

Workshopreihe Stromnetze – Sommer 2022

- 22.06. WS1 Begriffe und Netztopologie
- 04.07. WS2 Netzanschluss
- 11.07. WS3 Netzplanung
- 12.07. WS4 Netzbetrieb
- 13.07. WS5 Netzentgelte
- 04.08. WS6 eDisGo
- 23.08. WS7 ding0**



Aufbau: 20 min Vorstellung ding0
60-90 min Hands-on

Workshopreihe Stromnetze

WS 7: ding0

Jonathan Amme

Agenda

1

Ziele und Herausforderungen

2

Grundlagen und Datenbasis

3

Synthetische Netze

4

Zusammenfassung und Ausblick

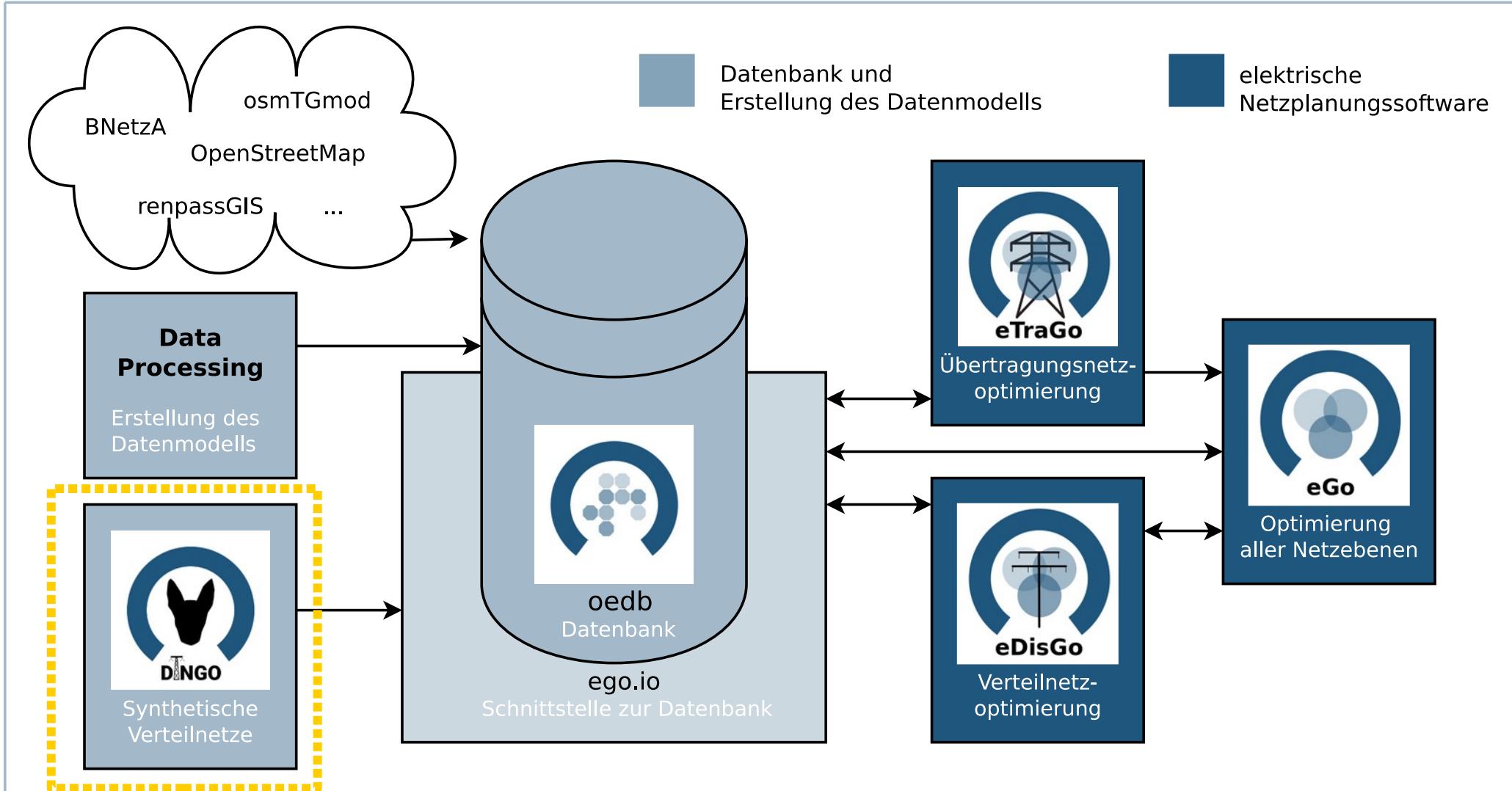
5

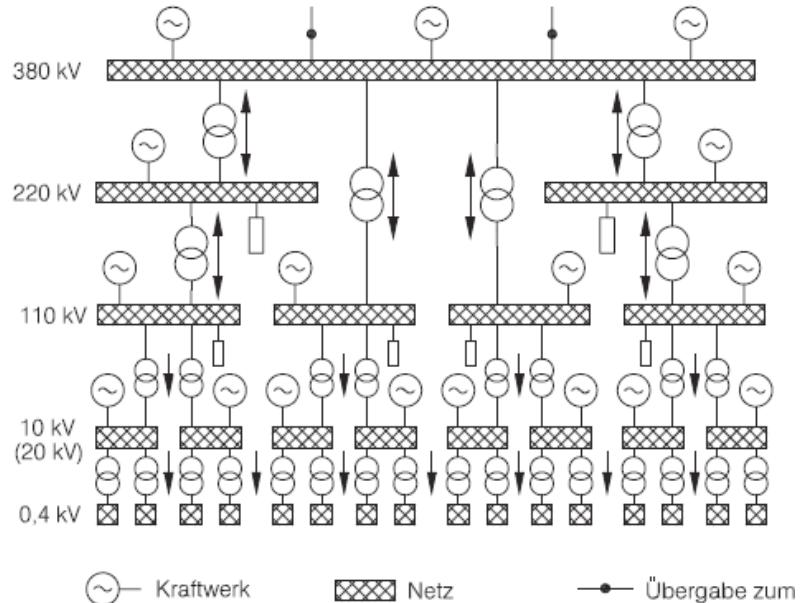
Anwendungsbeispiel

6

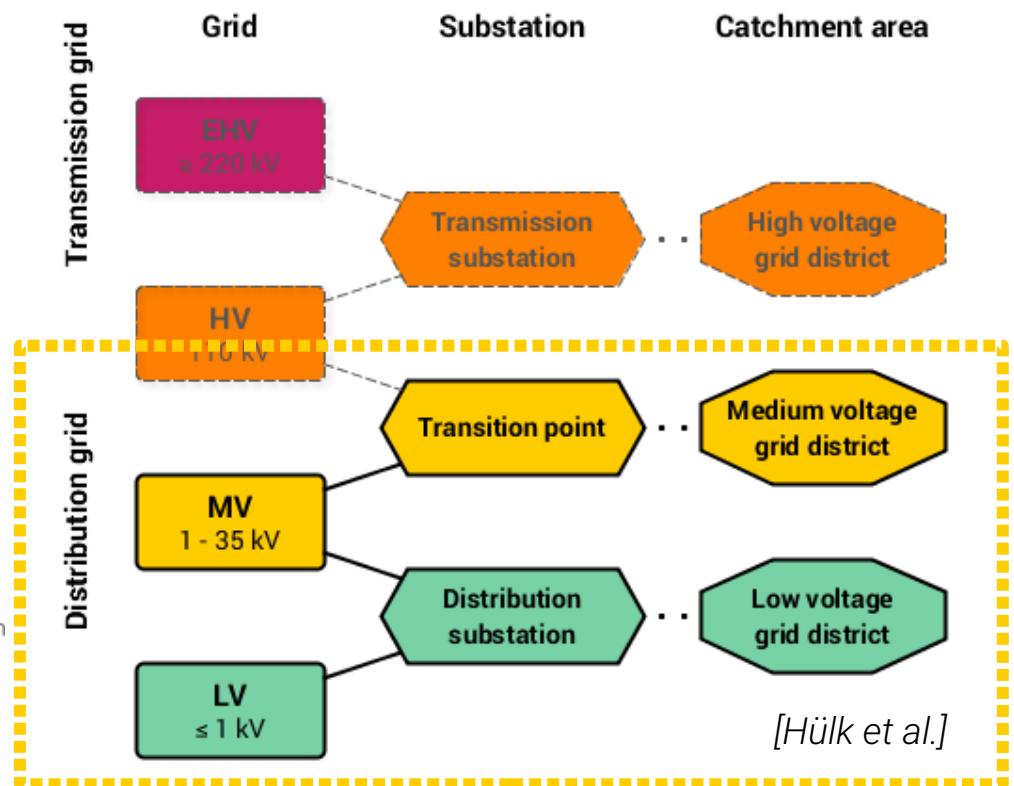
Diskussion

Kontext | Aufbau von eGo





[Heuck, 2007]



Agenda

1

Ziele und Herausforderungen

2

Grundlagen und Datenbasis

3

Synthetische Netze

4

Zusammenfassung und Ausblick

5

Anwendungsbeispiel

6

Diskussion

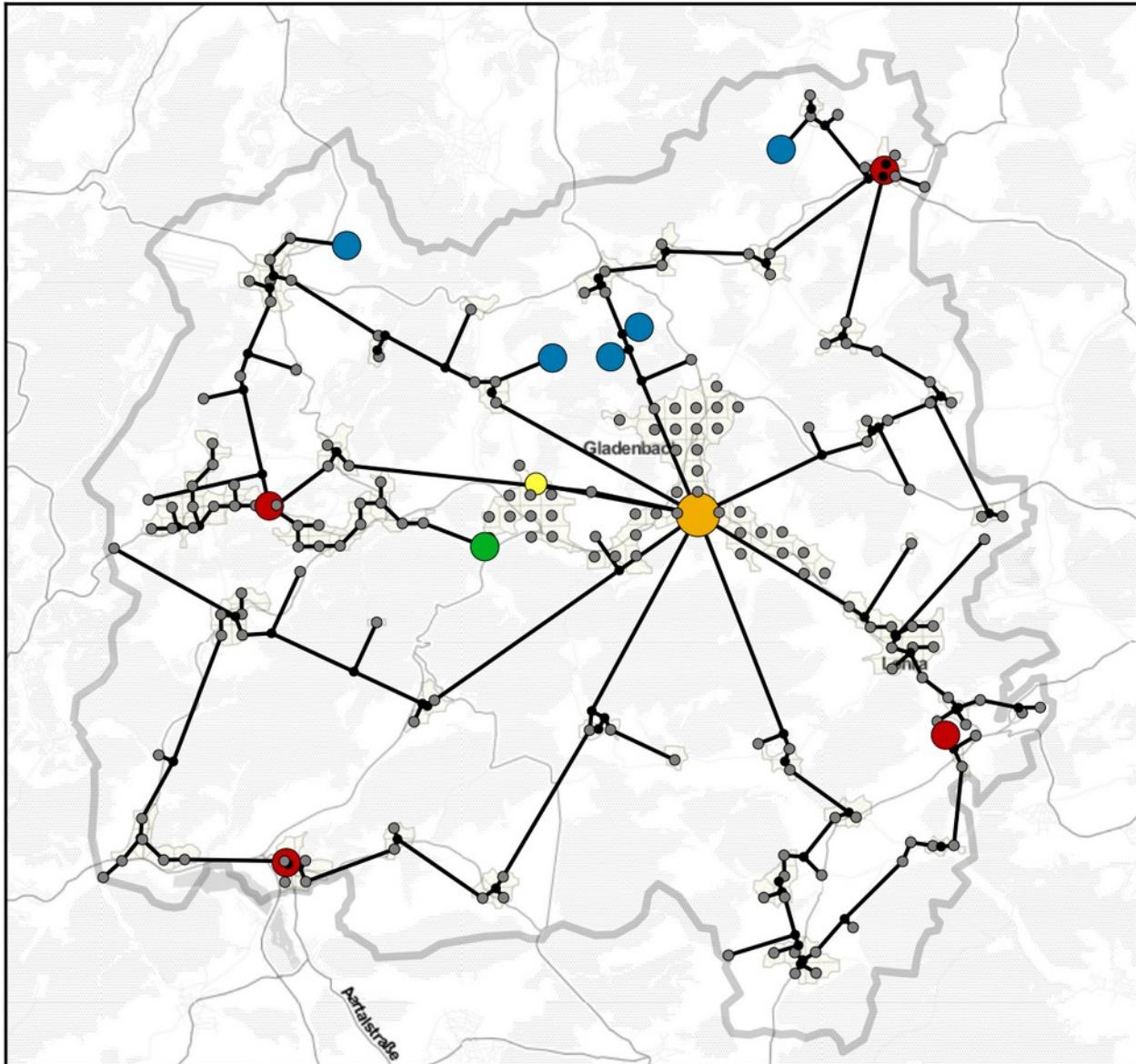
Ziele

- Erzeugung von Mittel- und Niederspannungsnetzmodellen für alle Verteilnetze in Deutschland
- Basierend auf offenen Daten
- Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten

