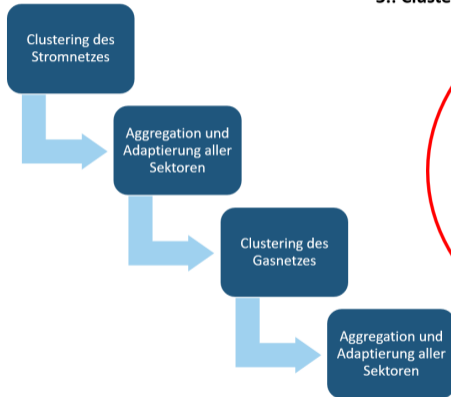
1.: Clustering Stromnetz



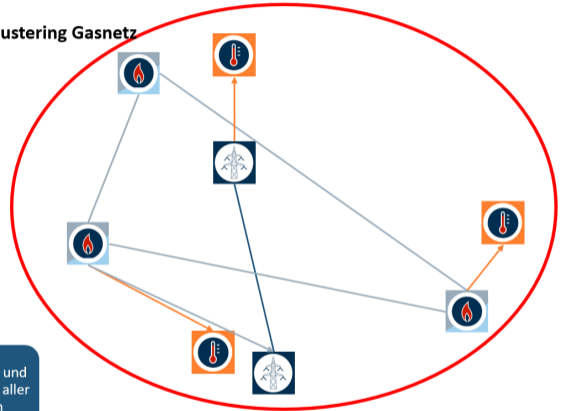


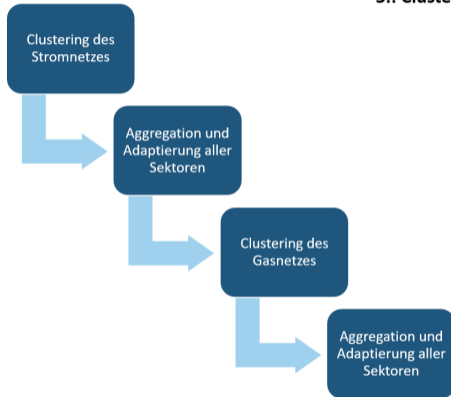
2.: Clustering abh. Sektoren



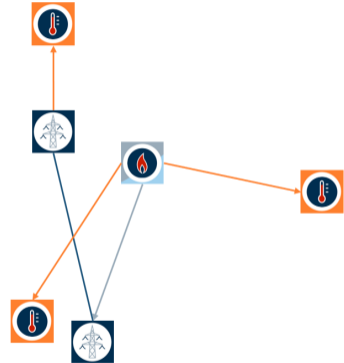


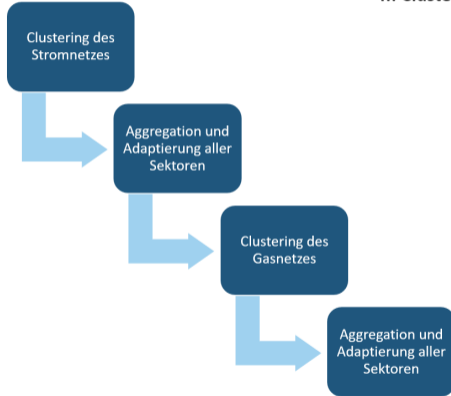
3.: Clustering Gasnetz



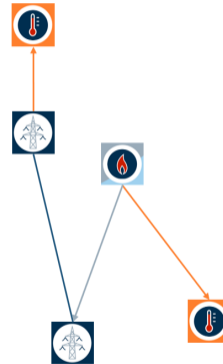


3.: Clustering Gasnetz



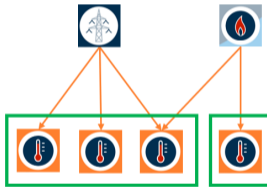


4.: Clustering abh. Sektoren

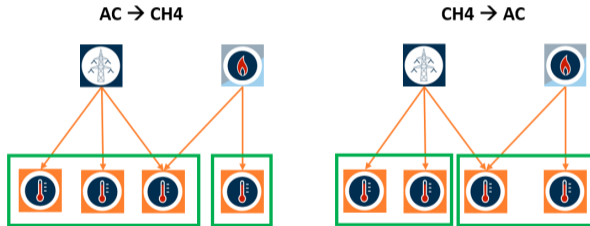


Konsekutives Clustering

AC → CH₄



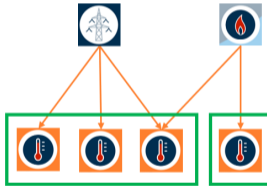
Konsekutives Clustering



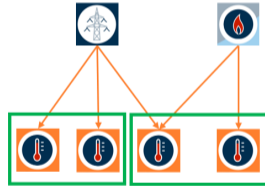
Die Clustering-Reihenfolge ist maßgeblich für das Resultat

Konsekutives Clustering

AC → CH4

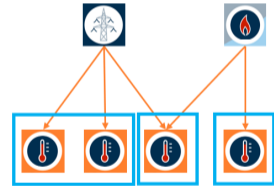


CH4 → AC



Die Clustering-Reihenfolge ist maßgeblich für das Resultat

Gleichzeitiges Clustering



Einzigartige Verbindungen sind maßgeblich für das Resultat

k-Means

- Clustering basierend auf räumlicher Distanz
- Nodegewichtung durch Erzeugungs- und Verbrauchskapazitäten
- Keine Berücksichtigung der Netztopologie
- Implementierung von *PyPSA*

