SimBench Sektor

Willkommen

Expert Session (06.11.2026)

Fraunhofer IEE

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
University of Applied Sciences

gwi

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

SimBench Sektor Expert Session

Agenda

10.00 – 11.00 Uhr	**Einführung und Vorstellung SimBench**
	Netzmodellbedarf und Notwendigkeit offener Daten
	Verfügbarkeit realer Daten (KRITIS)
	Projektübersicht SimBench
	Ziele und Ergebnisse aus SimBench

11.00 – 12.00 Uhr	**Anwendung von SimBench**
	Statistiken zur Nutzung der SimBench-Daten
	Betriebs- und Positionierungsstrategien von Heim- und Quartiersspeichern in Niederspannungnetzen
	Probabilistische Vorhersagen für den Netzbetrieb in Übertragungsnetzen
	Graph Neural Networks in der Netzbetriebsführung

12.00 -13.00 Uhr Mittagspause

13.00 – 15.25 Uhr	**Vorstellung SimBench Sektor**
	Einleitung SimBench Sektor
	Definition und Erstellung der Szenarien
	Erstellung der Stromnetzdaten
	Erstellung der Wärmenetzdaten
	Erstellung der Gasnetzdaten
	Projektabschluss und Veröffentlichung

Optional: Raum für Detailfragen

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Netzmodellbedarf / Projektübersicht
(Tobias Banze)

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Netzmodellbedarf

Warum werden Netzmodelle benötigt?

- Grundlage für viele Simulationen und Analysen
  - Netzberechnungen
  - Netzplanung
  - Netzzustandsschätzung
- Methoden- und Toolentwicklung

Was sollten Netzmodelle enthalten?

- Möglichst realitätsnahe Abbildung der Topologie und Netzkomponenten
- Verschiedene Netzkonstellationen / Szenarien
- Zeitreihen
- Georeferenzierung / ortsspezifische Einflüsse

Welche Anforderungen an Netzmodelle?

- Hohe Nutzungsfreundlichkeit
- Einfache Verwendbarkeit
- Rechenbarkeit
- Verschiedene Datenformate verfügbar
- Nachhaltigkeit (open data Lizenz)

Weshalb hoher Netzmodellbedarf?

- Wenige offen verfügbare Netzmodelle
- Reale Netzdaten sind vertraulich
  - Nutzung auf Projekte beschränkt

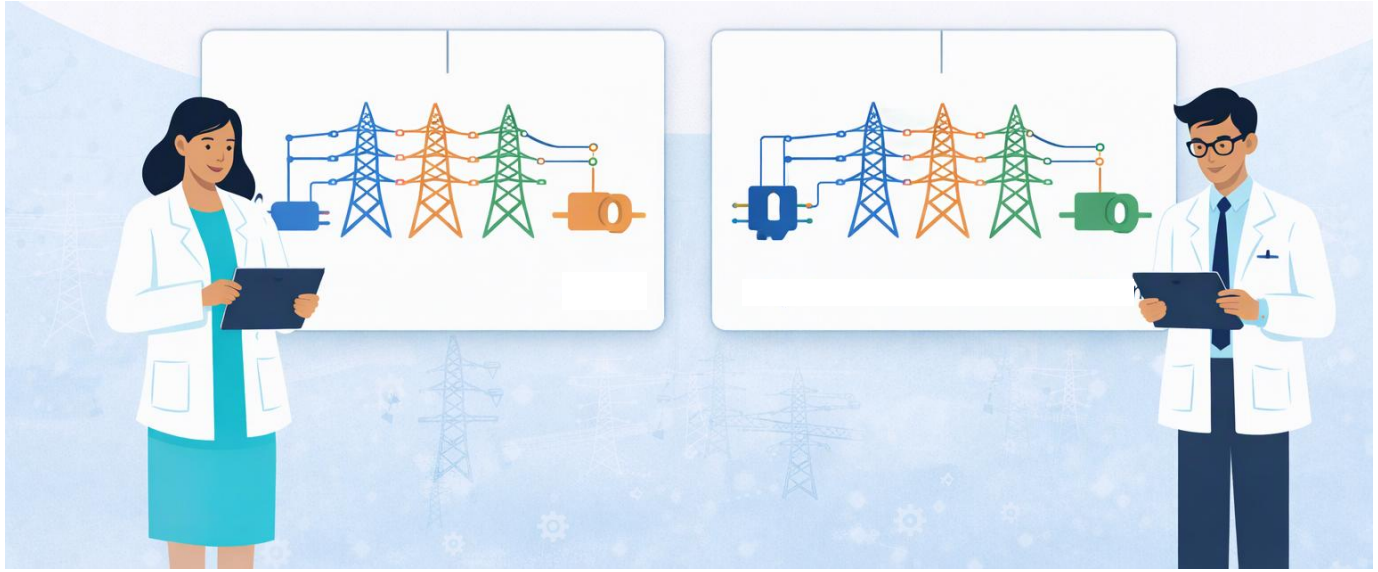
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Notwendigkeit von offenen Netzdaten

Warum ist es wichtig, dass die Netzmodelle offen zugänglich sind?

- **Reproduzierbarkeit** und **Nachvollziehbarkeit** von Forschungsergebnissen
- **Vergleichbarkeit** von entwickelten Methoden / Tools
- Durchführung von Simulationen und Analysen **ohne** Beteiligung von **Netzbetreibern**
- **Darstellung** innerhalb von Publikationen



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Veröffentlichung von realen Daten

Warum werden die realen Netzdaten nicht veröffentlicht?

- Energieversorgung (Strom, Gas, Wärme) ist teil der **kritischen Infrastruktur** (KRITIS)
  - Rückschlüsse auf Netzstruktur und Identifizierung von Schwachstellen
  - Sicherheitsrisiken / Missbrauch (z.B. Sabotage)



Netzdaten schützen

- Kundendaten unterliegen **Datenschutz**
  - Personenbezogene Daten
  - Gebäudemessdaten
  - Wirtschaftliche Rückschlüsse bei Gewerbe- / Industriekunden



Kundendaten schützen

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench
Projektübersicht

Projektdaten

Projektlaufzeit
01.11.2015 – 30.04.2019

Förderkennzeichen
0325917A

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projektpartner

Universität Kassel (E2N)

Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze

Fraunhofer IEE

RWTH Aachen (IEAW)

Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft

RWTH AACHEN UNIVERSITY

TU Dortmund (ie³)

Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Motivation und Ziele

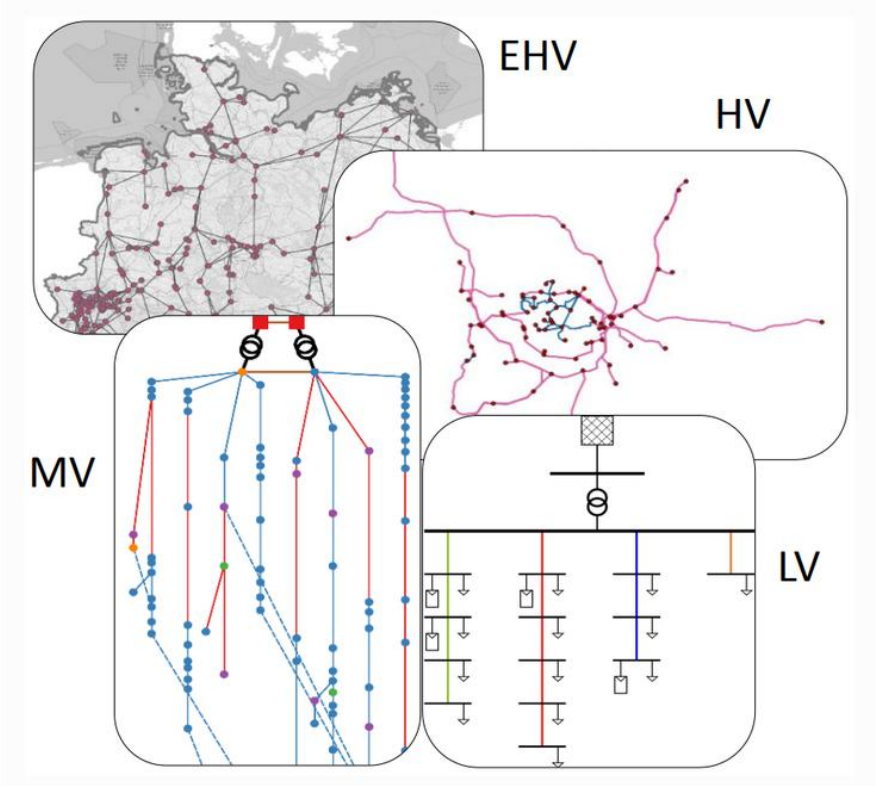
Benchmarkdatensatz als Basis zur Entwicklung innovativer Lösungen im Bereich der Netzanalyse und Netzbetriebsführung

Motivation:

- Hoher Bedarf an detaillierten und realitätsnahen Netzmodellen
- Forschung ohne vertrauliche (unternehmensinterne) Daten
- Vergleichbarkeit von Forschungsergebnissen

Ziele:

- Breites Spektrum von Anwendungsfällen
- Netzdaten verschiedener Spannungsebenen
- Spannungsübergreifende Simulationsmöglichkeiten
- Drei verschiedenen Varianten (Entwicklungsszenarien)
- Hohe Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit
- Öffentliche Bereitstellung unter geeigneter Lizenz