Herausforderungen

- Heterogenität der MS-Netze
 - Topologie (Ringe, Strahlen, Maschen)
 - Planungsgrundsätze
 - Betriebsmittel (→ Historie)
- Mangel an (öffentlich) verfügbaren Daten
- Netzplanung häufig Einzelfallentscheidung

1 Ziele und Herausforderungen | Teaser



Agenda

1

Ziele und Herausforderungen

2

Grundlagen und Datenbasis

3

Synthetische Netze

4

Zusammenfassung und Ausblick

5

Anwendungsbeispiel

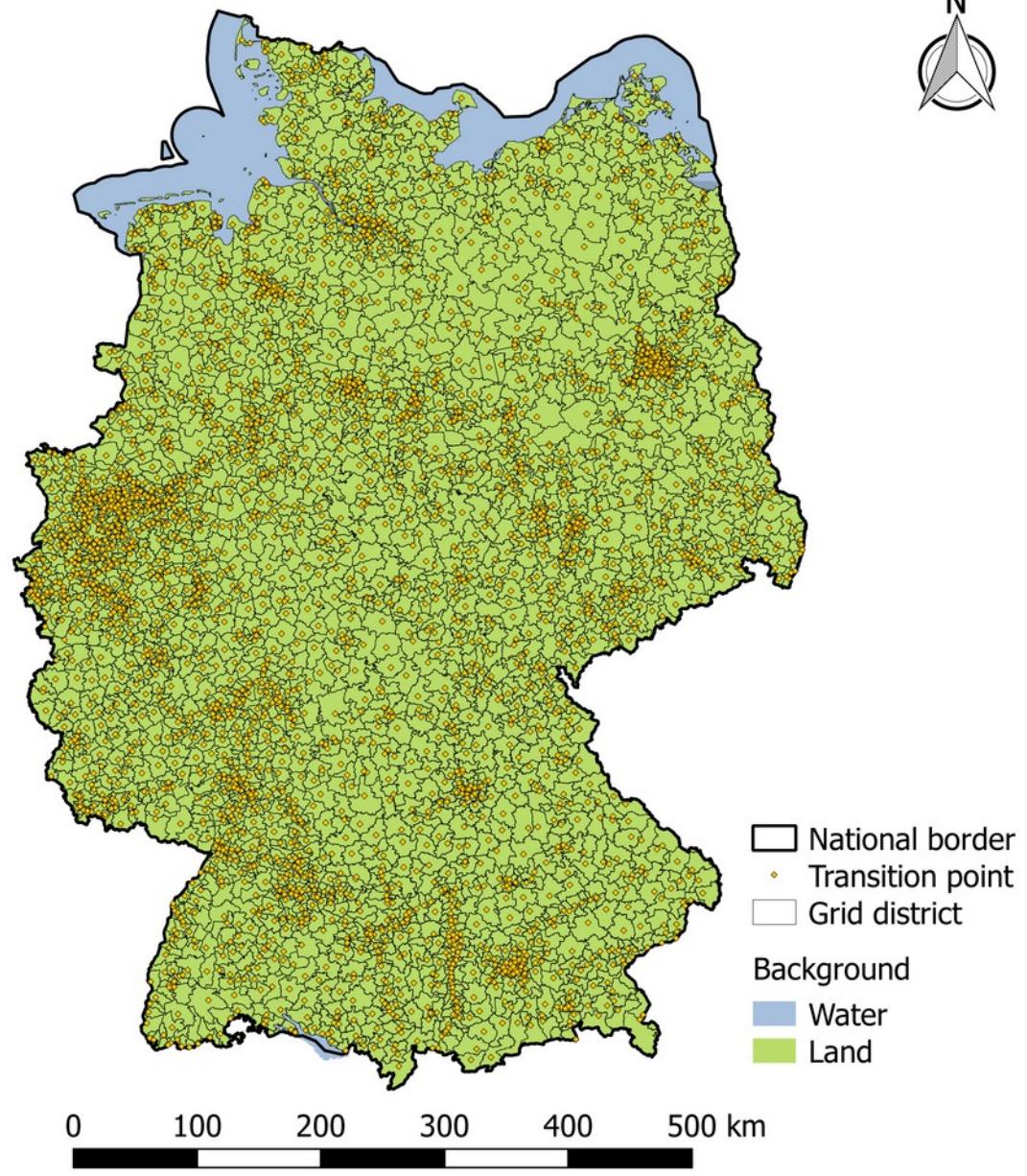
6

Diskussion

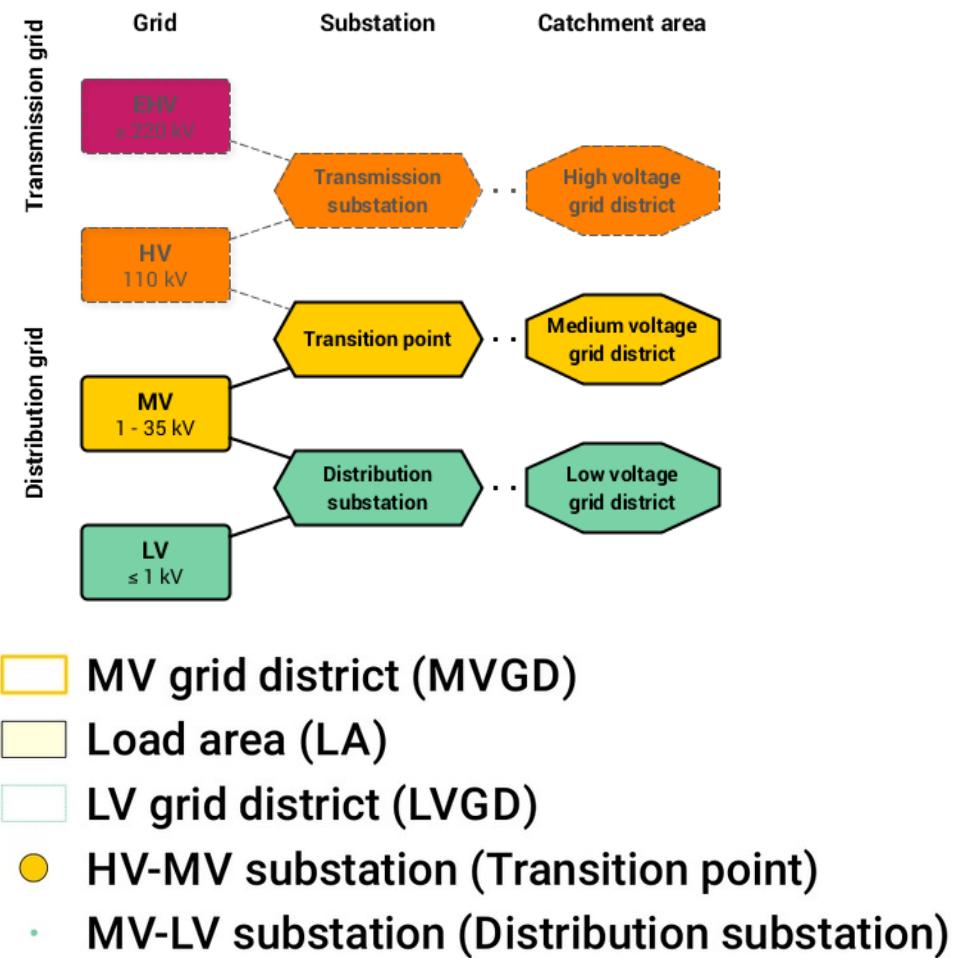
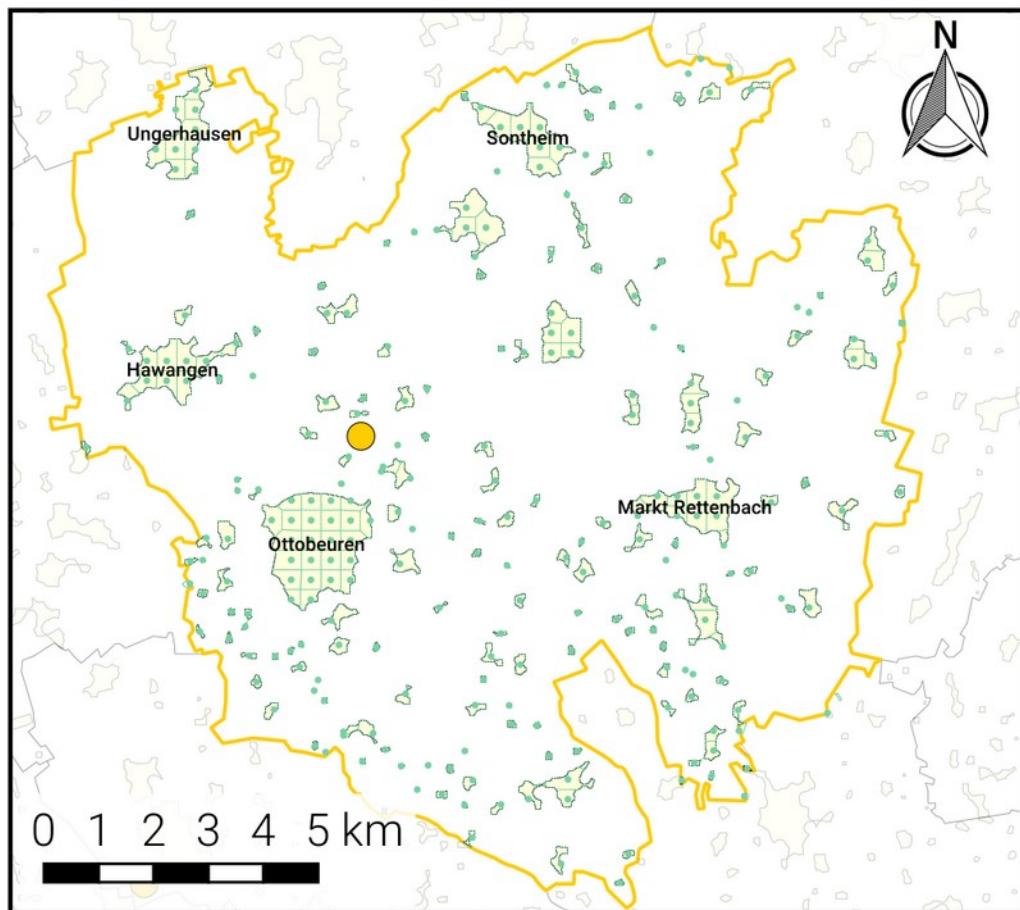
2 Grundlagen und Datenbasis



3608 (Mittelspannungs-)Netzgebiete
mit Lasten und Erzeugern



Datenbasis: Räumlich hochauflöste Lasten [Hülk et al.] → **Session Daten**
Sektorscharfer Verbrauch & Spitzenlast pro Lastgebiet (Load area)