Weitere Informationen in [1] und [2]

k-Means

- Clustering basierend auf räumlicher Distanz
- Nodegewichtung durch Erzeugungs- und Verbrauchskapazitäten
- Keine Berücksichtigung der Netztopologie
- Implementierung von *PyPSA*

k-Medoids Dijkstra

- Clustering basierend auf räumlicher und topologischer Distanz
- Nodegewichtung durch Erzeugungs- und Verbrauchskapazitäten
- Netztopologie wird berücksichtigt
- Topologische Distanz wird mittels Dijkstra Algorithmus auf Grundlage der Leitungs- bzw. Pipelinelängen ermittelt

Weitere Informationen in [1] und [2]

k-Means

- Clustering basierend auf räumlicher Distanz
- Nodegewichtung durch Erzeugungs- und Verbrauchskapazitäten
- Keine Berücksichtigung der Netztopologie
- Implementierung von *PyPSA*

k-Medoids Dijkstra

- Clustering basierend auf räumlicher und topologischer Distanz
- Nodegewichtung durch Erzeugungs- und Verbrauchskapazitäten
- Netztopologie wird berücksichtigt
- Topologische Distanz wird mittels Dijkstra Algorithmus auf Grundlage der Leitungs- bzw. Pipelinelängen ermittelt

HAC

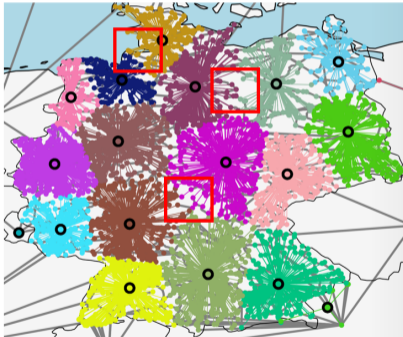
- Clustering basierend auf Erzeuger- und Verbraucherzeitreihen
- Netztopologie wird berücksichtigt
 - Nur benachbarte Nodes/Cluster können aggregiert werden
- Nach Maria, Recht & Brown (2022)
- Implementierung von *PyPSA*

Work in progress

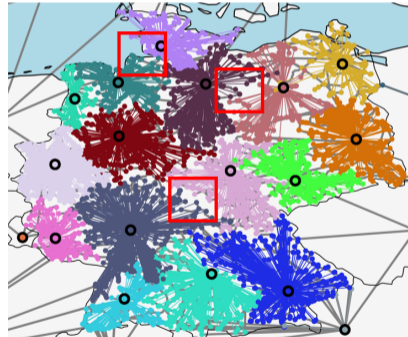


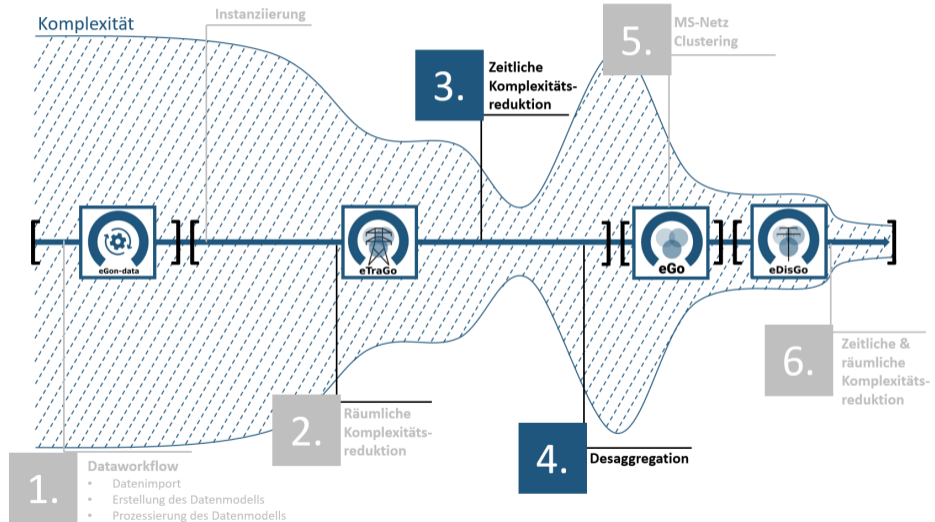
Weitere Informationen in [1] und [2]

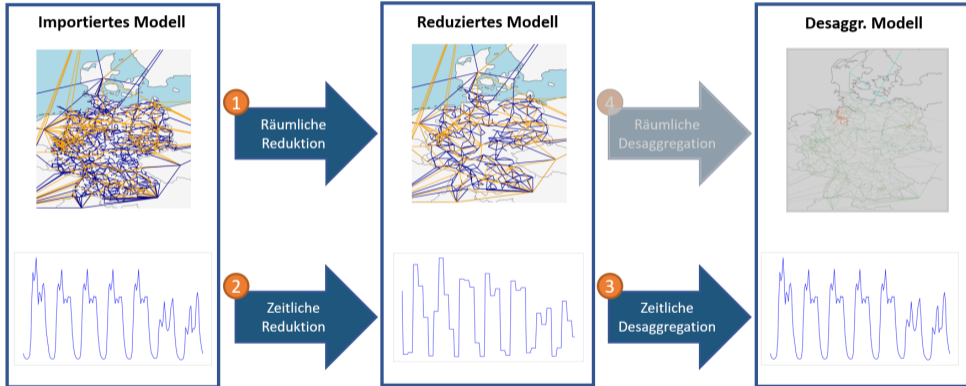
k-Means



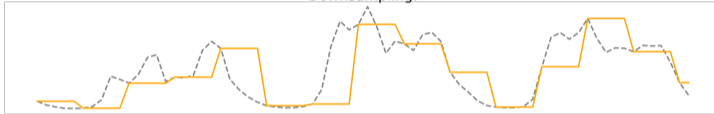
k-Medoids Dijkstra



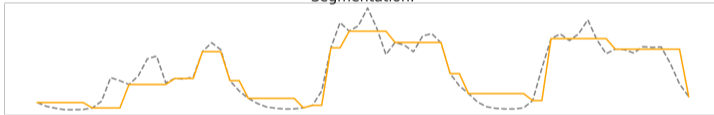




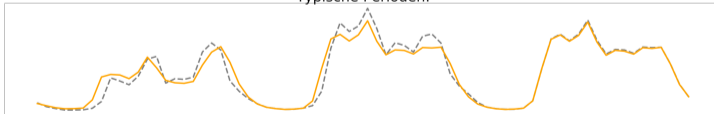
Downsampling:

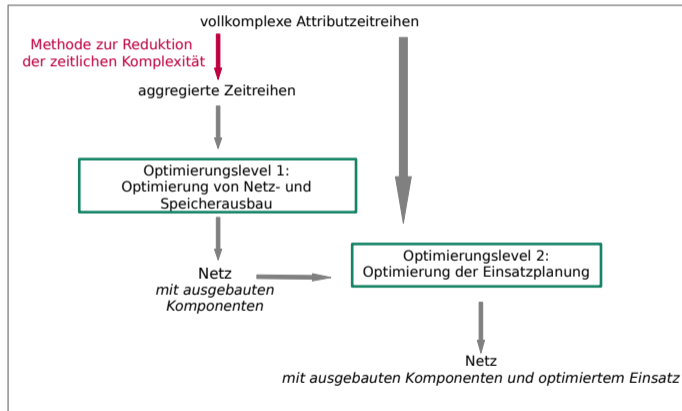


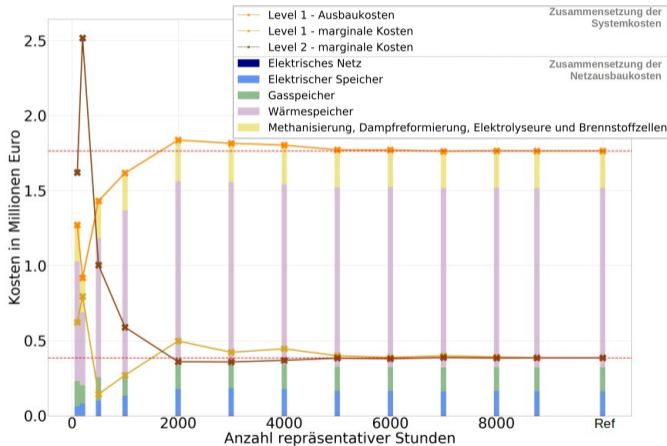
Segmentation:

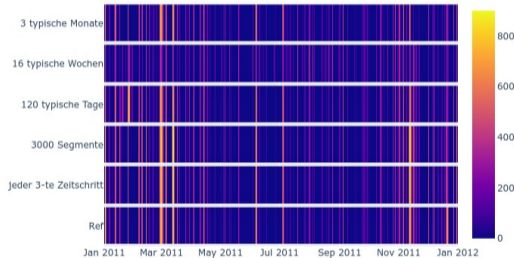


Typische Perioden:

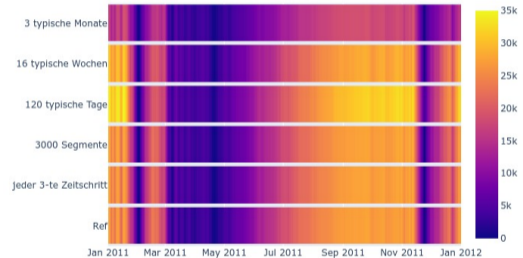






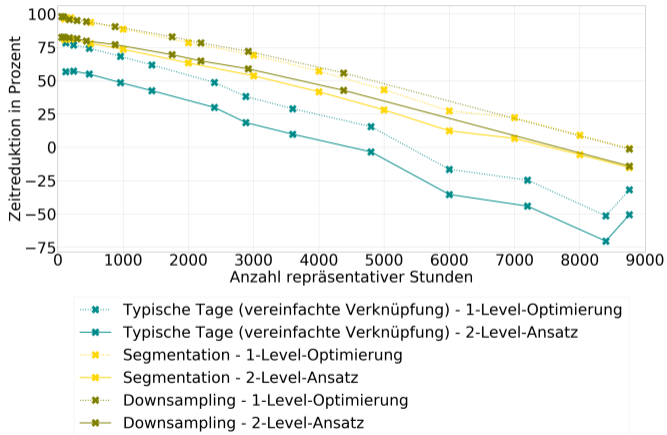


elektrischer Speicher



Wärmespeicher

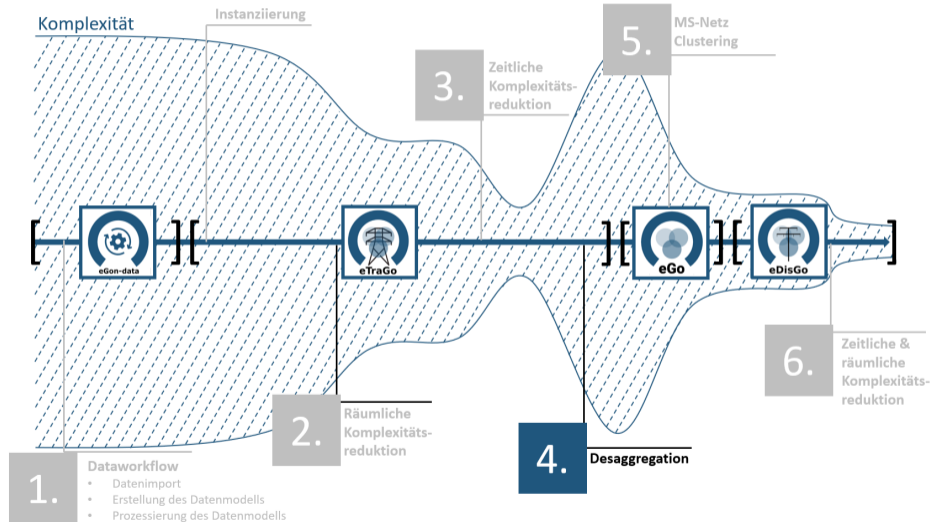
Speicherfüllstand (in MWh)