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Eingangsdaten / Methodik

Netztopologie

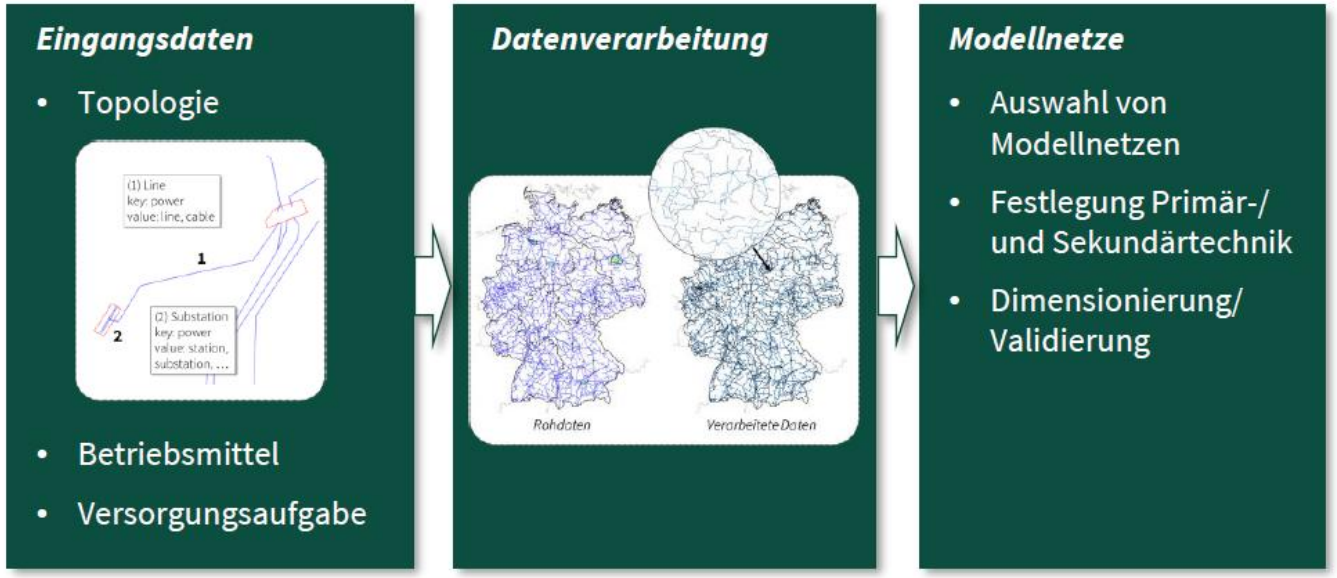
- OpenStreetMap
- Versorgungsflächen
- Netzstrukturdaten der Netzbetreiber
- Betriebsmittelstandarttypen
- Netzbetreiberdaten

Stromerzeugung

- Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur (HöS)
- Erzeugeranlagenregister

Stromverbrauch

- Gesamtlast nach ENTSO-E
- Anonymisierte Registrierte Leistungsmessung (RLM)-Profile
- Bevölkerungsdichten
- Gemeindeflächen



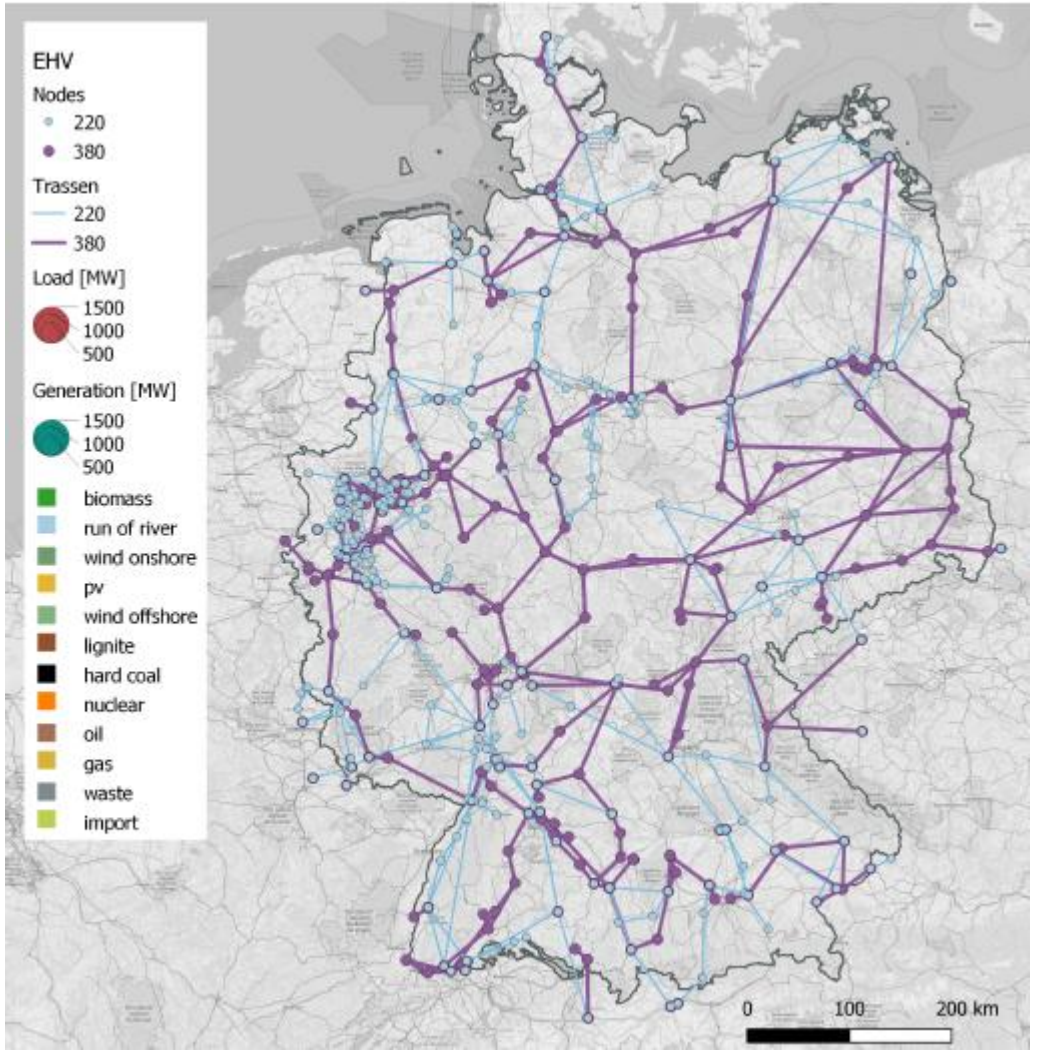
Beispiel: Übersicht der Vorgehensweise auf HS-Ebene

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Ergebnisse – Netzmodell Höchstspannung

Kürzel	Urbanisierungsgrad	Nennspannung [kV]	Anzahl Versorgungspunkte	Erzeugertypen	Geo-Referenzeiert (Realität)
EHV1	gemischt	380, 220	390	Kernkraft, Kohle, Gas	ja

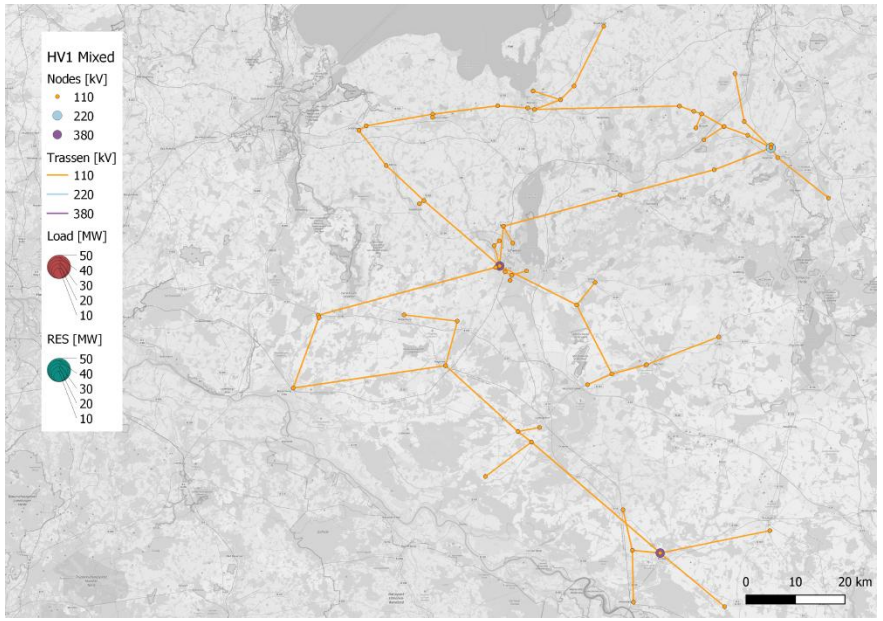


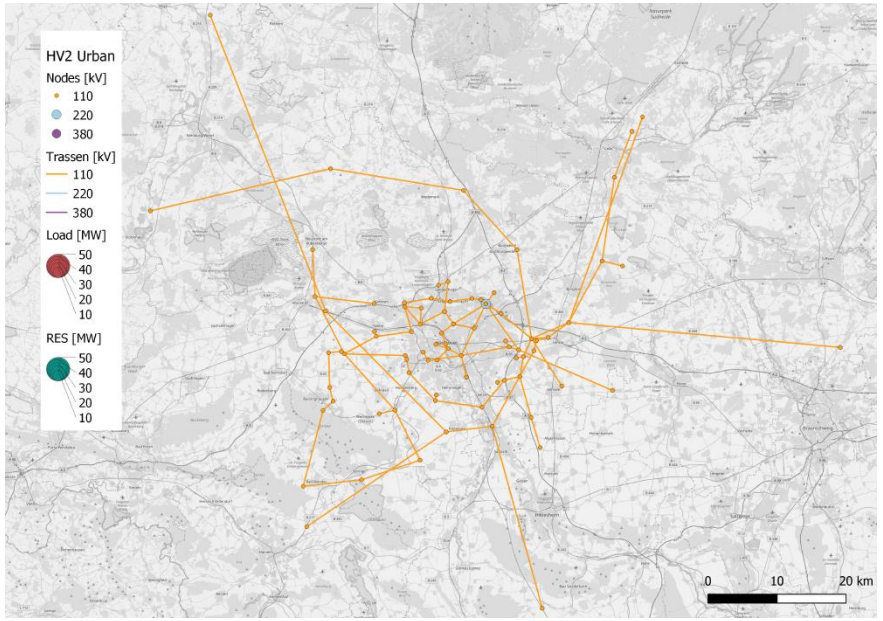
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Ergebnisse – Netzmodell Hochspannung