Agenda

1

Ziele und Herausforderungen

2

Grundlagen und Datenbasis

3

Synthetische Netze

4

Zusammenfassung und Ausblick

5

Anwendungsbeispiel

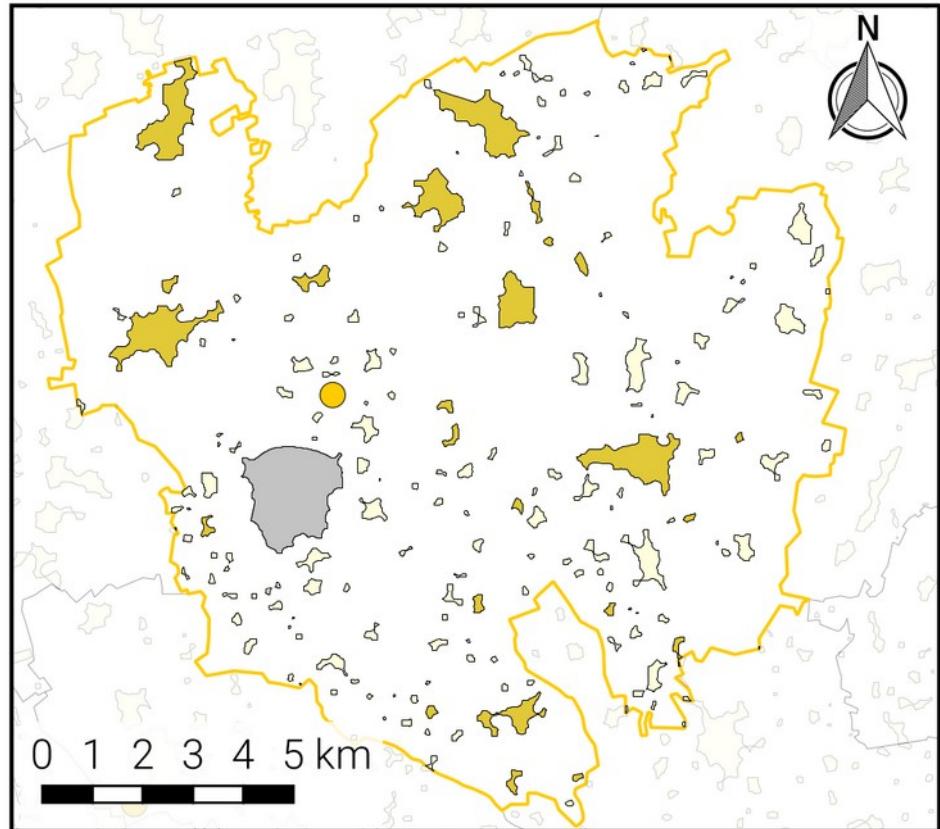
6

Diskussion

Verschiedene Netztopologien
in realen Netzen:

- Strahlennetze
(geringe Lastdichte)
- Vermischte Netze
(hohe Lastdichte)
- Ringnetze
(geringe Lastdichte)

84,3% aller MS-Netze in DE
sind offene Ringnetze [BMWi]



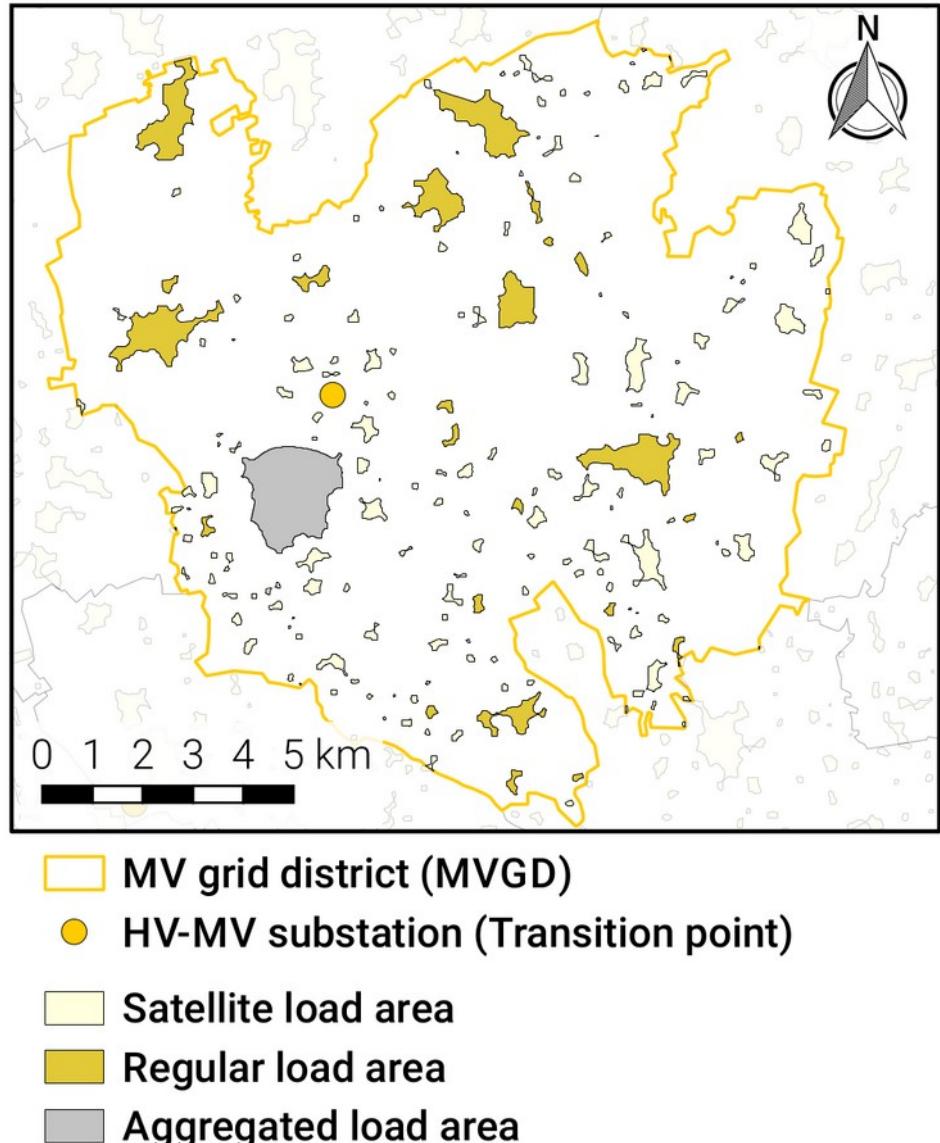
- MV grid district (MVGD)
- HV-MV substation (Transition point)
- Satellite load area
- Regular load area
- Aggregated load area

MS-Netzgebiets-Typen (MVGD):

- Hohe Lastdichte ($\geq 1 \text{ MVA/km}^2$)
→ 10 kV, Erdkabel
- Niedrige Lastdichte ($< 1 \text{ MVA/km}^2$)
→ 20 kV, Freileitungen

Lastgebiete-Typen:

- Aggregiert
 - starke Netze
 - an HS/MS-Sammelschiene angeschlossen
 - von Netzverstärkung ausgenommen
- Regulär
 - bestimmten Verlauf der MS-Ringe
- Satelliten
 - geringere Anforderungen bzgl. Versorgungssicherheit



(n-1)-Kriterium muss für Lasten erfüllt sein → Maßnahmen:

- HS/MS-Umspannwerke: Redundanter Trafo
- MS-Leitungen (Ring): Isolation von Fehlerstellen mit Trennschaltern
- MS-Leitungen (Stiche): Notstromaggregate (≤ 1 MVA)

Übliche Praxis bei VNB: 2 Worst-Case-Testfälle:

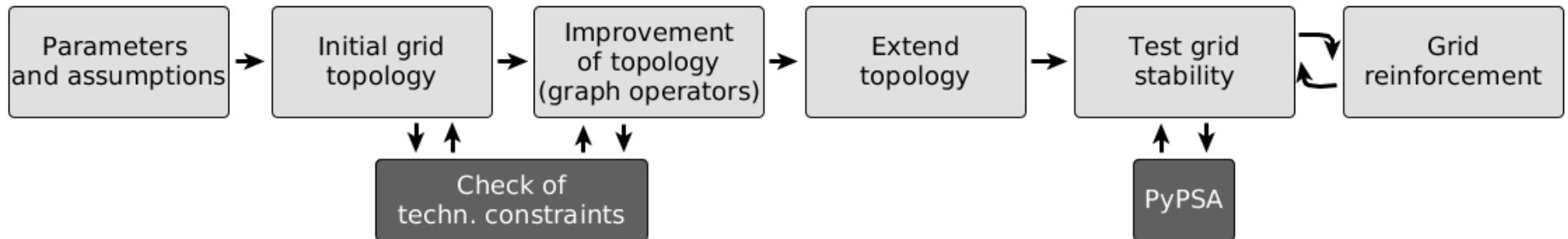
- Starklastfall (max. Last, keine Rückspeisung)
- Einspeisefall (min. Last, max. Rückspeisung)

Zulässigkeit testen:

- Auslastung von Betriebsmitteln
- Spannungsbereich (EN 50160, BDEW TR Mittelspannung, VDE AR-4105)

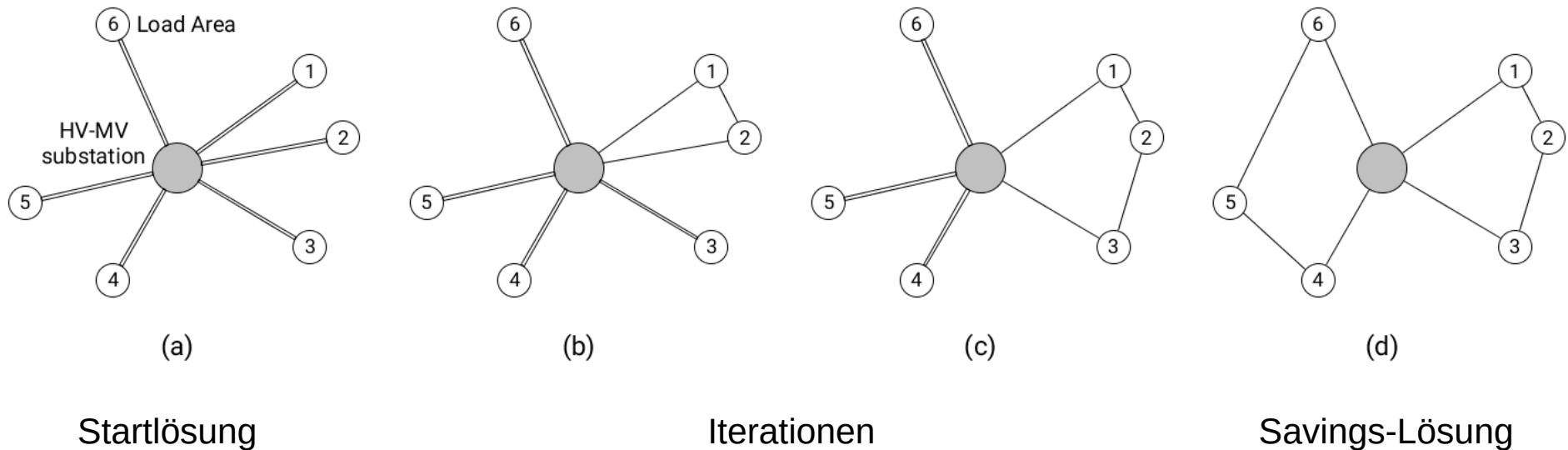
Equipment	Load factor (LF) heavy load flow	Load factor reverse power flow
HV-MV transformer	max. 60 %	max. 100 %
MV-cable	max. 60 %	max. 100 %
MV-LV transformer	max. 100 %	max. 100 %
LV-cable	max. 100 %	max. 100 %

- Grundannahme: Offene Ringnetze
- Analogie aus Operations Research:
Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)
- Ziel: Minimierung der Gesamtroutenlänge (Kostentreiber)