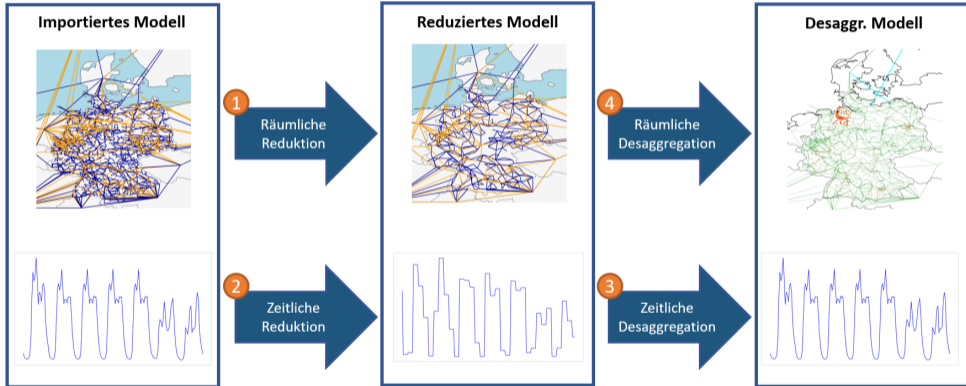


- empfohlen wird die Verwendung von *Segmentation* oder *Downsampling*
- empfohlen wird die Verwendung des *2-Level-Ansatzes*

- grundsätzlich viele Beobachtungen in Übereinstimmung mit anderen Arbeiten
- Wert der Anwendung von *Downsampling* in aktuellen Arbeiten unterschätzt
- insbesondere Sensitivität auf räumliche Komplexität bleibt zu prüfen

dokumentiert in [3]





eDisGo erwartet die Ausbauvorgaben für die jeweiligen Verteilnetze wieder in hoher Auflösung.

Nach der zeitlichen Desaggregation müssen die Ergebnisse also auch räumlich wieder auf höhere Auflösungen verteilt werden.

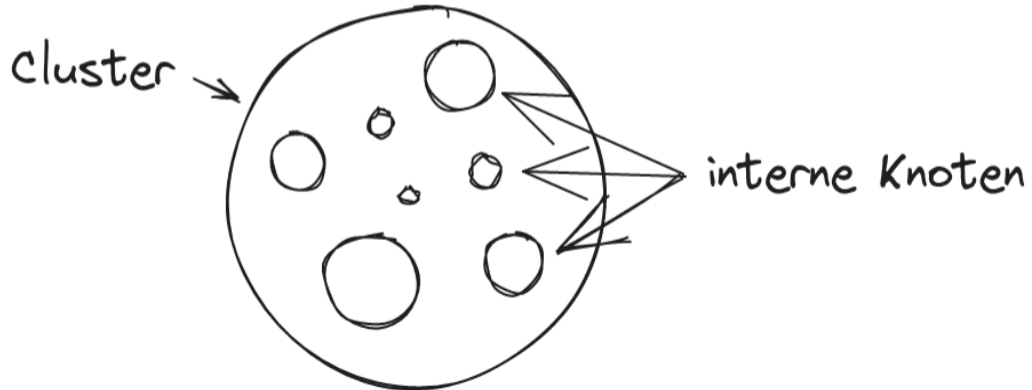
Zu desaggregierender Wert wird als gewichtete Summe betrachtet und entsprechend verteilt:

- wenn $C = w_1 * c_1 + \dots w_n * c_n$
- mit $w_1 + \dots + w_n = 1$
- dann $c_i = w_i * C$

Cluster mit Wert C

Innere Knoten mit Werten d_1 bis d_7

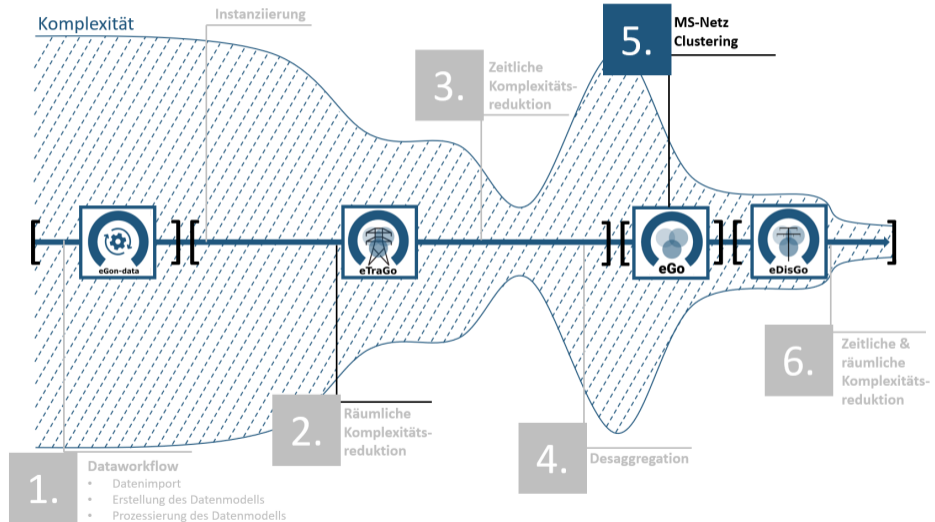
Dann ist $w_i = \frac{d_i}{d_1 + \dots + d_7}$