Kürzel	Urbanisierungsgrad	Nennspannung [kV]	Anzahl Versorgungspunkte	Erzeugertypen	Geo-Referenzeiert (Realität)
EHV1	gemischt	380, 220	390	Kernkraft, Kohle, Gas	ja
HV1	gemischt	110	58	Wind	ja
HV2	städtisch	110	79	Wind	ja



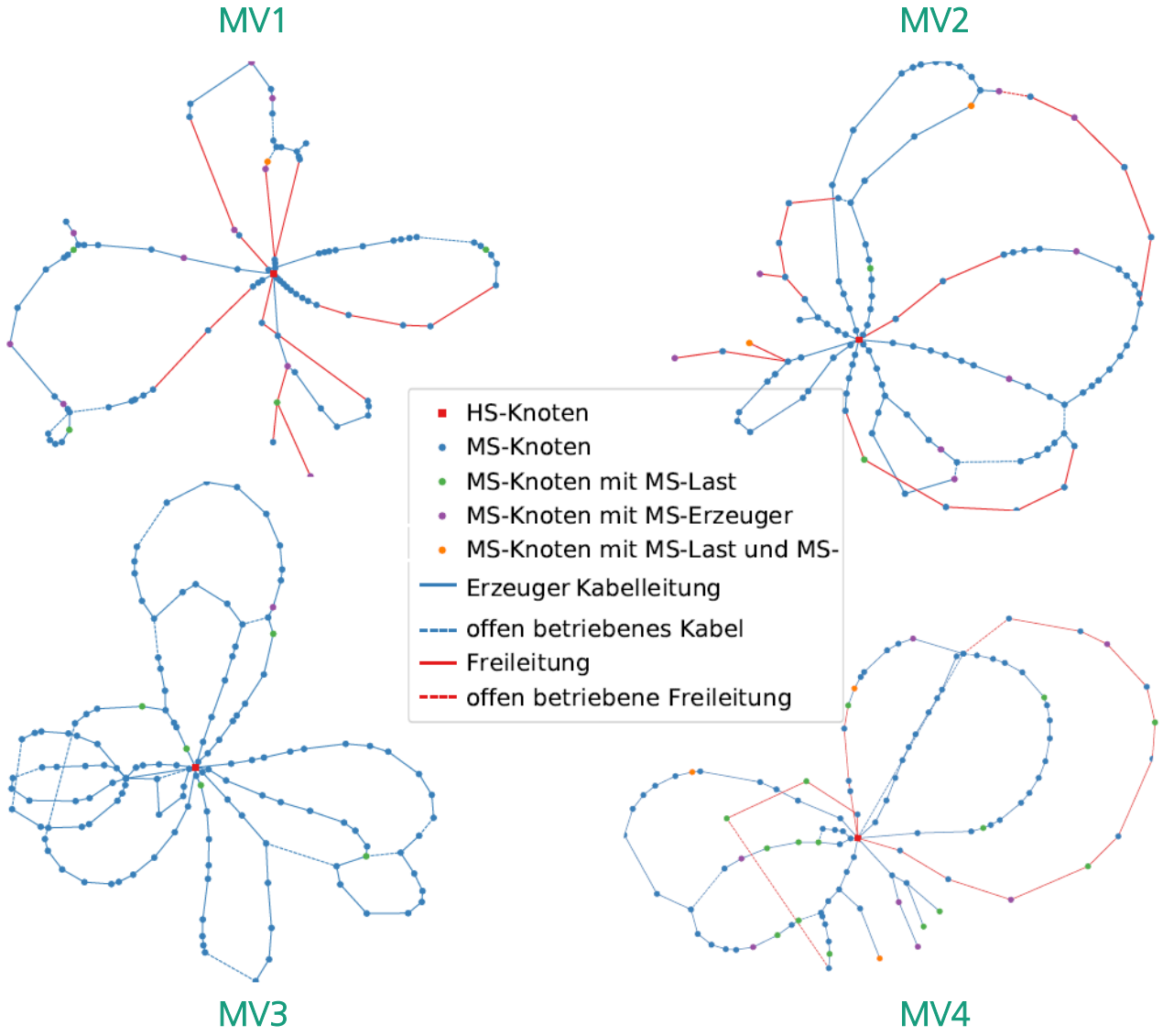


© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Ergebnisse – Netzmodell Mittelspannung

Kürzel	Urbanisierungsgrad	Nennspannung [kV]	Anzahl Versorgungspunkte	Erzeugertypen	Geo-Referenzeiert (Realität)
EHV1	gemischt	380, 220	390	Kernkraft, Kohle, Gas	ja
HV1	gemischt	110	58	Wind	ja
HV2	städtisch	110	79	Wind	ja
MV1	ländlich	20	92	Wind, PV, BM, Wasserkraft	nein
MV2	vorstädtisch	20	112	Wind, PV, BM, Wasserkraft	nein
MV3	städtisch	10	134	Wind, PV, Wasserkraft	nein
MV4	gewerblich	20	98	Wind, PV, BM, Wasserkraft	nein



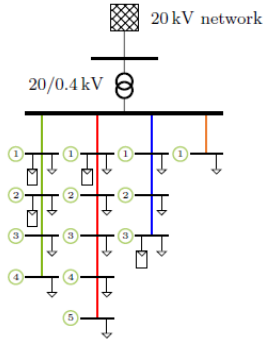
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

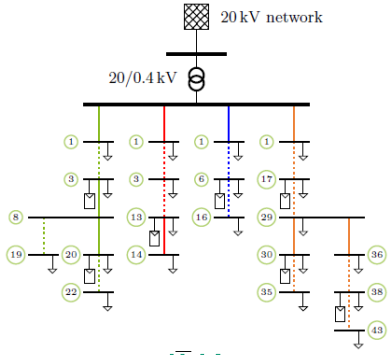
Ergebnisse – Netzmodell Niederspannung

Kürzel	Urbanisierungsgrad	Nennspannung [kV]	Anzahl Versorgungspunkte	Erzeugertypen	Geo-Referenzeiert (Realität)
EHV1	gemischt	380, 220	390	Kernkraft, Kohle, Gas	ja
HV1	gemischt	110	58	Wind	ja
HV2	städtisch	110	79	Wind	ja
MV1	ländlich	20	92	Wind, PV, BM, Wasserkraft	nein
MV2	vorstädtisch	20	112	Wind, PV, BM, Wasserkraft	nein
MV3	städtisch	10	134	Wind, PV, Wasserkraft	nein
MV4	gewerblich	20	98	Wind, PV, BM, Wasserkraft	nein
LV1	ländlich	0,4	13	PV	nein
LV2	ländlich	0,4	93	PV	nein
LV3	ländlich	0,4	118	PV	nein
LV4	vorstädtisch	0,4	39	PV	nein
LV5	vorstädtisch	0,4	104	PV	nein
LV6	städtisch	0,4	53	PV	nein