- Savings-Heuristik von Clarke & Wright
- Kunden = Zentroide der (regulären) Lastgebiete (Spitzenlast)
- Depot = HS/MS-Umspannwerk
- Ermittlung Leitungstyp über Spitzenlast und typ. Anzahl Halbringe

$$S_{line,max,th} \geq \frac{S_{MVGD,max} \cdot LF}{n_{lines}}$$



Gültigkeit eines Zuges geprüft anhand von

max. Auslastung

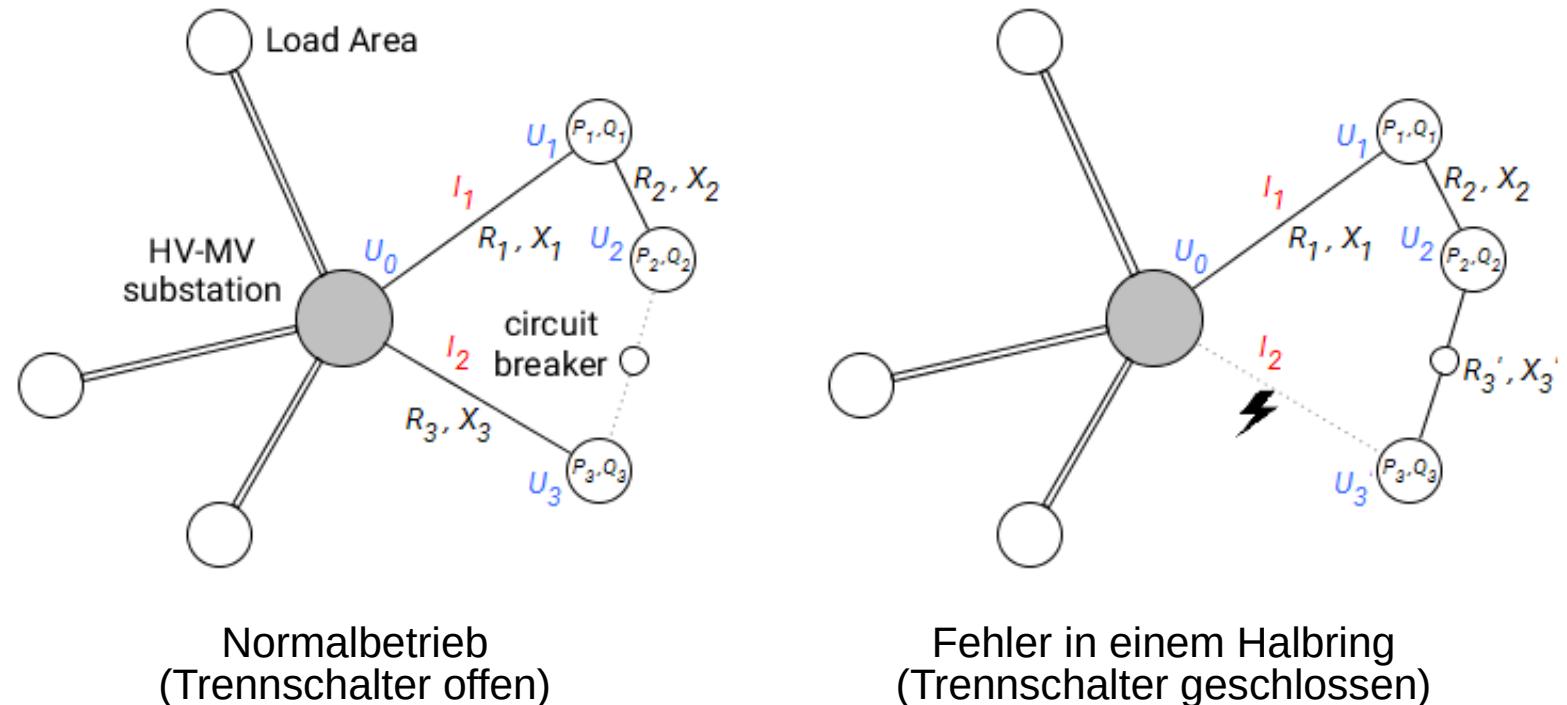
60%

max. Spannungsfall

4%

100%

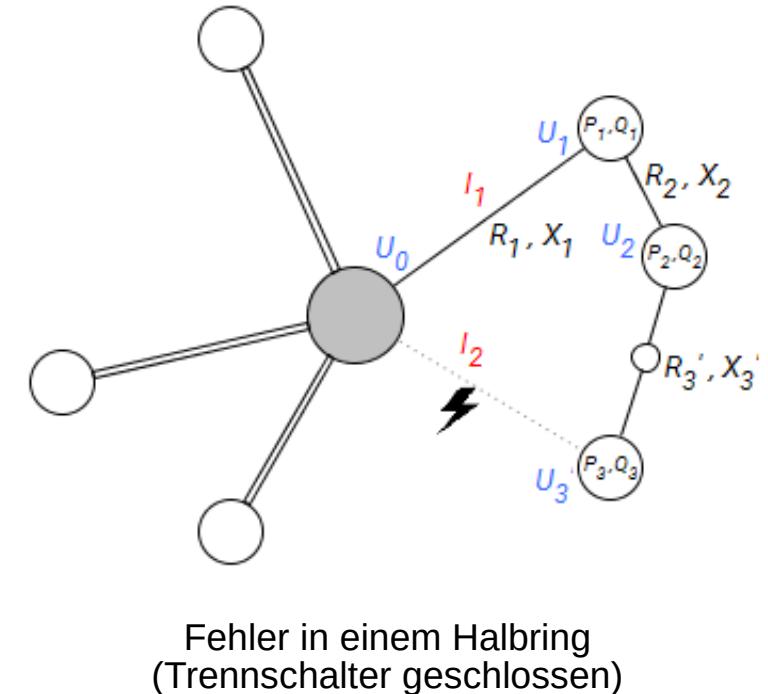
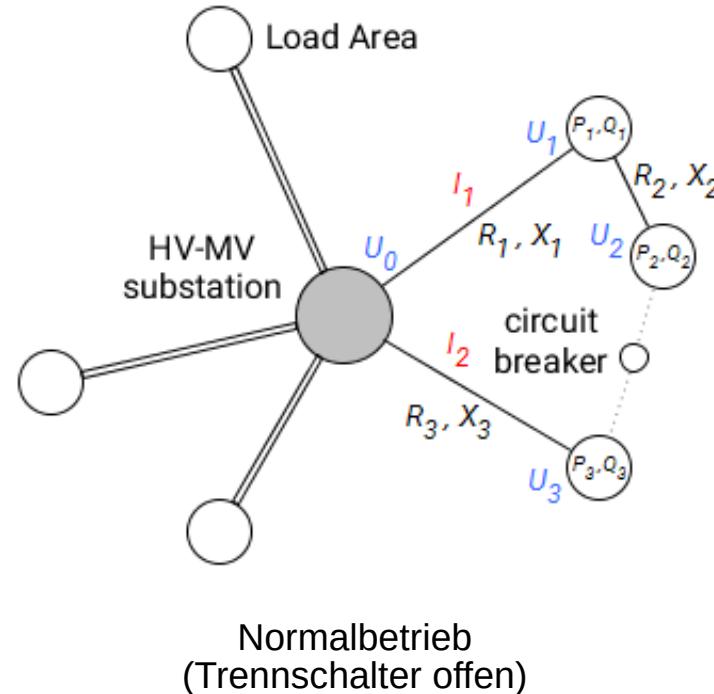
10%



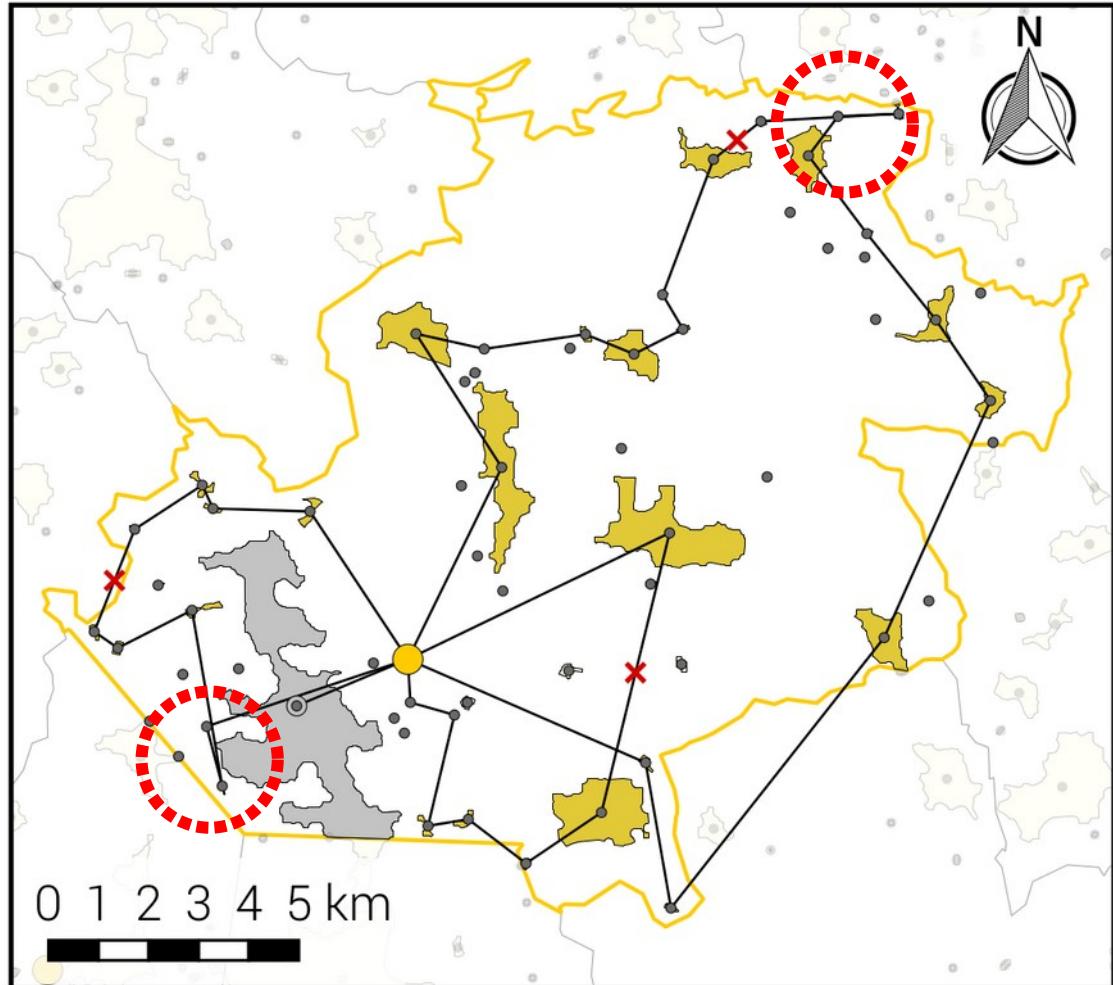
+max. 10 Lastgebiete pro Ring
Lasttrennschalter am Punkt des geringsten Leistungsflusses

Problem: Hohe Anzahl Iterationen
 → Power Flow ungeeignet
 → vereinfachter Ansatz:

$$U_i = U_{i-1} - \frac{(R_i \cdot P_i + X_i \cdot Q_i)}{U_{i-1}}$$

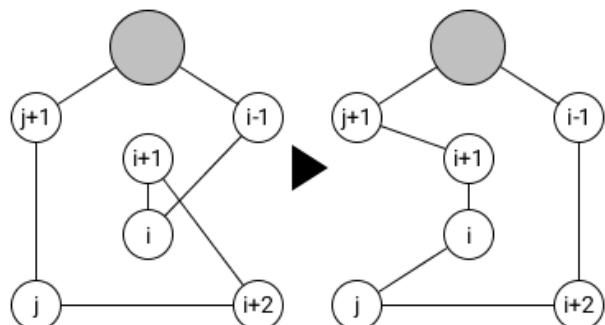


Ergebnis: Technisch funktionsfähige MS-Ringe (eventuell suboptimal)

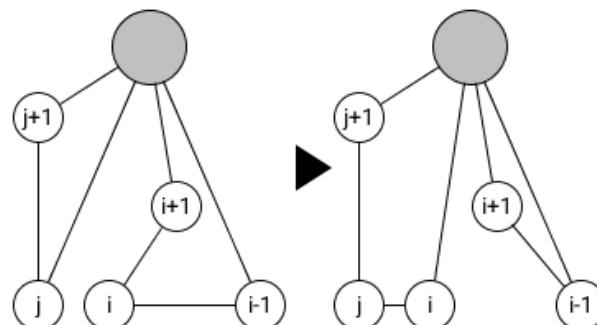


- MV grid district (MVGD)
- HV-MV substation (Transition point)
- Satellite load area
- Regular load area
- Aggregated load area
- LA centre
- MV branch (line/cable)
- × circuit breaker