Idee wurde so schon in open_eGo umgesetzt

Sektorkopplung führt allerdings zu neuen Herausforderungen e.g.:

- Verbindungen zwischen Clustern, sogenannte Links, wie z.B. Wärmepumpen
- Komplexere Berechnungen der Gewichte durch Sektorenunterschiede

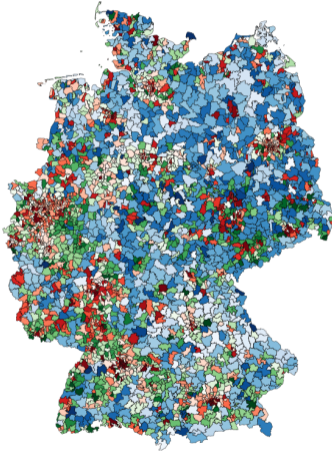




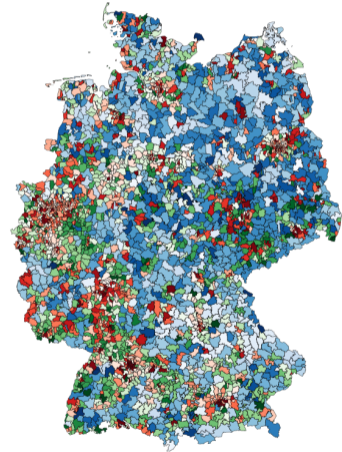
- Python3-Tool
- Fokus: Spannungsebenenübergreifendes Planungstool zur Bestimmung des Netzausbau- und Flexibilitätsbedarfs in Deutschland
- Veröffentlicht auf GitHub: <https://github.com/openego/eGo>

Ziel: Bestimmung der Netzausbaukosten über alle Spannungsebenen

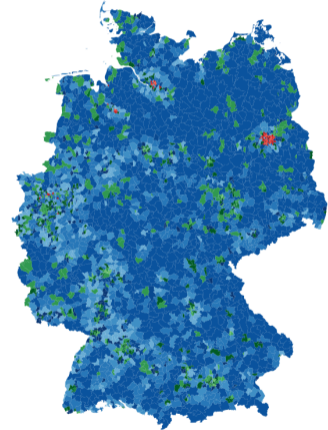
Herausforderung: Deutschlandweit über 3.800 MS-Netze



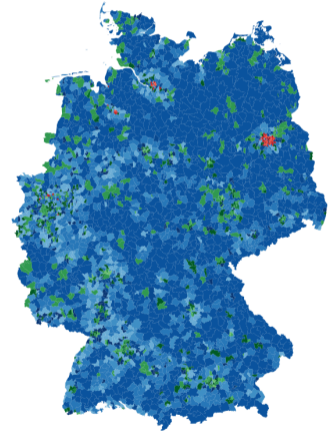
- Bestimmung repräsentativer Netze mittels k-Medoids Clustering
- Clustering anhand der zukünftigen Versorgungsaufgabe basierend auf [4, 5] (Werte jeweils flächenbezogen)
 - Zubau Wind
 - Zubau PV
 - Hochlauf WP
 - Hochlauf Elektromobilität



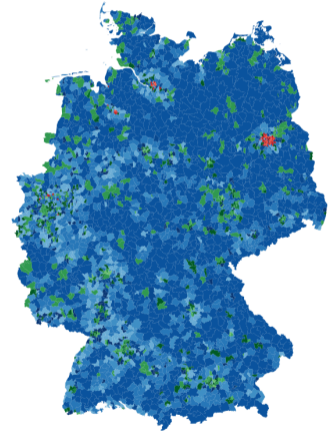
- Im Projekt Verwendung von 50 repräsentativen Netzen



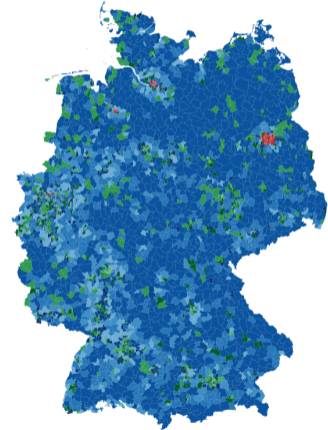
- Im Projekt Verwendung von 50 repräsentativen Netzen
 - In 3% der Netze hauptsächlich Zunahme neuer Lasten (rot)