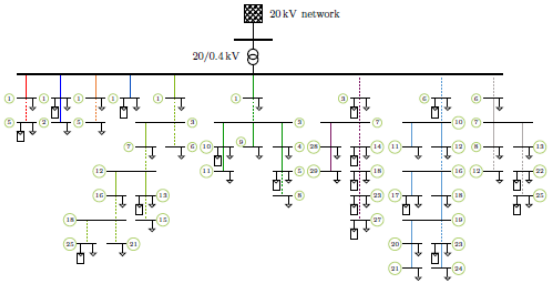
LV1



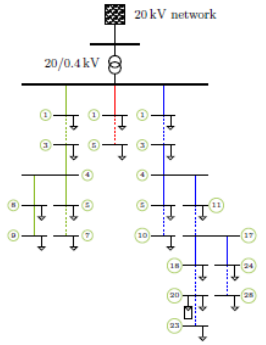
LV2



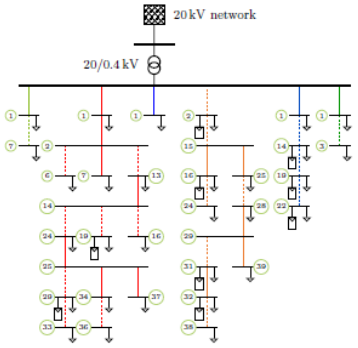
LV3



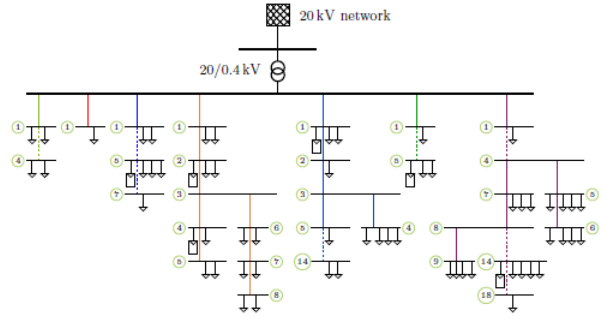
LV4



LV5



LV6



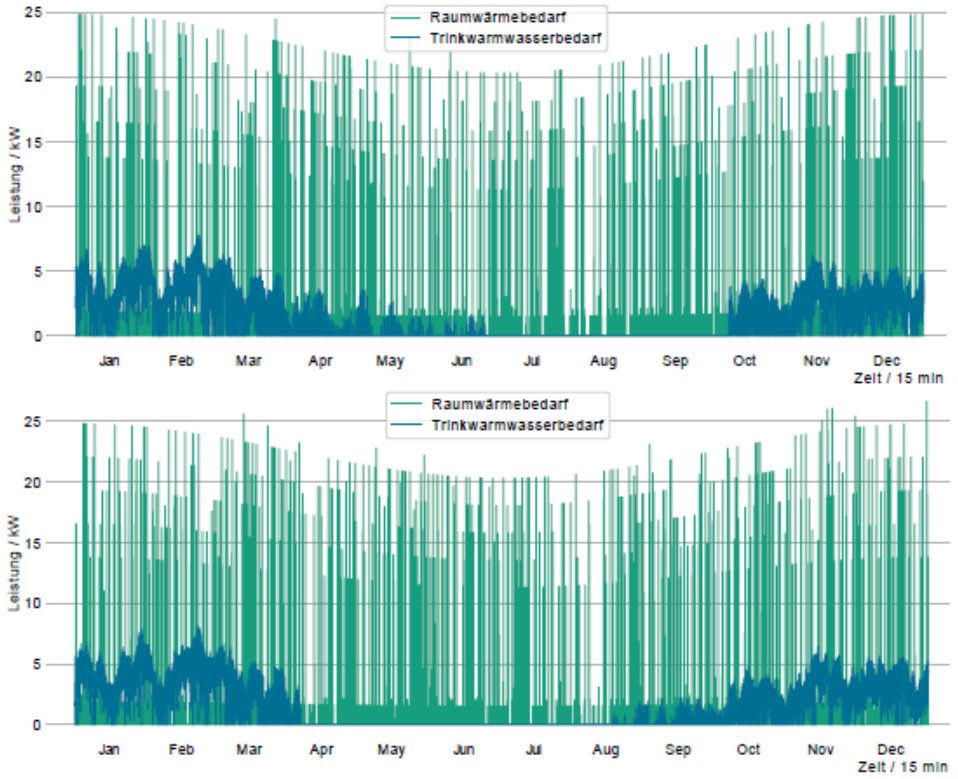
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

SimBench

Verbrauchszeitreihen

Kategorie	Typ	Datengrundlage
Sammelverbraucher	Haushalte	HTW-Berlin Datensatz (2010)
	Gewerbe und Industrie	SLP, angenähert mittels anonymisierter RLM-Profile (2016)
	Landwirtschaft	SLP, angenähert mittels anonymisierter RLM-Profile (2016)
Einzelverbraucher	Wärmepumpen (Luft- und Erdwärme)	Erstellt auf Basis der im Haushalt benötigten: ▪ Wärmeenergie (Trinkwarmwasser und Raumheizungsbedarf) ▪ technischen Rahmendaten ▪ Wärmequellen ▪ Betriebsmodi



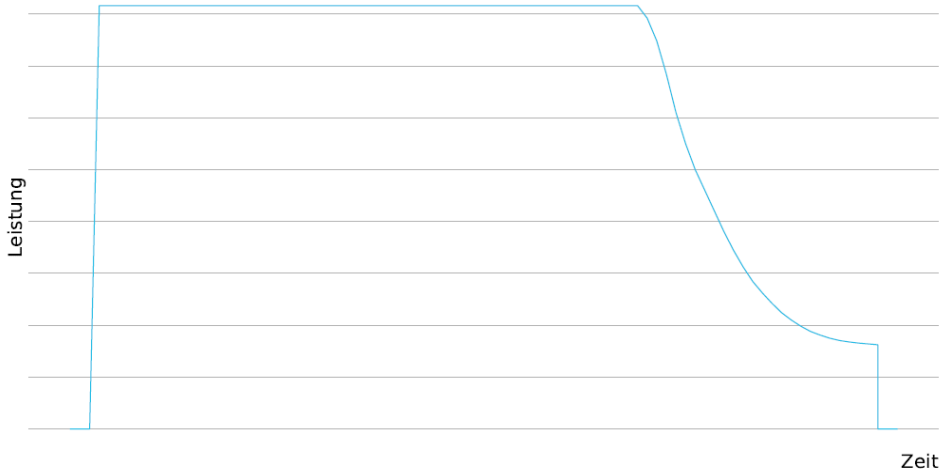
Darstellung des Wärmebedarfs in einem dreiköpfigen Einfammilienhaus in Hannover (oben) und Lübeck (unten) für das Jahr 2016

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

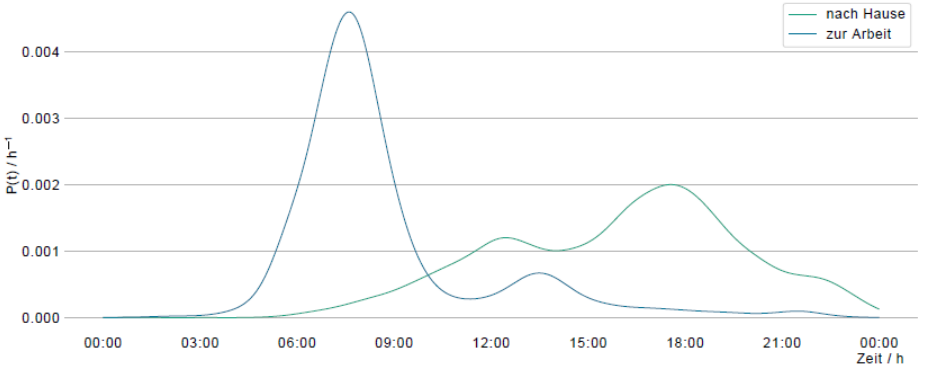
SimBench

Verbrauchszeitreihen

Kategorie	Typ	Datengrundlage
Sammelverbraucher	Haushalte	HTW-Berlin Datensatz (2010)
	Gewerbe und Industrie	SLP, angenähert mittels anonymisierter RLM-Profile (2016)
	Landwirtschaft	SLP, angenähert mittels anonymisierter RLM-Profile (2016)
Einzelverbraucher	Wärmepumpen (Luft- und Erdwärme)	Erstellt auf Basis der im Haushalt benötigten: ▪ Wärmeenergie (Trinkwarmwasser und Raumheizungsbedarf) ▪ technischen Rahmendaten ▪ Wärmequellen ▪ Betriebsmodi
	Elektrofahrzeuge	Erstellung nach Bottom-Up-Ansatz mittels: ▪ Heim- und Arbeitsplatzladeprofile ▪ Neuzulassung nach Fahrzeugmarken ▪ Durchscnittlicher Verbrauch ▪ Batteriegröße ▪ Verhalten des Nutzers



Schematisches Ladeprofil eines E-Kfz



Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ankunftszeiten zu Hause und auf der Arbeit unter der Woche

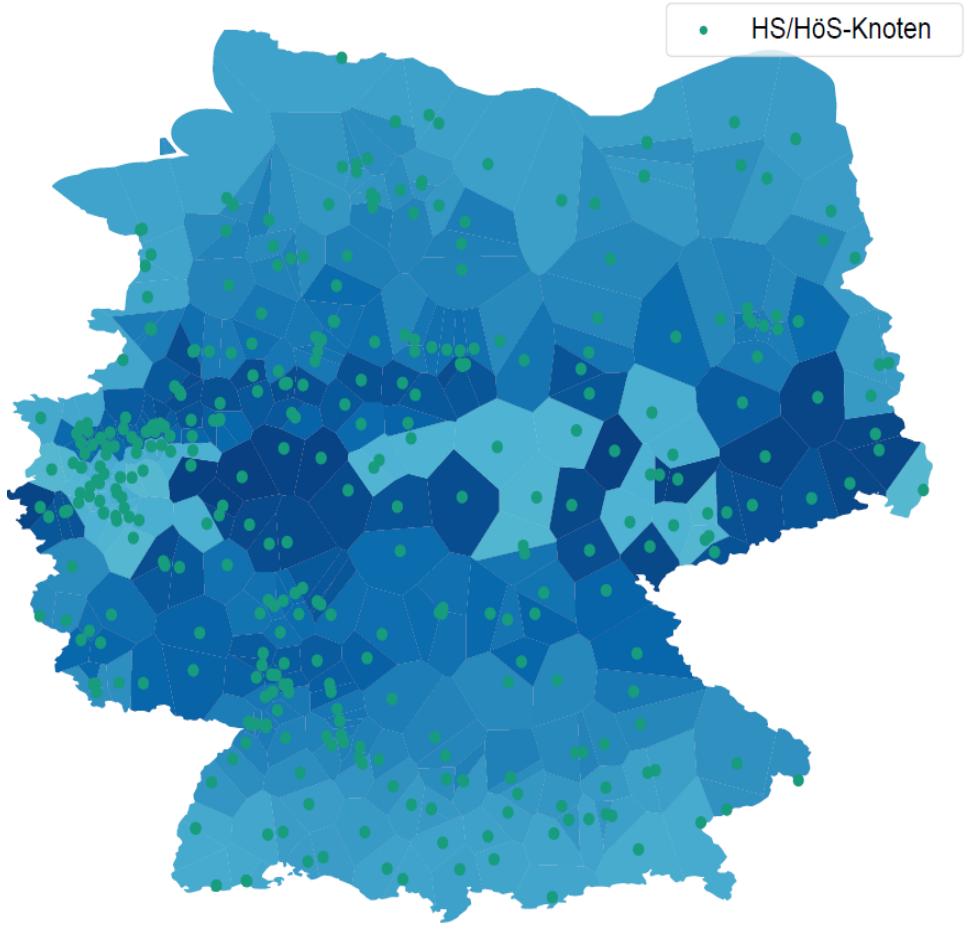
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Verbrauchszeitreihen