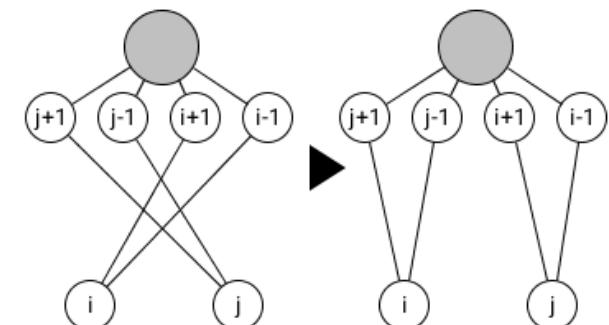
- Gesamtroutezlänge reduzieren
→ Prüfung benachbarter Lösungen mit Graph-Operatoren
- Operatoren anwenden, bis keine Verbesserung mehr möglich
- Akzeptanzkriterien wie bei Savings-Verfahren (Last & Spannung)



Or-Opt (intra-route)



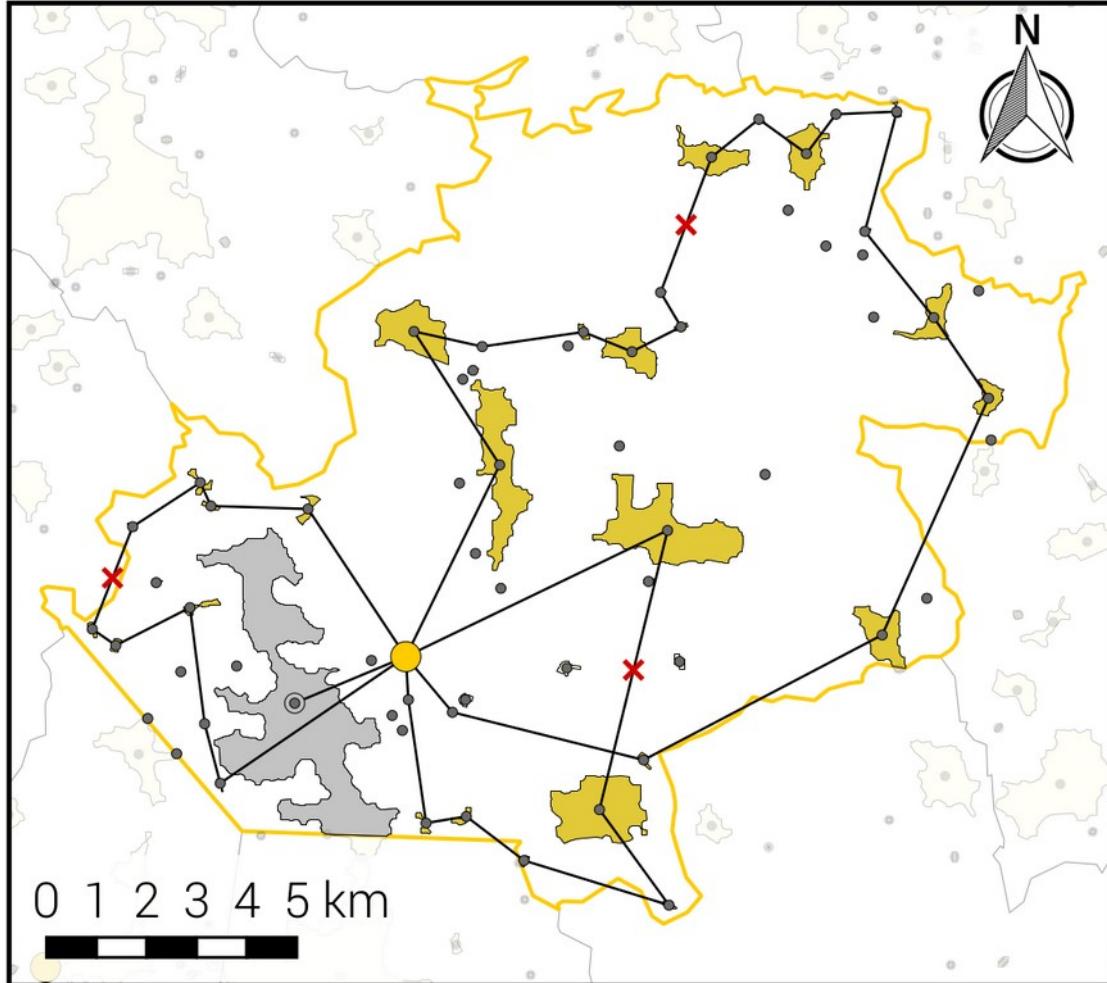
Relocate (inter-route)



Exchange (inter-route)

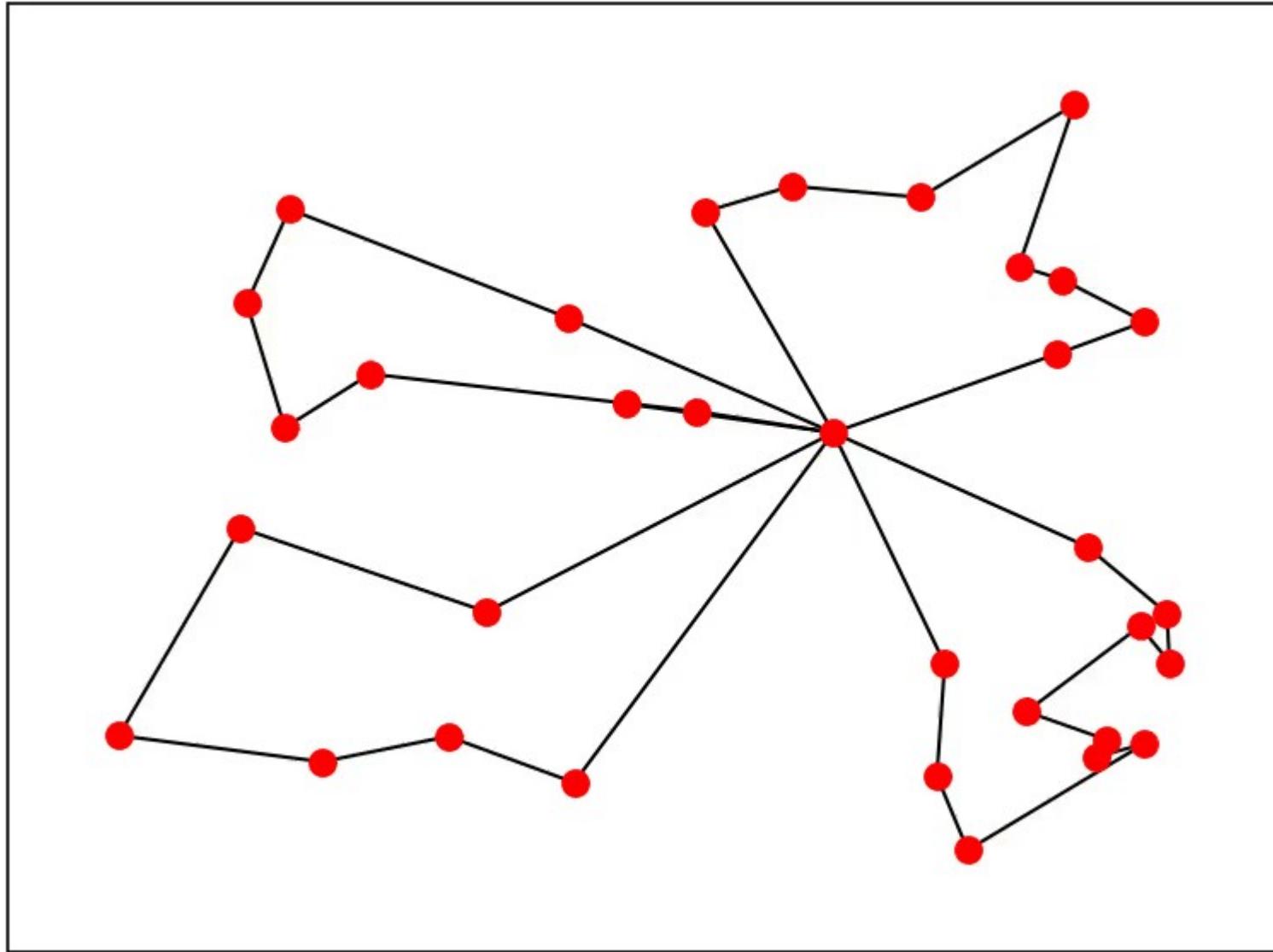
Ergebnis: Technisch funktionsfähige MS-Ringe (optimaler)

3 Synthetische MS-Netze | Lokale Suche | Ergebnis



- MV grid district (MVGD)
- HV-MV substation (Transition point)
- Satellite load area
- Regular load area
- Aggregated load area
- LA centre
- MV branch (line/cable)
- ✗ circuit breaker

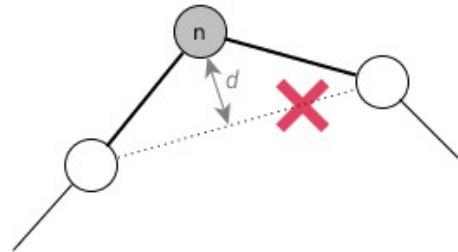
3 Synthetische MS-Netze | Routing-Prozess



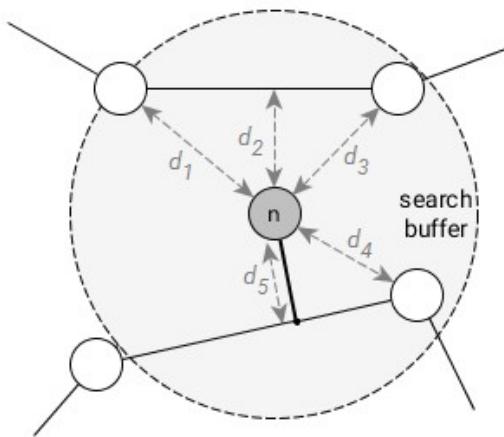
Anschluss weiterer Elemente:

- Satelliten-Lastgebiete: (max. Stichlänge 2 km, Summenlast 1 MVA)
- Ortsnetzstationen (ggf. Freileitungen durch Erdkabel ersetzen)
- Erzeuger

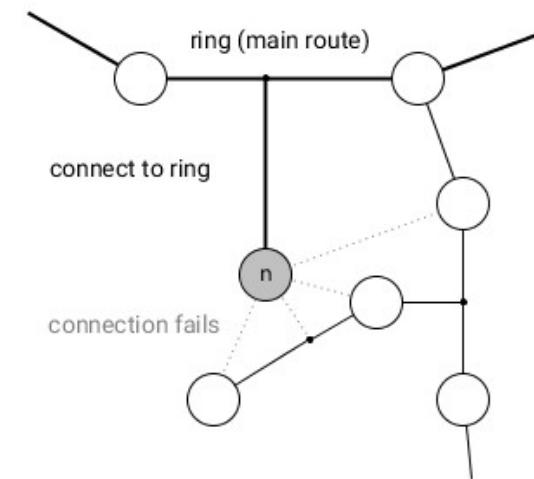
Verschiedene Verfahren:



(1)