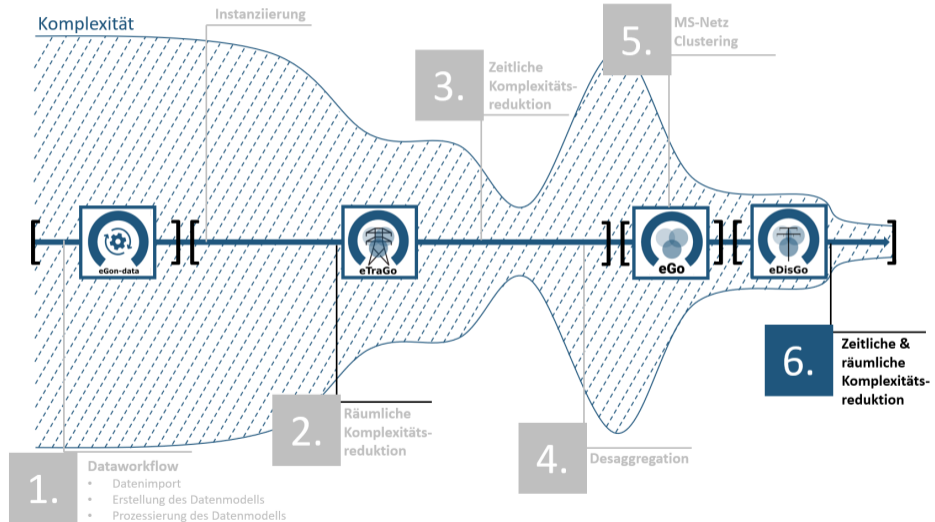


- Im Projekt Verwendung von 50 repräsentativen Netzen
 - In 3% der Netze hauptsächlich Zunahme neuer Lasten (rot)
 - In 21% der Netze hauptsächlich Zubau EE (grün)



- Im Projekt Verwendung von 50 repräsentativen Netzen
 - In 3% der Netze hauptsächlich Zunahme neuer Lasten (rot)
 - In 21% der Netze hauptsächlich Zubau EE (grün)
 - In restlichen 76% der Netze ist veränderte Versorgungsaufgabe sowohl von neuen Lasten als auch dem Zubau EE geprägt (blau)







- Python3-Tool
- Fokus: Bestimmung des Netzausbaubedarfs in der Mittel- und Niederspannung aufgrund sich wandelnder Erzeugungs- und Verbrauchslandschaft
- Erweiterungen in eGoⁿ: Sektorenkopplung, nicht-lineare Optimierung von Flexibilitätseinsatz, Komplexitätsreduktion
- Veröffentlicht auf GitHub:
<https://github.com/openego/eDisGo>



Auflösung des verwendeten Modells der Mittel- und Niederspannungsebene:

Räumliche Auflösung: Knotenzahl aller ausgewählten Clusternetze ca. 335.000

Zeitliche Auflösung: ein Jahr in stündlicher Auflösung (8.760 Zeitschritte)

- Anwendungsfall im Projekt: Einsatz für nicht-lineare Optimierung netzdienlicher Flexibilität
- Bestimmung des Netzausbaubedarfs erfolgt auf unreduzierter Netztopologie



- Anwendungsfall im Projekt: Einsatz für nicht-lineare Optimierung netzdienlicher Flexibilität
- Bestimmung des Netzausbaubedarfs erfolgt auf unreduzierter Netztopologie
- Netztopologien haben im Median ca. 7.400 Knoten, große Netze bis zu 52.000 Knoten



- Anwendungsfall im Projekt: Einsatz für nicht-lineare Optimierung netzdienlicher Flexibilität
- Bestimmung des Netzausbaubedarfs erfolgt auf unreduzierter Netztopologie
- Netztopologien haben im Median ca. 7.400 Knoten, große Netze bis zu 52.000 Knoten
- Untersuchung verschiedener Methoden im Projekt [6]



Reduktionsmethoden:

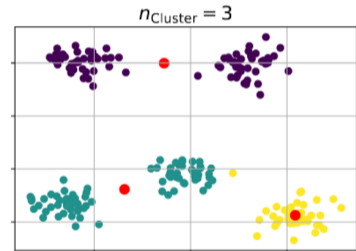
- Aggregation am Hauptstrang

Reduktionsmethoden:

- Aggregation am Hauptstrang
- Äquidistante Verteilung der Knoten

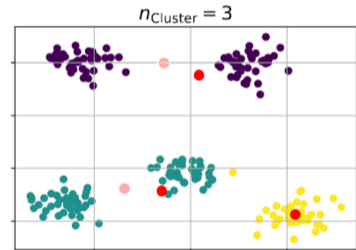
Reduktionsmethoden:

- Aggregation am Hauptstrang
- Äquidistante Verteilung der Knoten
- k-Means Clustering
 - Bestimmung der Clusterzentren mittels k-Means Clustering
 - Zuordnung zu Clusterzentrum über euklidische Distanz



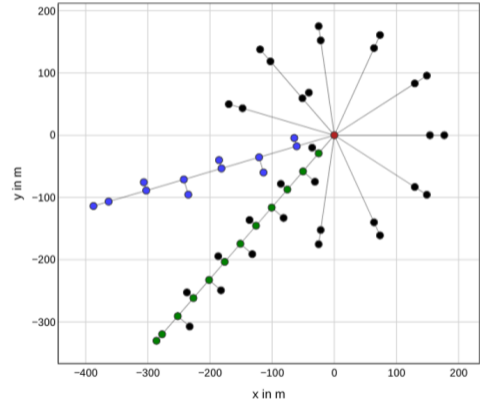
Reduktionsmethoden:

- Aggregation am Hauptstrang
- Äquidistante Verteilung der Knoten
- k-Means Clustering
 - Bestimmung der Clusterzentren mittels k-Means Clustering
 - Zuordnung zu Clusterzentrum über euklidische Distanz
- k-Medoids-Dijkstra Clustering
 - Clusterzentren sind Knoten, die im Graphen existieren
 - Zuordnung zu Clusterzentrum über kürzesten Pfad



Gruppierungsgebiete:

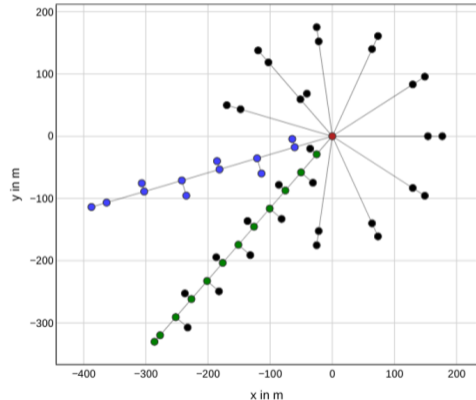
→ Unterschied zur HS und HöS:
Anwendung der Clusteringmethoden je
MS-Netz bzw. NS-Netz, nicht
netzebenenübergreifend