Kategorie	Typ	Datengrundlage
Sammelverbraucher	Haushalte	HTW-Berlin Datensatz (2010)
	Gewerbe und Industrie	SLP, angenähert mittels anonymisierter RLM-Profile (2016)
	Landwirtschaft	SLP, angenähert mittels anonymisierter RLM-Profile (2016)
Einzelverbraucher	Wärmepumpen (Luft- und Erdwärme)	Erstellt auf Basis der im Haushalt benötigten: ▪ Wärmeenergie (Trinkwarmwasser und Raumheizungsbedarf) ▪ technischen Rahmendaten ▪ Wärmequellen ▪ Betriebsmodi
	Elektrofahrzeuge	Erstellung nach Bottom-Up-Ansatz mittels: ▪ Heim- und Arbeitsplatzladeprofile ▪ Neuzulassung nach Fahrzeugmarken ▪ Durchscnittlicher Verbrauch ▪ Batteriegröße ▪ Verhalten des Nutzers

➔ Aggregierte Lastzeitreihen auf HöS, HS, und MS-Ebene



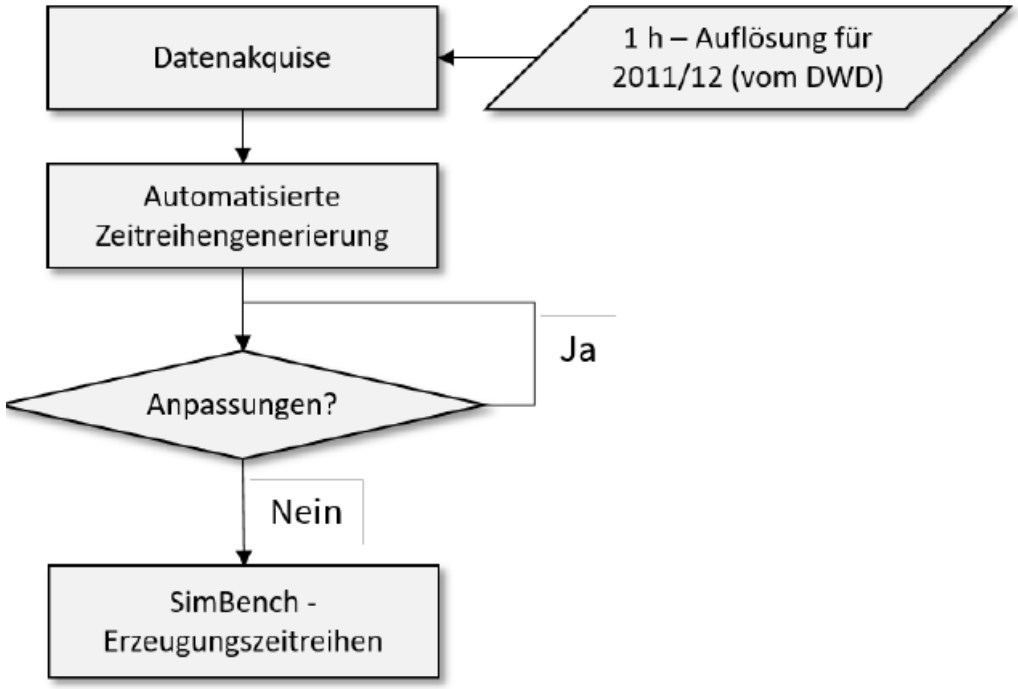
Beispiel: Voronoi-Polygone zu den entsprechenden HS/HöS-Knoten

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Einspeiseszeitreihen

Kategorie	Typ	Datengrundlage
Einspeiser	Windkraftanlagen	Erzeugung mittels SIMONA-Tool[1] und unter Berücksichtigung standortspezifischer Wetterdaten
	Photovoltaikanlagen	Erzeugung mittels SIMONA-Tool[1] und unter Berücksichtigung standortspezifischer Wetterdaten
	Biomasseanlagen	Erzeugung mittels SIMONA-Tool[1] und unter Berücksichtigung standortspezifischer Wetterdaten
	Wasserkraftwerke	Erzeugung mittels SIMONA-Tool[1] und unter Berücksichtigung standortspezifischer Wetterdaten
Prosumer	Batteriespeicher	Speicher zur Steigerung des Eigenverbrauchs erzeugter PV-Energie: ▪ Kopplung der einzelnen PV-Zeitreihen mit den Lastzeitreihen Netzdienlich betriebene Speicher: ▪ Ausgehend von den einzelnen Wind- und PV-Zeitreihen wird ca. 3% der Gesamtenergie abgeregelt ▪ Es wird von optimaler Dimensionierung der Speicher ausgegangen



Generierungsmehtodik der Erzeugungszeitreihen mittels SIMONA

[1] SIMONA: https://ie3.etit.tu-dortmund.de/labs-tools/simona/

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Szenarien

Betrachtete Szenarien:

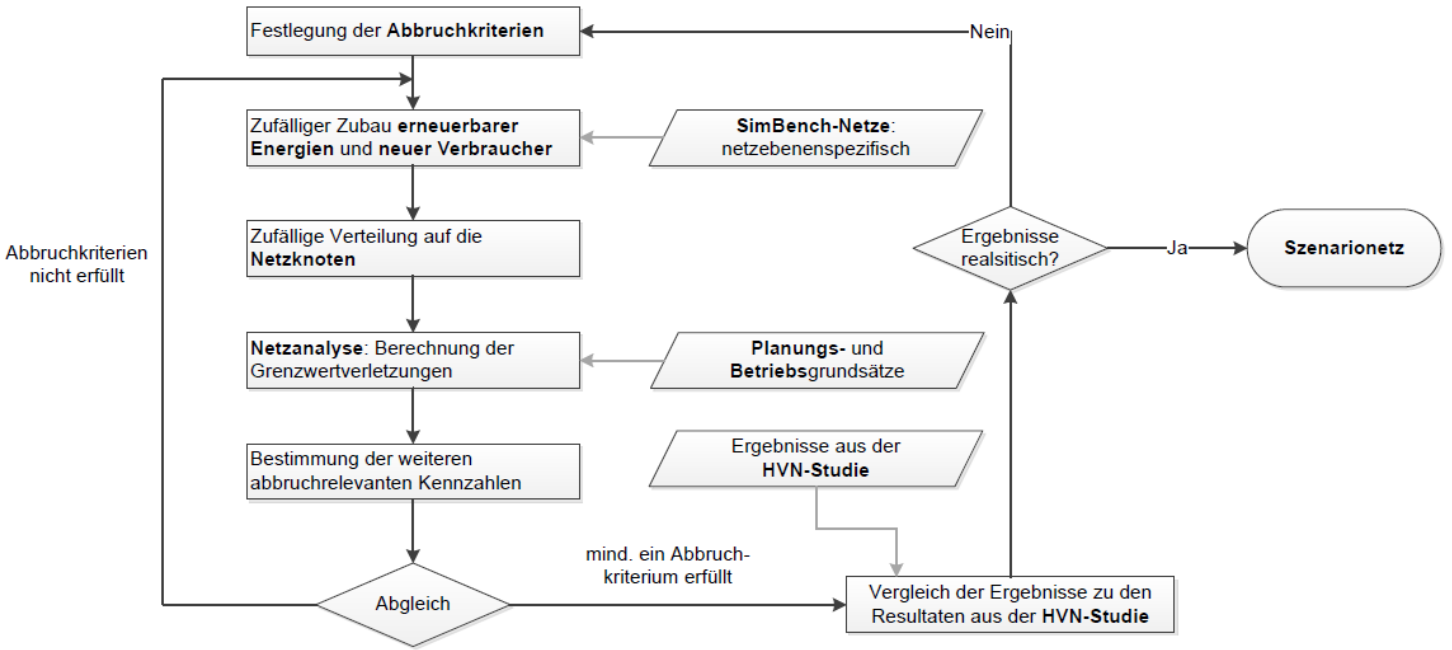
- Heute (Entsprechend der Daten, 2016)
- Morgen (2024)
- Übermorgen (2034)

Abbruchkriterien:

- Orientierung an Hessenverteilnetzstudie und Netzentwicklungsplan
- Überlastung von Leitungen und Transformatoren
- PV- / Wind-Zubau
- E-KFZ Hochlauf

Validierung:

- Vergleich mit den Ergebnissen der Hessenverteilnetzstudie[1]



Ablaufdiagramm zur Erstellung der Entwicklungsszenarien

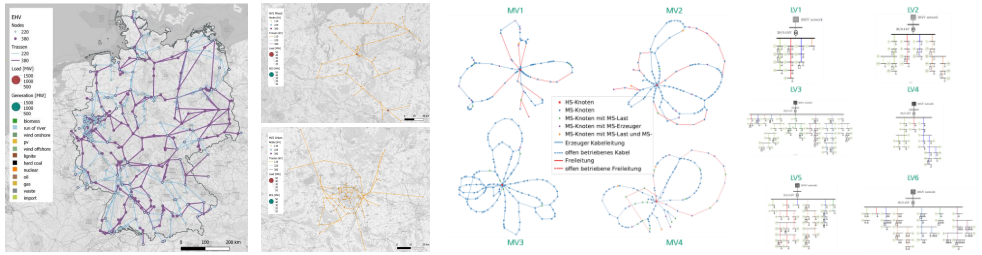
[1] Hessenverteilnetzstudie: https://www.iee.fraunhofer.de/de/anwendungsfelder/energienetze/verteilnetzstudie-hessen.html

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

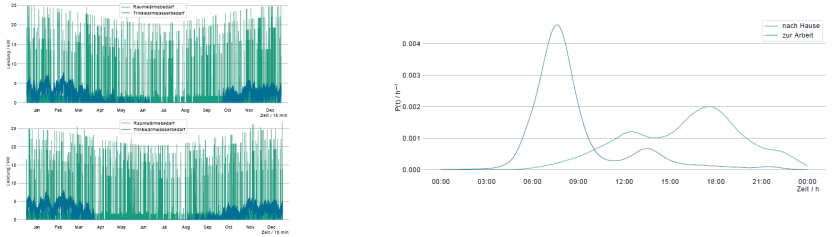
SimBench

Ergebnisse – Netzmodell Kombinationen

Topologie



Komponenten



Szenarien

- Heute (2016)
- Morgen (2024)
- Übermorgen (2034)