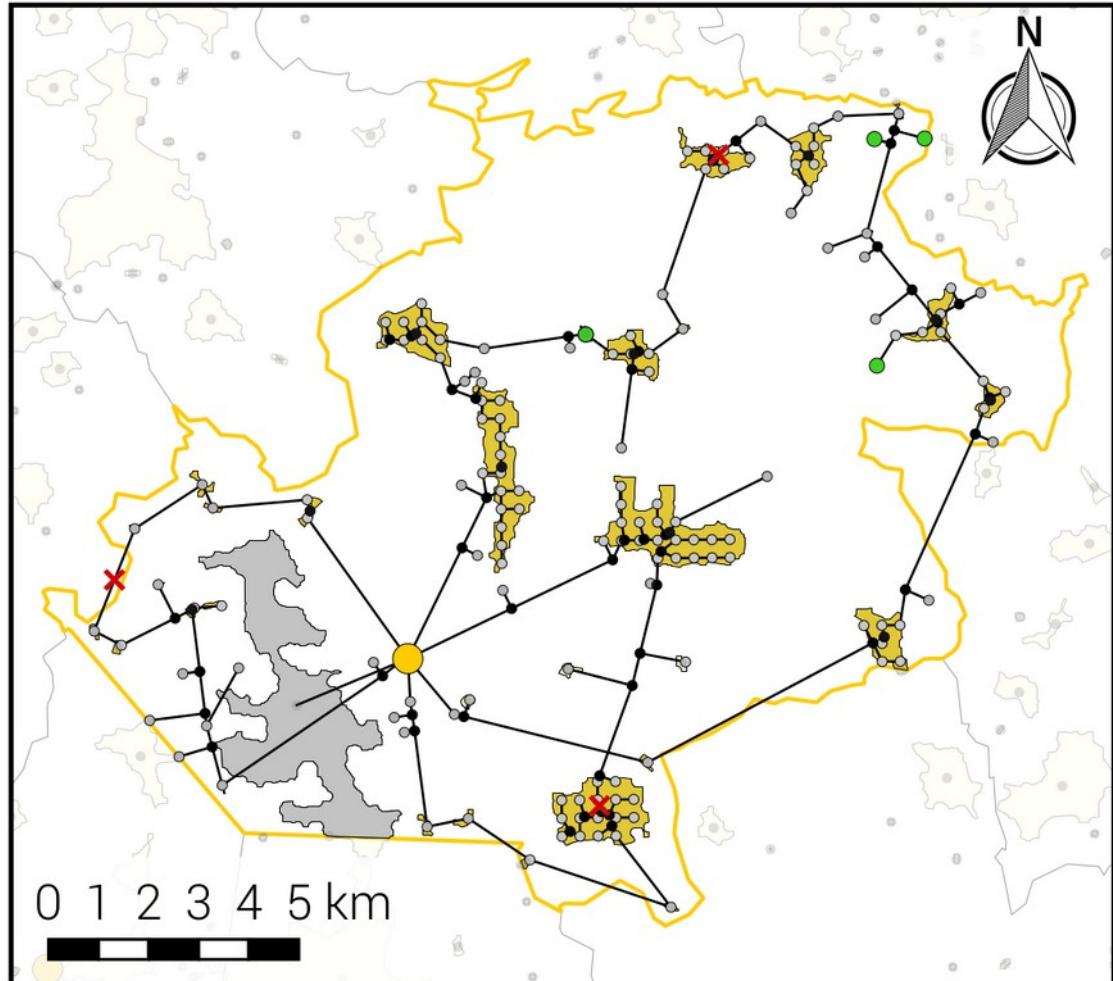


(2)



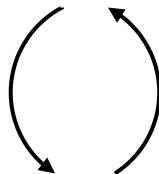
(3)

Ergebnis: Technisch funktionsfähige MS-Netze (eventuell Grenzwertverletzungen)



- MV grid district (MVGD)
- 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

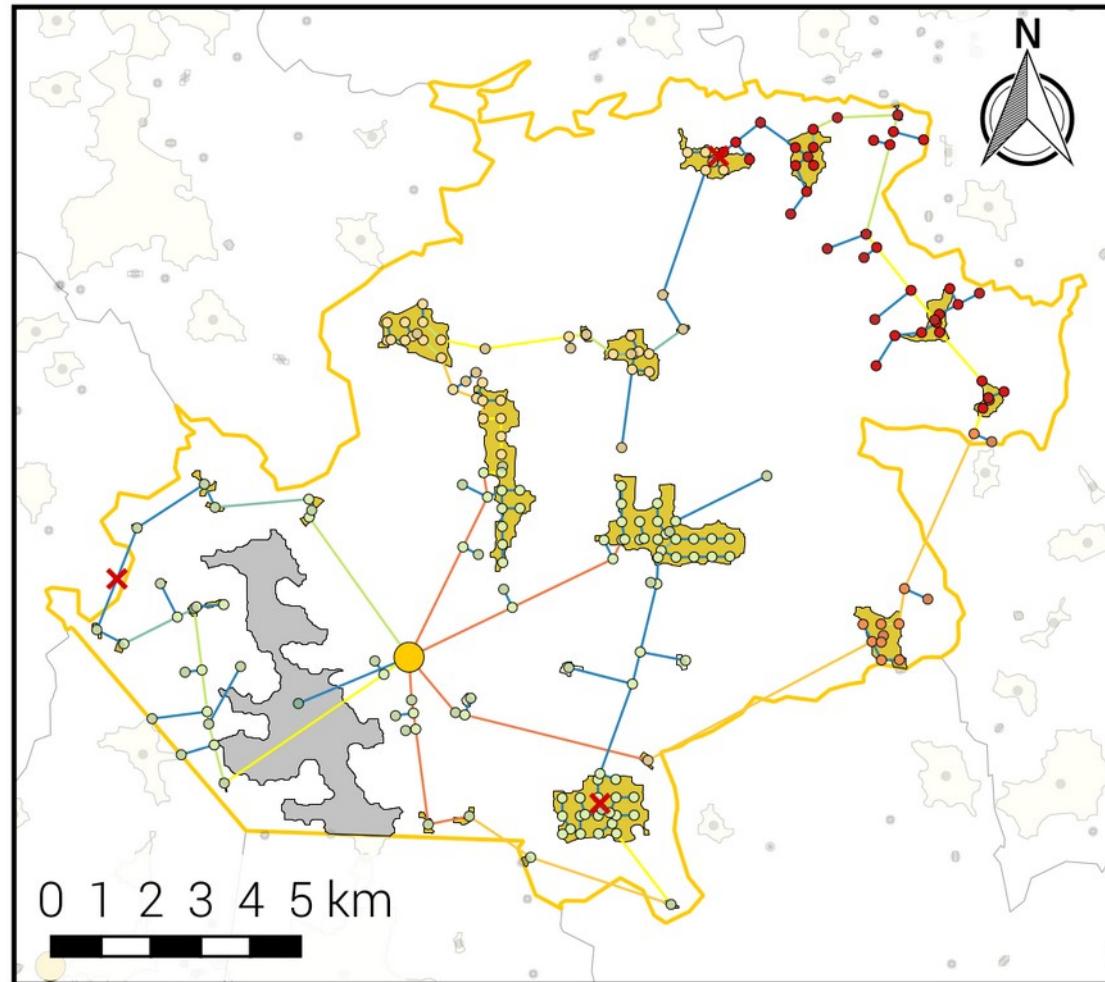
- Basistopologie (Ringe) mit vereinfachtem Verfahren auf Grenzwertverletzungen bzgl. Last und Spannung getestet
- Erweiterte Topologie wird mittels Lastflussberechnung geprüft (PyPSA)



- Netzverstärkungsmaßnahmen:
 - Leitungen mit Überlast
→ nächstgrößeres Kabel verwenden
 - Knoten mit Spannungsbandverletzung
→ nächstgrößeres Kabel von Knoten bis USW verwenden

(angelehnt an Verteilnetzstudie Rheinland-Pfalz)

Ergebnis: Technisch funktionsfähige MS-Netze mit Lasten und Erzeugern

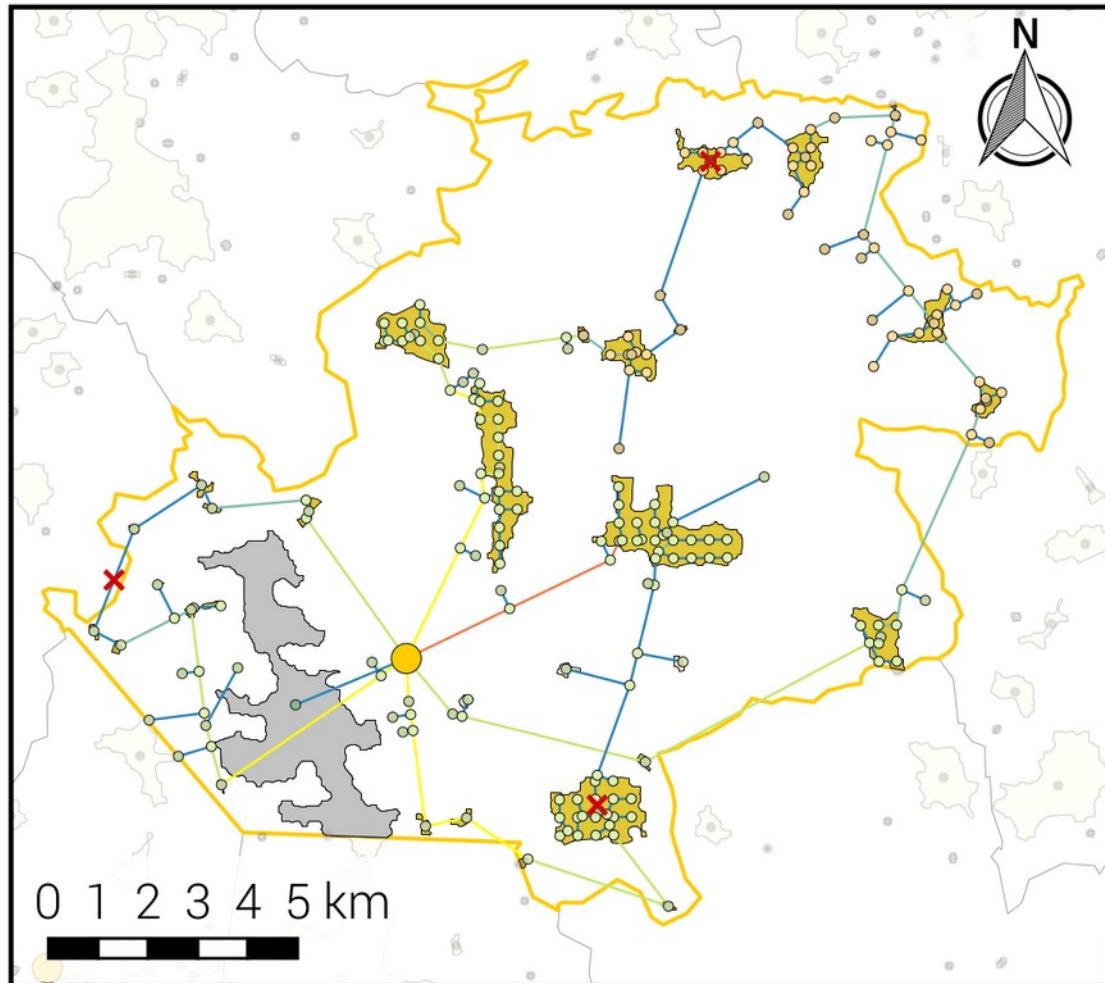


Rel. voltage (substation 104%)

- 104 %
- 104 - 106 %
- 106 - 108 %
- 108 - 110 %
- 110 - 112 %

Rel. Line loading

- 0 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 61 %



Rel. voltage (substation 104%)

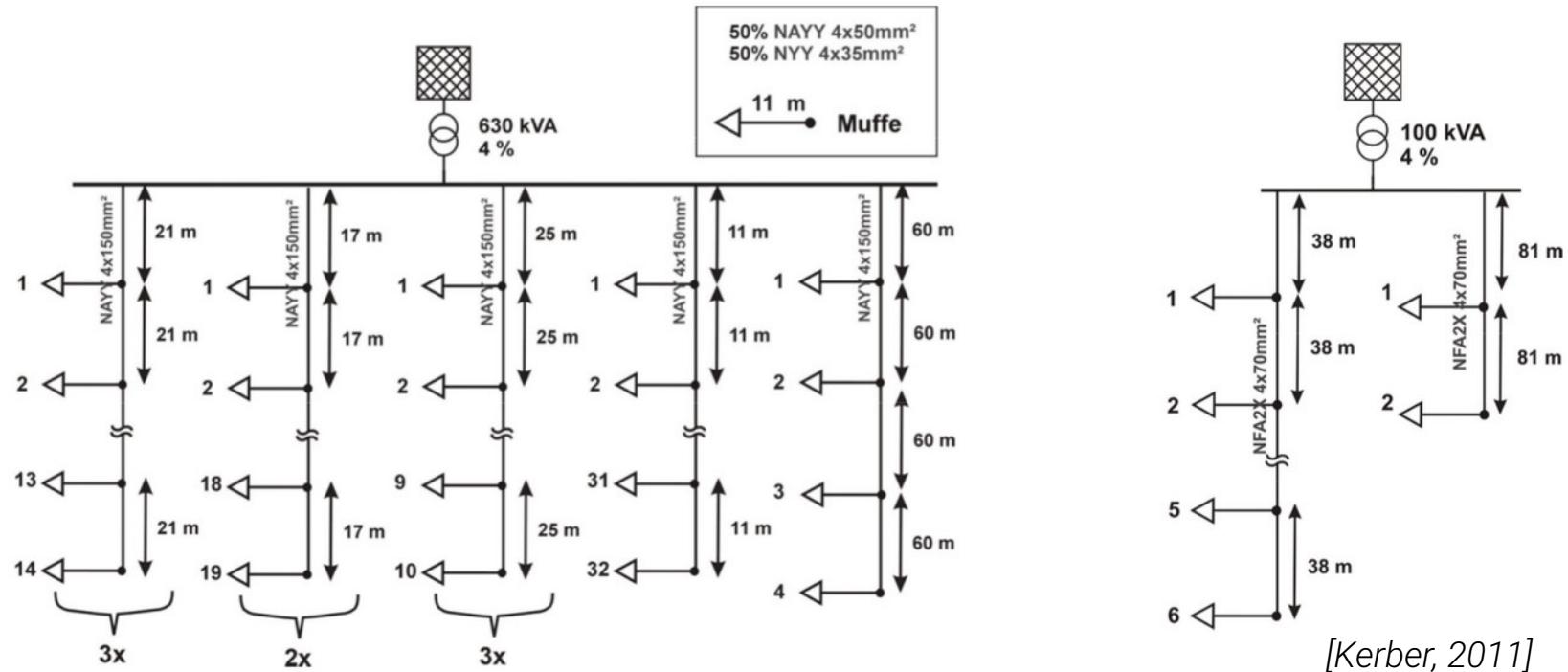
- 104 %
- 104 - 106 %
- 106 - 108 %
- 108 - 110 %
- 110 - 112 %