Gruppierungsgebiete:

→ Unterschied zur HS und HöS:
Anwendung der Clusteringmethoden je
MS-Netz bzw. NS-Netz, nicht
netzebenenübergreifend

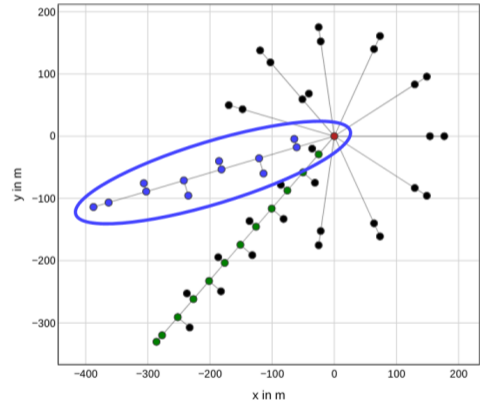
- MS-/NS-Netz



Gruppierungsgebiete:

→ Unterschied zur HS und HöS:
Anwendung der Clusteringmethoden je
MS-Netz bzw. NS-Netz, nicht
netzebenenübergreifend

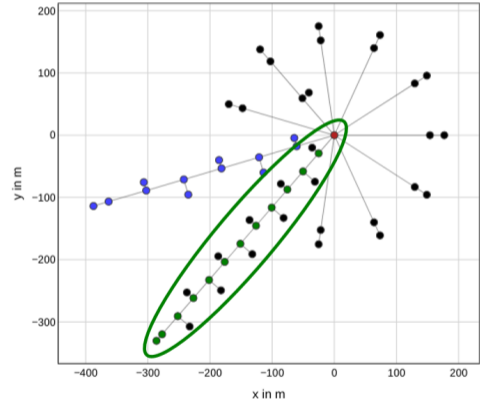
- MS-/NS-Netz
- Strang



Gruppierungsgebiete:

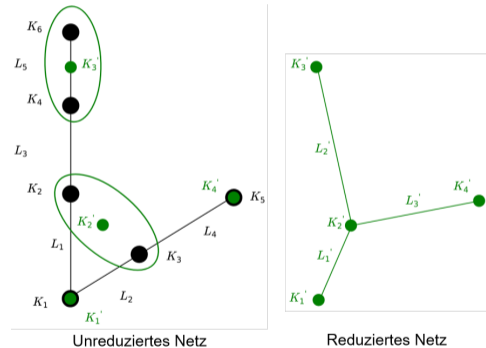
→ Unterschied zur HS und Hös:
Anwendung der Clusteringmethoden je
MS-Netz bzw. NS-Netz, nicht
netzebenenübergreifend

- MS-/NS-Netz
- Strang
- Hauptstrang



Netzreduktion:

- Zuordnung zu neuen Knoten
- Entfernen von Leitungen, die mit sich selbst verbunden sind
- Aggregation von Leitungen zwischen gleichen Knoten
 - Neuberechnung Leitungslänge: Euklidische Distanz x Umweg-Faktor
 - Elektrische Eigenschaften: Parallelschaltung der zusammengefassten Leitungen



Ergebnisse:

- k-Means nicht nutzbar für Optimierung aufgrund von Vermaschung
- Für Bestimmung des optimalen Flexibilitätseinsatzes zeigte k-Medoids-Dijkstra geringsten RMSE über weiten Bereich bei größter Reduktion



Ergebnisse:

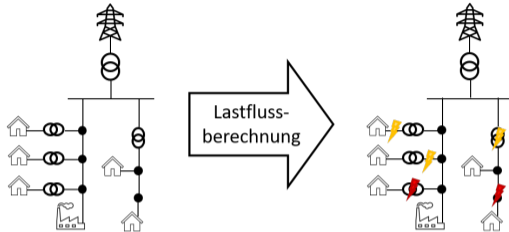
- k-Means nicht nutzbar für Optimierung aufgrund von Vermaschung
- Für Bestimmung des optimalen Flexibilitätseinsatzes zeigte k-Medoids-Dijkstra geringsten RMSE über weiten Bereich bei größter Reduktion



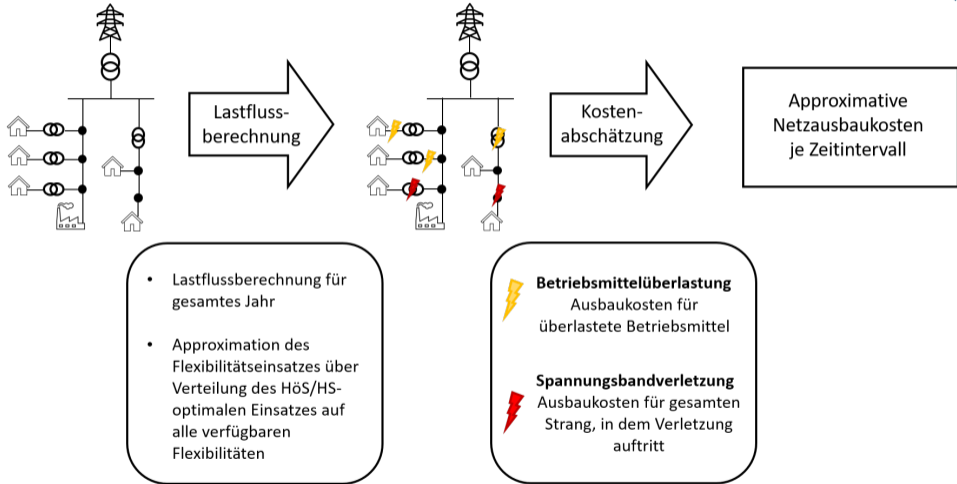
- Im Projekt Verwendung von k-Medoids-Dijkstra auf Strang mit Reduktionsfaktor 0,3
- Reduktion der Knotenzahl auf ca. 151.000 sowie der Rechenzeit um ca. 65%