Einzigartigkeit der Netzmodelle über SimBench-Code:

SimBench Version

Urbanisierungscharakter der höchsten Spannungsebene

Welches Entwicklungsszenario (0: heute, 1:“morgen“, 2: „übermorgen“)

z.B. 1-HVMV-mixed-1.101-0-sw

Schalterrepräsentation:
sw: vollständig
no_sw: nur offene Leitungs- und Transformator-Schalter

Ausgewählte Spannungs-Ebenen

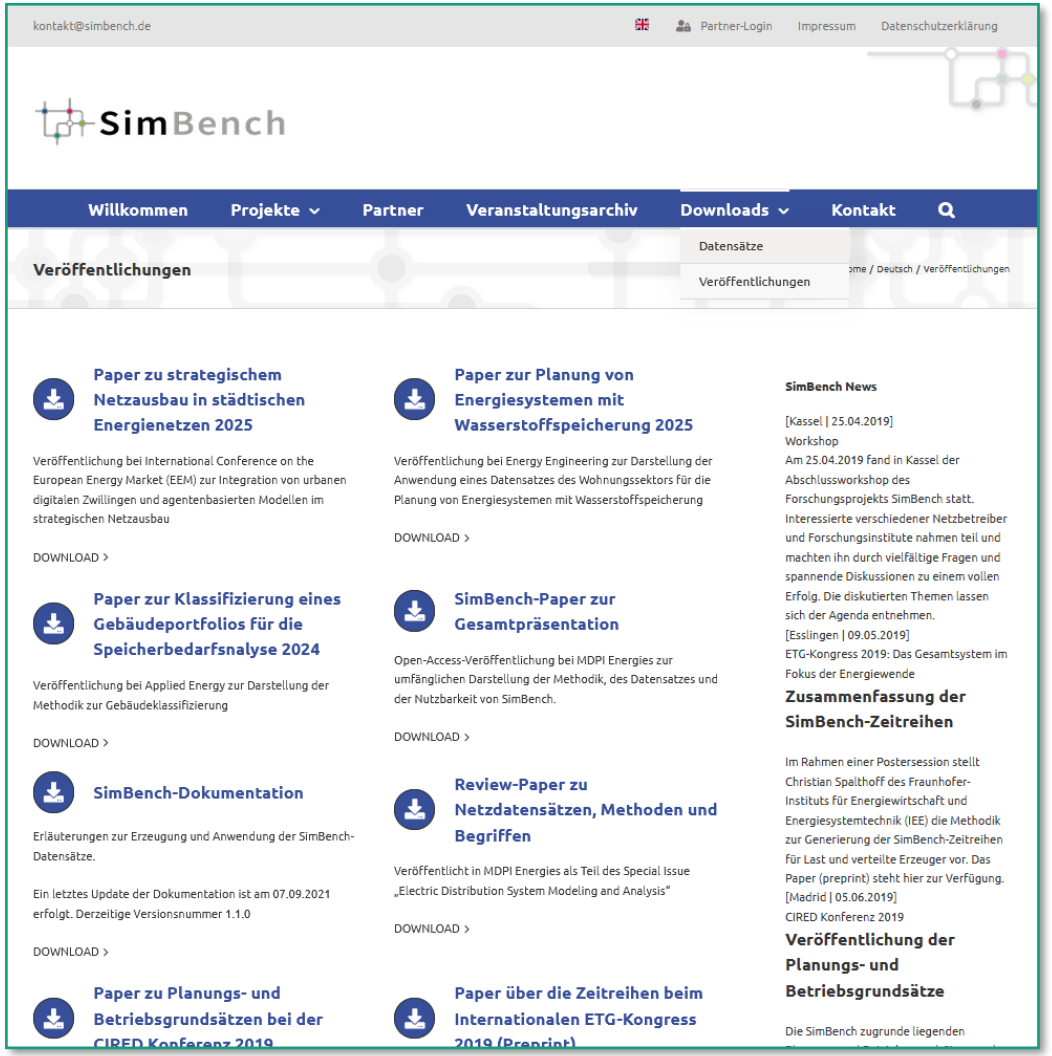
subnet des nachgelagerten Netz

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Veröffentlichung - Paper

- 2017
  - IEWT: “Generierung von Benchmark-Modellnetzen in der Hochspannungsebene auf Basis öffentlich verfügbarer Daten”
- 2018
  - Eninnov: “Einfluss der Modellierungsgenauigkeit des Höchstspannungsnetzes auf die Simulation von Hochspannungsnetzen“
  - IEEE PES ISGT Europe: “k-means based identification of common supply tasks for low voltage grids”
  - NEIS: “Power System Benchmark Generation Methodology”
- 2019
  - ETG-Kongress: “SimBench: Open source time series of power load, storage and generation for the simulation of electrical distribution grids”
  - CIRED: “GENERAL PLANNING AND OPERATIONAL PRINCIPLES IN GERMAN DISTRIBUTION SYSTEMS USED FOR SIMBENCH”
- 2020
  - Energies: “Review of Steady-State Electric Power Distribution System Datasets“
  - Energies: “SimBench - A Benchmark Dataset of Electric Power Systems to Compare Innovative Solutions Based on Power Flow Analysis”
- 2021
  - „SimBench – Dokumentation 1.0.1“

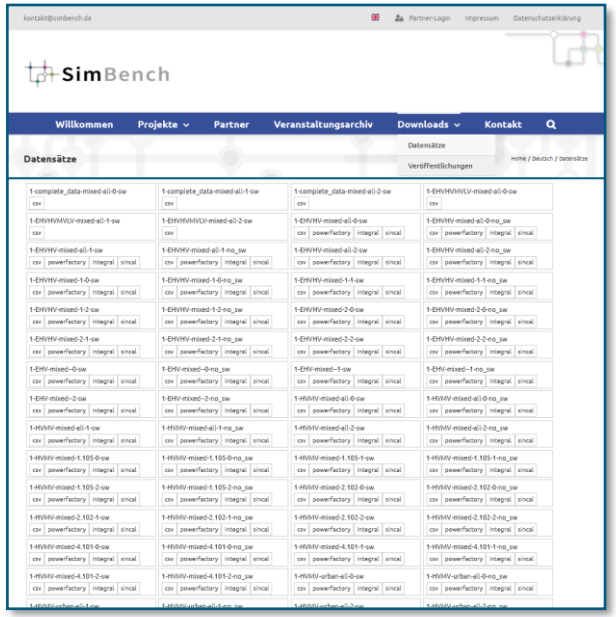


simbench.de/de/veroeffentlichungen/

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench

Veröffentlichung - Daten



Homepage

simbench.de/de/datensaetze/

Formate:

- csv
- powerFactory
- Integral
- sincal

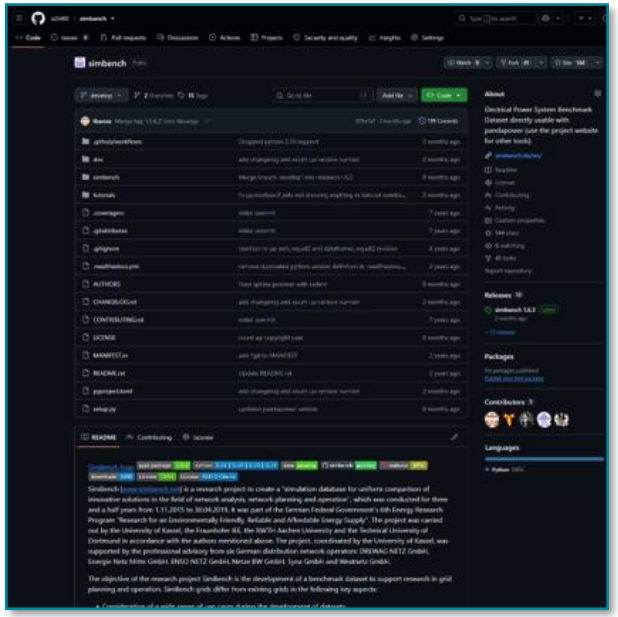


DAKS

simbench.de/de/datensaetze/

Formate:

- csv
- powerFactory
- Integral
- sincal



Github

github.com/e2nIEE/simbench

Formate:

- Python-package
- Pandapower

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Datensätze

Nutzungsstatistik
(Tobias Banze)

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Datensätze

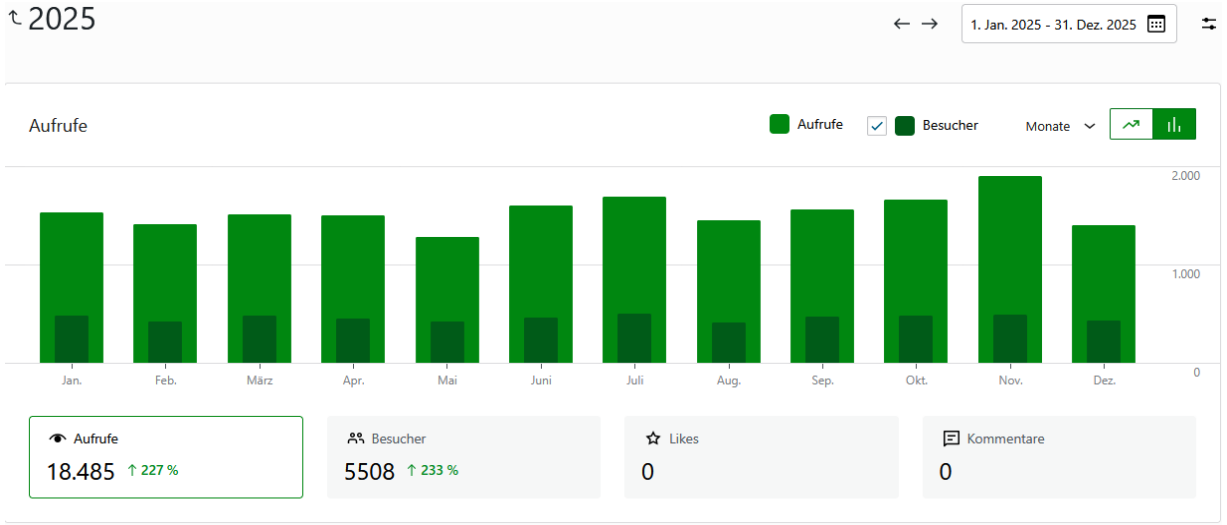
Nutzung der verschiedenen Kanäle

Webseite: simbench.de

Ø 459 Besucher / Monat (2025)