Rel. line loading

- 0 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 61 %

3 Niederspannungsnetze

- Verwendung von Modellnetzen, basierend auf Kerber, Scheffler, ThEGA für Wohnen, GHD, Landwirtschaft
- Anschluss Spannungsebene je nach Leistung und Typ
- Zufällige Verteilung von EE-Anlagen (reproduzierbar)
- Variation diverser Parameter in Abhängigkeit der abgeschätzten Anzahl von Hausschlüssen (HA), z.B. Stranganzahl, Anzahl HA eines Strangs, Betriebsmittel



Agenda

1

Ziele und Herausforderungen

2

Grundlagen und Datenbasis

3

Synthetische Netze

4

Zusammenfassung und Ausblick

5

Anwendungsbeispiel

6

Diskussion

- DINGO generiert heterogene, technisch funktionsfähige Netze
- Berücksichtigung von Planungsgrundsätzen und technischen Randbedingungen
- Abdeckung: derzeit DE
- Ergebnisse hängen von den initialen Annahmen ab, z.B.
 - Kategorisierung der Lastgebiete
 - max. Anzahl Ringe
 - max. Stichlänge und -last
 - Betriebsmittel
 - ...
- Reproduzierbar

- Kumulative Ergebnisse DE

Equipment	Model value m	Real value r	Deviation $ (r - m)/r $
HV-MV transformers	8,276	7,500	10.3 %
MV-LV transformers	514,333	560,000	8.2 %
MV cables & overhead lines	495,499 km	507,000 km	2.3 %

- Validierung:
Vergleich von Topologien schwierig → eher anhand von abgeleiteten Ergebnissen (z.B. erforderlicher Netzausbau)

- Wofür kann DINGO eingesetzt werden?
 - Abbildung der Gesamtheit von MS- und NS-Verteilnetzen im Status quo
 - Großräumige Betrachtungen
 - Generelle Betrachtungen
- Und wofür (noch) nicht?
 - Detaillierte Betrachtungen einzelner Netze
 - Greenfield Planning
 - Netzerweiterung

Backup

Räumliche Verteilung dezentraler EE



Voltage level	Generation type	Generation subtype	Allocation area	Cumulative cap. [MW]
4 (HV-MV)	biomass, gas	all	agricultural area	943
	geothermal	all	-	27
	hydro	all	-	235
	solar	roof-mounted	agricultural area	156
	solar	ground-mounted, none	randomly in MVGD	3923
	wind	all	WPA (wind farms)	4451
	biomass, gas	all	agricultural area	4835
	geothermal	all	-	12
	hydro	all	-	957
	solar	roof-mounted	agricultural area	2785
5 (MV)	solar	ground-mounted, none	randomly in MVGD	5893
	wind	all	WPA	20408
	biomass, gas	all	agricultural area	1029
	hydro	all	-	162
	solar	all	randomly in LVGDs	3942
6 (MV-LV)	wind	all	WPA	42
	biomass, gas	all	agricultural area	128
	hydro	all	-	164
	solar	all	randomly in LVGDs	21011
	wind	all	randomly in LVGDs	24
7 (LV)				

Voltage level	Nominal capacity	Allocation target	Cumulative cap. (renewable)	Cumulative cap. (conv.)
4 (HV-MV)	4.5 - 17.5 MW	Transition point	9.73 GW	2.48 GW
5 (MV)	0.3 - 4.5 MW	MV grid	34.89 GW	0.05 GW
6 (MV-LV)	0.1 - 0.3 MW	Distribution subst.	5.18 GW	0 GW
7 (LV)	\leq 0.1 MW	LV grid	21.33 GW	0 GW

Standard equipment:

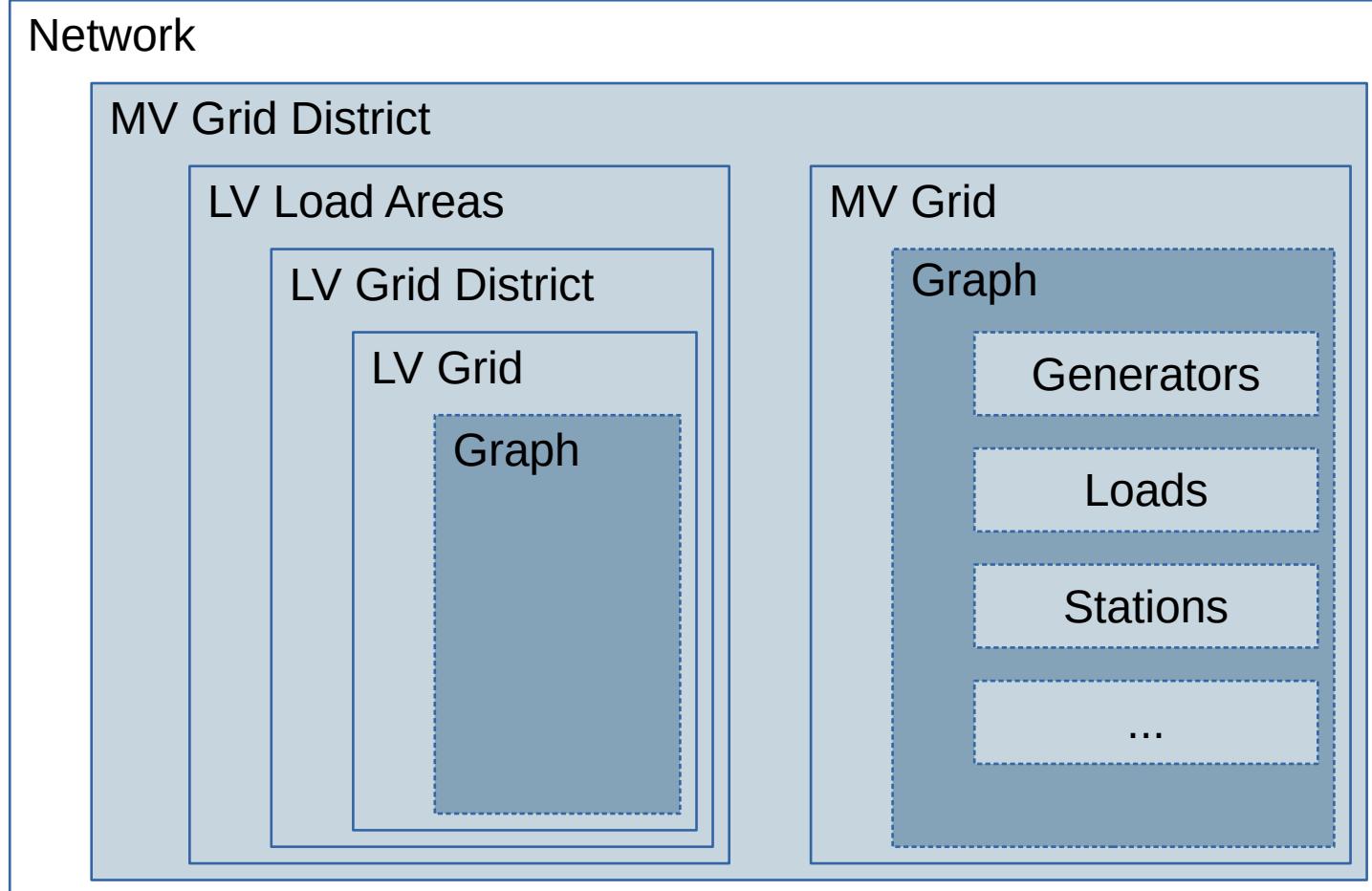
MV underground cables

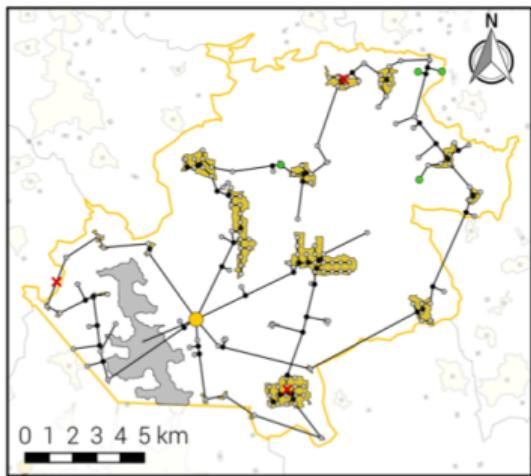
Name	U_n	I_max_th	R	L	C
	V	A	ohm/km	mH/km	uF/km
NA2XS2Y 3x1x185 RM/25	10	357	0,164	0,3533	0,41
NA2XS2Y 3x1x300 RM/25	10	466	0,1	0,3279	0,495
NA2XS2Y 3x1x150 RE/25	20	319	0,206	0,4011	0,24
NA2XS2Y 3x1x240	20	417	0,13	0,3597	0,304
NA2XS(FL)2Y 3x1x300 RM/25	20	476	0,1	0,3692	0,25

MV-overhead lines

HV-MV-trafo

Name	U_n	I_max_th	R	L	C	capacity	voltage
	V	A	ohm/km	mH/km	uF/km		
48-AL1/8-ST1A	10	210	0,35	1,11	0,0104	20 MVA	20 kV
94-AL1/15-ST1A	10	350	0,33	1,05	0,0112	31,5 MVA	10 kV
122-AL1/20-ST1A	10	410	0,31	0,99	0,0115	40 MVA	10 kV
48-AL1/8-ST1A	20	210	0,37	1,18	0,0098		
94-AL1/15-ST1A	20	350	0,35	1,11	0,0104		
122-AL1/20-ST1A	20	410	0,34	1,08	0,0106		