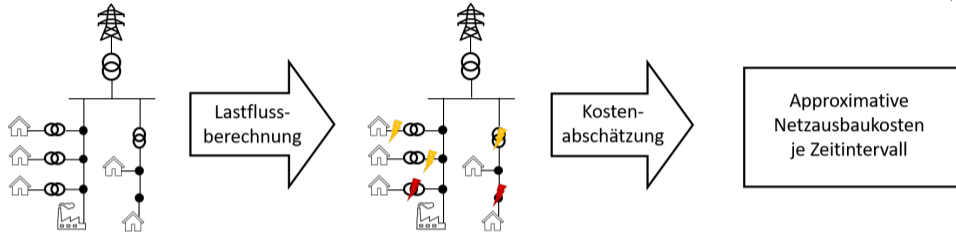
- Anwendungsfall im Projekt: Einsatz für nicht-lineare Optimierung netzdienlicher Flexibilität sowie Bestimmung von Netzausbaukosten
 - Abbildung Flexibilitätseinsatz: Berücksichtigung eines längeren Zeitraums
 - Abbildung Netzausbaubedarf: Berücksichtigung aller kritischen Zeitpunkte

- Anwendungsfall im Projekt: Einsatz für nicht-lineare Optimierung netzdienlicher Flexibilität sowie Bestimmung von Netzausbaukosten
 - Abbildung Flexibilitätseinsatz: Berücksichtigung eines längeren Zeitraums
 - Abbildung Netzausbaubedarf: Berücksichtigung aller kritischen Zeitpunkte
- Vorgehen: Auswahl der kritischsten Zeitintervalle anhand approximativer Netzausbaukosten basierend auf Arbeiten aus vorangegangenem Projekt [7]

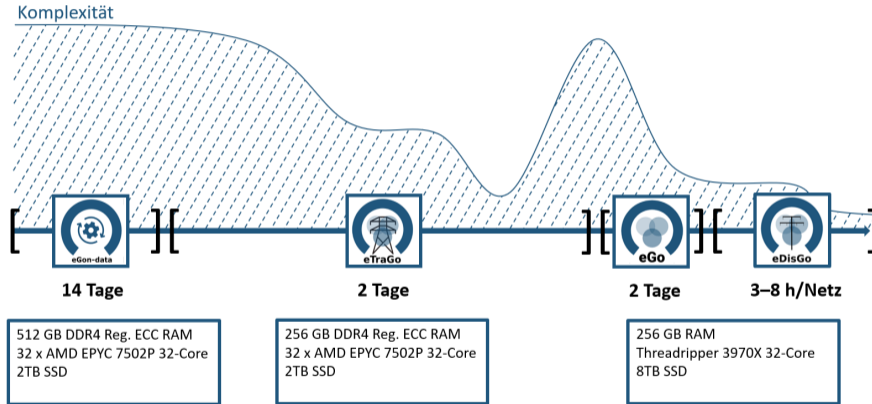


- Lastflussberechnung für gesamtes Jahr
- Approximation des Flexibilitätseinsatzes über Verteilung des Hös/HS-optimalen Einsatzes auf alle verfügbaren Flexibilitäten





- Im Projekt Verwendung der beiden kritischsten Wochen
- Diese enthalten im Mittel über 98% der kritischsten Zeitpunkte ($\geq 0,95 \cdot \max.$ Überlastung/Spannungsbandabweichung) je Betriebsmittel/Knoten



Diskussion und Fragen

- [1] Katharina Esterl. Räumliche Komplexitätsreduktion in eTraGo - Entwicklung eines k-medoids Dijkstra Clusterings, 2021.
- [2] Martha Maria, Gereon Recht, and Tom Brown. A comparison of clustering methods for the spatial reduction of renewable electricity optimisation models of europe. Energy Informatics, 5, 05 2022. doi: 10.1186/s42162-022-00187-7.
- [3] Katharina Esterl. Vergleich von Methoden zur Reduktion der zeitlichen Komplexität für die Optimierung sektorgekoppelter Energiesysteme, 2020. URL https://ego-n.org/theses/2022_MA_Esterl_Zeitliche_Komplexitätsreduktion.pdf.
- [4] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). dena-Leitstudie Integrierte Energiewende: Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. 2018. URL https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf.

- [5] ef.Ruhr, IAEW der RWTH Aachen, Bergische Universität Wuppertal. Gutachten zur Weiterentwicklung der Strom-Verteilnetze in Nordrhein-Westfalen auf Grund einer fortschreitenden Sektorenkopplung und neuer Verbraucher. 2021. URL https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/documents/210609_nrw_verteilnetzstudie_final.pdf.
- [6] Malte Jahn. Analyse der Auswirkungen räumlicher Komplexitätsreduktion auf die Verteilnetzausbauplanung mit Flexibilitäten, 2022. URL <https://reiner-lemoine-institut.de/analyse-der-auswirkungen-raeumlicher-komplexitaetsreduktion-auf-die-ver>
- [7] Elias Trommer. Time Series Reduction for Distribution Grid Expansion Planning with Storage, 2020.