Ø 1540 Aufrufe / Monat (2025)

➔ 3,36 Aufrufe pro Besucher



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Datensätze

Nutzung der verschiedenen Kanäle

Webseite: simbench.de

Ø 459 Besucher / Monat (2025)

Ø 1540 Aufrufe / Monat (2025)

➔ 3,36 Aufrufe pro Besucher

Datenrepo DAKS: 10.48662/daks-48

Ø 22,6 Aufrufe / Monat (ab 04/26)

6172 Aufrufe der Top 10 Datensätze

Aufrufe pro Monat

	Aufrufe
April 2026	5
May 2026	31
June 2026	29
July 2026	12
August 2026	15
September 2026	23
October 2026	43

Datei-Aufrufe

	Aufrufe
1-LV-urban6--0-sw.zip	2228
simbench_datalinks.csv	1404
1-complete_data-mixed-all-0-sw.zip	734
1-complete_data-mixed-all-2-sw.zip	386
1-LV-rural1--0-sw.zip	290
1-MVLV-rural-all-0-sw.zip	282
1-MVLV-comm-4.416-0-sw.pfd	221
1-EHVHVMVLV-mixed-all-0-sw.zip	210
1-complete_data-mixed-all-1-sw.zip	209
1-MVLV-comm-3.403-0-sw.zip	208

Statistik: https://daks.uni-kassel.de/statistics/entities/dataset/43261438-4eaa-4c2e-85d9-6d720ba00f73

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

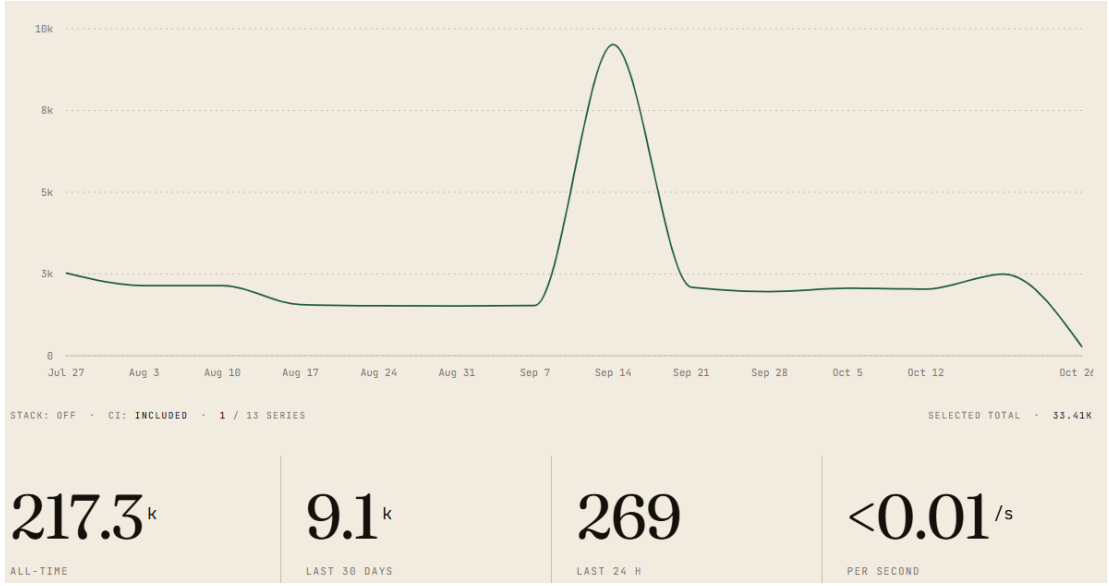
SimBench Datensätze

Nutzung der verschiedenen Kanäle

Webseite: simbench.de
Ø 459 Besucher / Monat (2025)
Ø 1540 Aufrufe / Monat (2025)
➔ 3,36 Aufrufe pro Besucher

Datenrepo DAKS: 10.48662/daks-48
Ø 22,6 Aufrufe / Monat (ab 04/26)
6172 Aufrufe der Top 10 Datensätze

Python Package: github.com/e2nIEE/simbench
217.253 Downloads (stand 10/26)



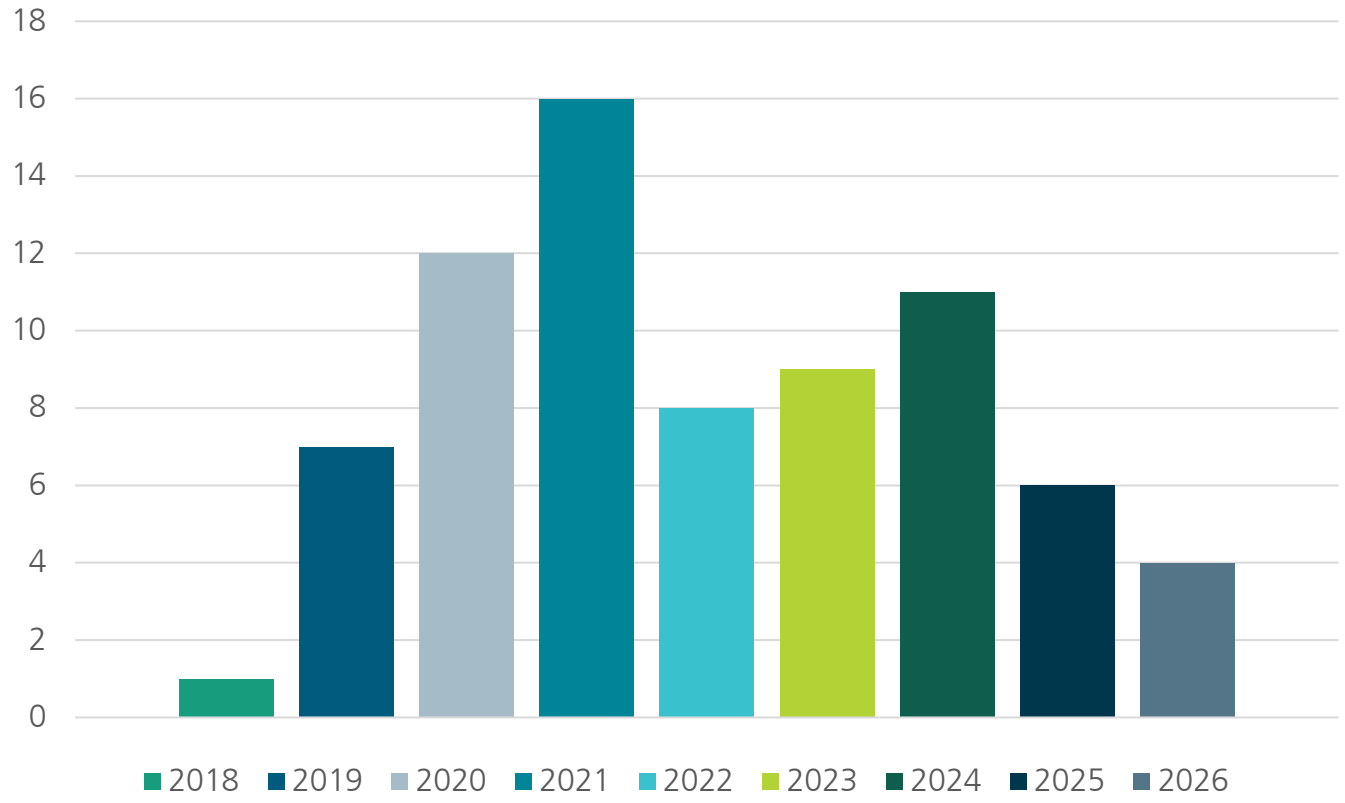
Statistik: https://pepy.tech/project/simbench

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

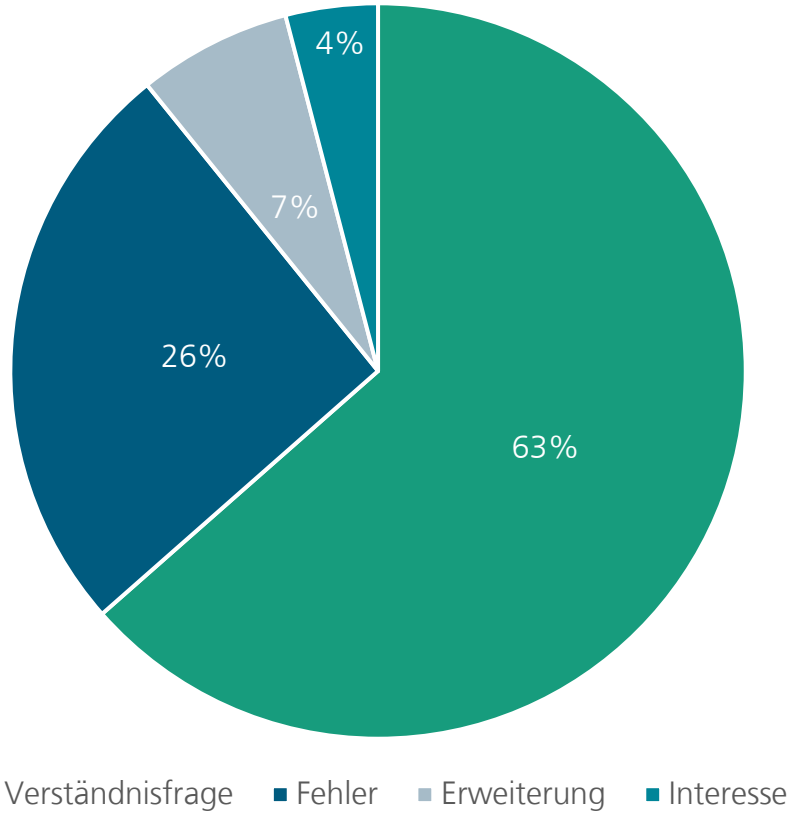
SimBench Datensätze

Kontaktanfragen Übersicht (Stand 04/26)