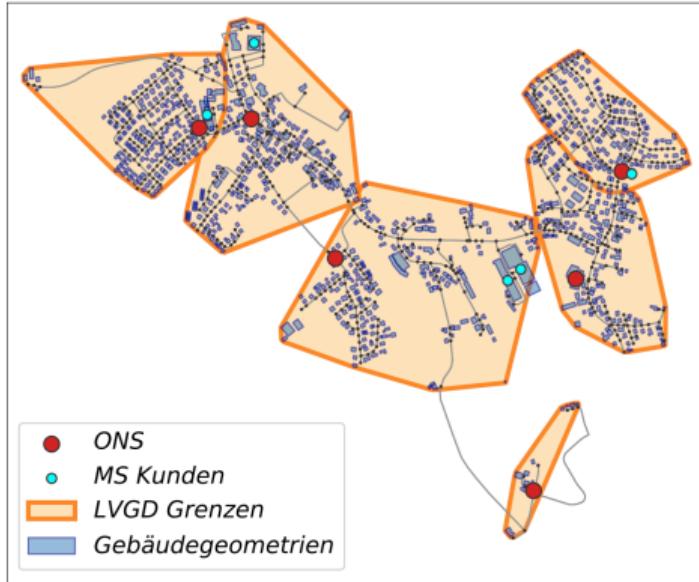
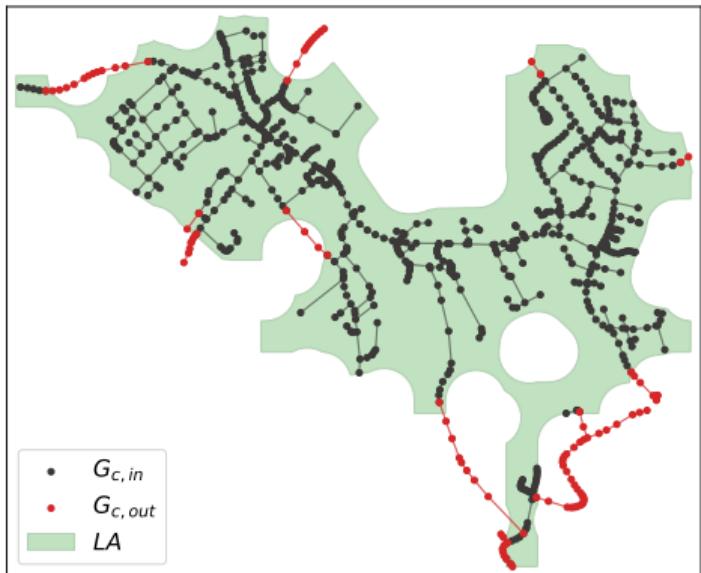
- MV grid district (MVGD)
- HV-MV substation (Transition point)
- Satellite load area
- Regular load area
- Aggregated load area
- MV branch (line/cable)
- ✖ Circuit breaker
- MV generator
- MV-LV station
- Cable distributor

- Generation of synthetic MV and LV grids based upon open data
- Modelling as vehicle routing problem (CVRP)
- No modelling of urban areas ("aggregated load areas")

MA Paul Dubielzig: Extension of ding0 by urban grids

- Street-routed grids
- Load clustering (hierarchical agglomerative) for positioning MV/LV substations
- Consideration of technical restrictions
- Comparison with DSO's structural data *StromNEV* (length, load count, installed load) for 4 urban areas (Berlin, Hamburg, Bremen, Bonn)
- Comparison with urban simbench grid

Clustering and positioning of MV/LV stations

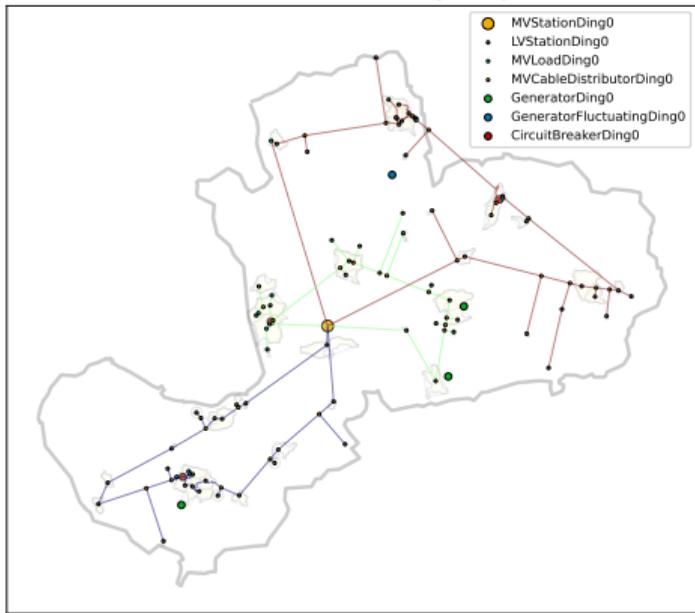


MV: Example results (1/3)



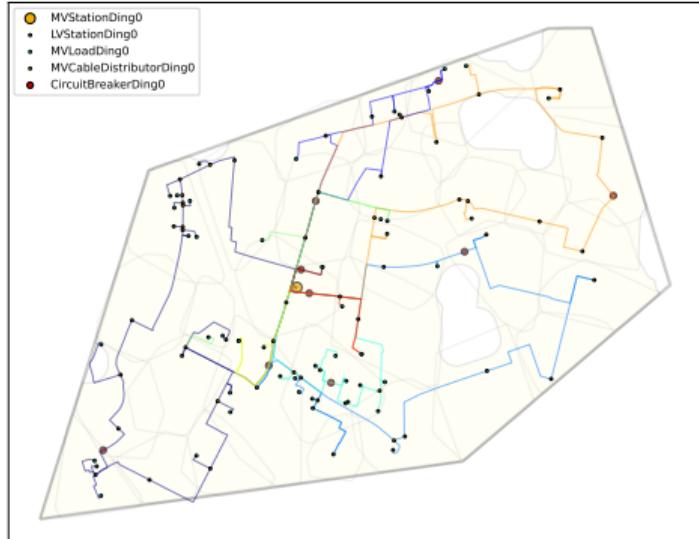
Rural grid

MV Grid District 15 - Routing completed



Urban grid

MV Grid District 748 - Routing completed

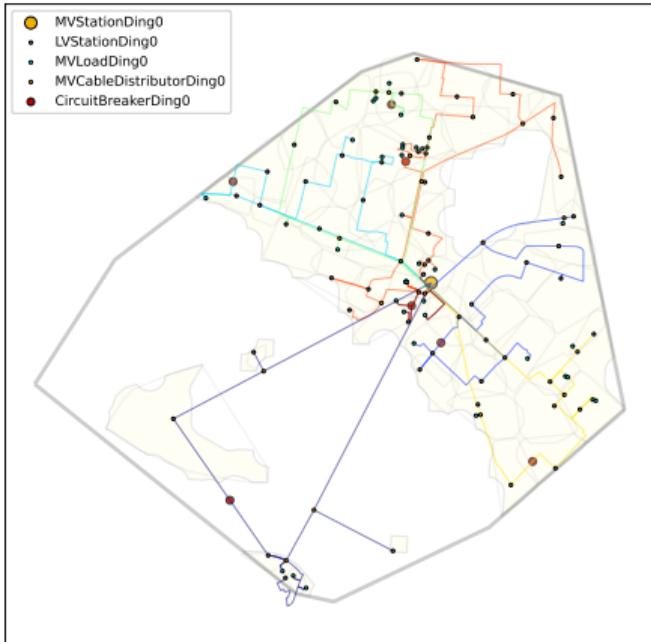


MV: Example results (2/3)



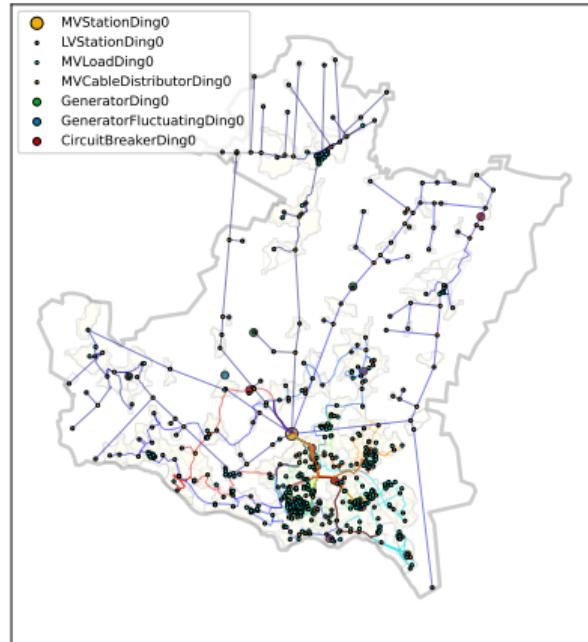
Mixed grid

MV Grid District 792 - Routing completed



Mixed grid

MV Grid District 40 - Routing completed

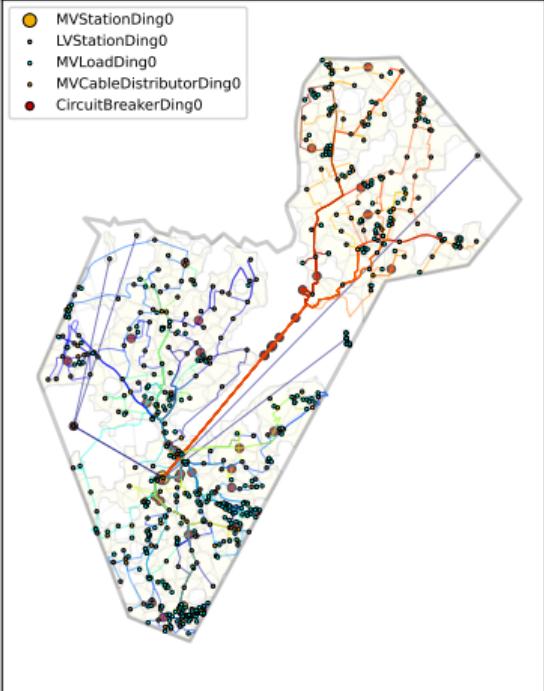


MV: Example results (3/3) - still coping with some odd grids



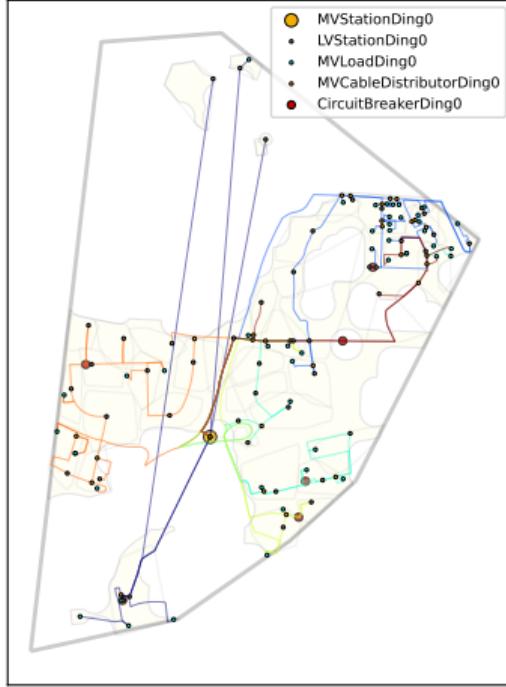
Urban grid

MV Grid District 1843 - Routing completed

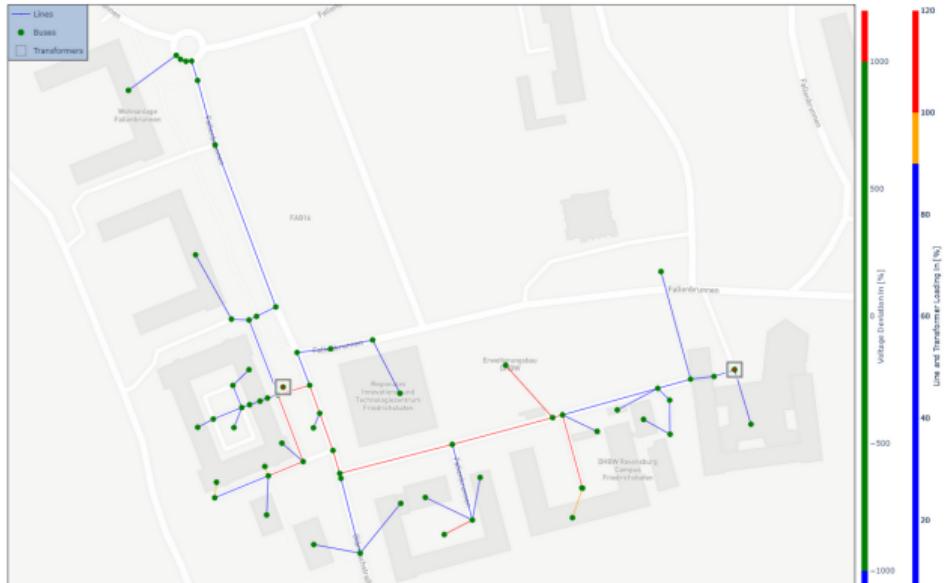


Mixed grid

MV Grid District 747 - Routing completed



LV: Example results



- Collaboration with Fraunhofer ISE, now integrated in ding0
- Routing along streets
- Shortest path to connect buildings and generators

Ongoing work



- Integration of eGon data sets
- Rework grid reinforcement
- Improve PyPSA export
- Mark implausible grids for subsequent clustering

Backup



Backup

Positioning of MV supply