Kontaktanfragen pro Jahr



Anfragen nach Typ



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Datensätze

Kontaktanfragen Übersicht (Stand 04/26)

Universitäten / Hochschulen (National)

Universitäten / Hochschulen (International)

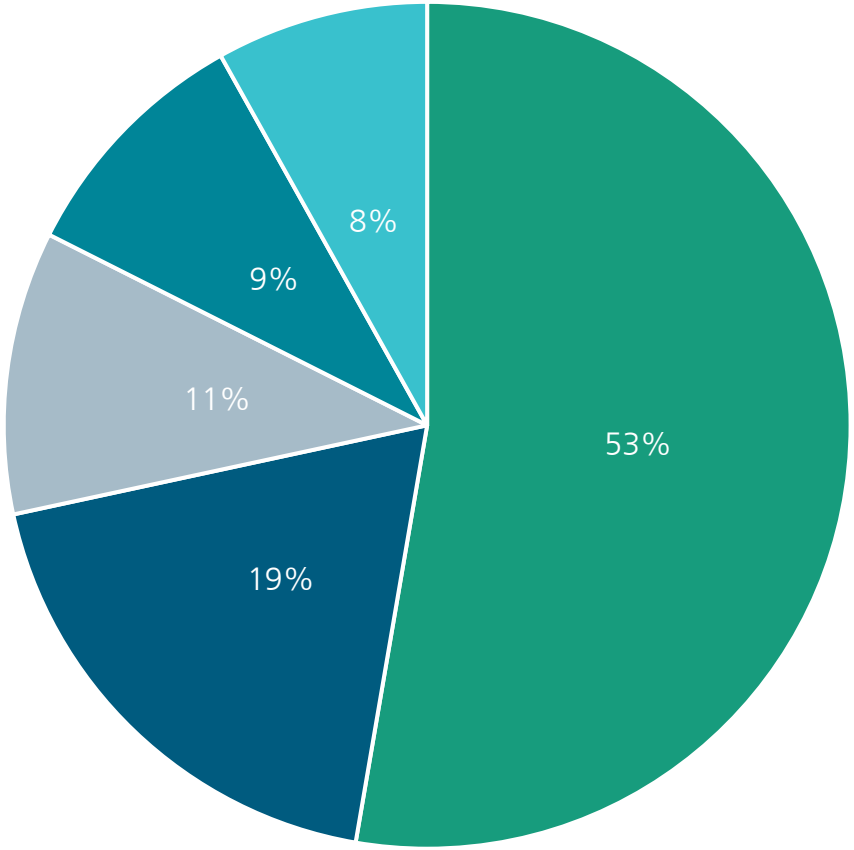
Indien, Türkei, Österreich, Schweiz, Dänemark, Australien, Spanien, Iran

Forschungseinrichtungen

Unternehmen

Privat

Anfrage nach Bereich



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

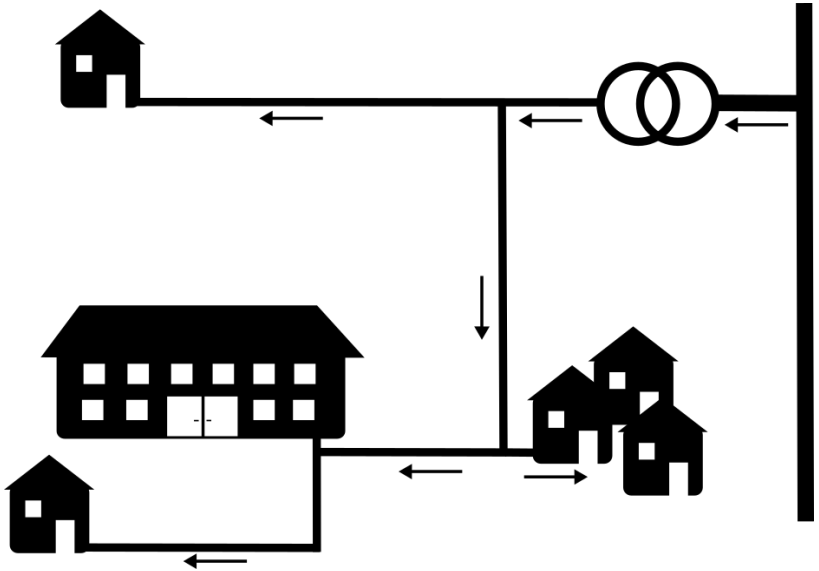
SimBench Datensätze - Anwendungsbeispiel

Analyse von Betriebs- und Positionierungsstrategien für Batteriespeicher-systeme in Niederspannungsnetzen im regenerativen und sektoren-gekoppelten Energiesystem

(Tabea Katerbau, Ricardo Reibsch, Julia Kowal)

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Einleitung



Konventionelles Energiesystem:

- Zentrale Kraftwerke
- Uni-direktionaler Lastfluss

Abb. 1: Niederspannungsnetz im konventionellen Energiesystem

Einleitung

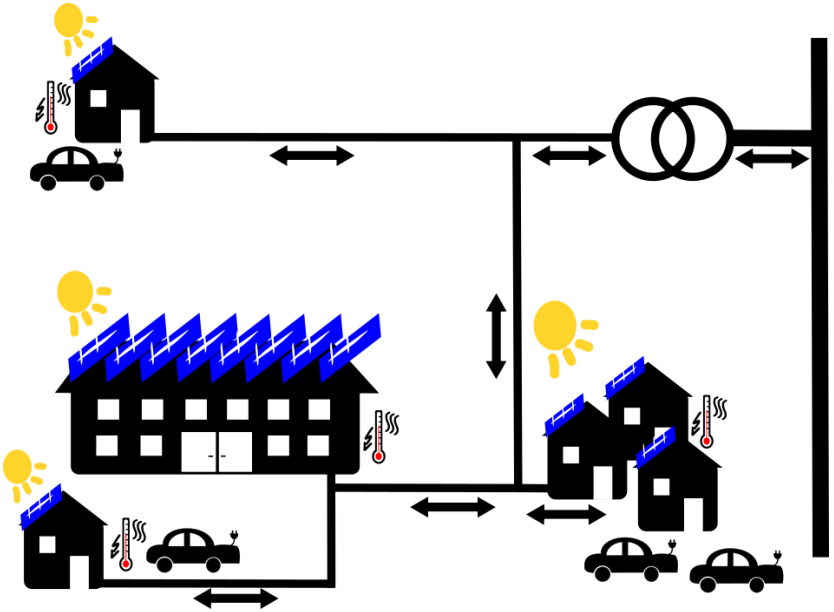


Abb. 2: Niederspannungsnetz im regenerativen und sektorengekoppelten Energiesystem

Konventionelles Energiesystem:

- Zentrale Kraftwerke
- Uni-direktionaler Lastfluss

Regeneratives und sektoren-gekoppeltes Energiesystem:

- Dezentrale Anlagen
- Bi-direktionaler Lastfluss
- Höherer Strombedarf im Vergleich zum konventionellen Energiesystem

Einleitung

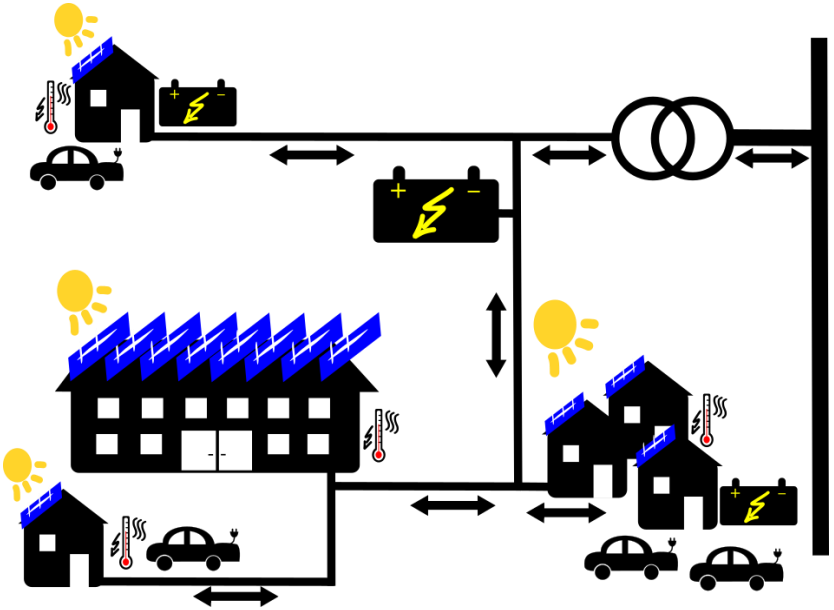


Abb. 3: Niederspannungsnetz im regenerativen und sektorengekoppelten Energiesystem mit Heim- und Quartiers-Batteriespeichersystemen

Batteriespeichersysteme (BSSs):
Ausgleich von Stromerzeugung und –verbrauch

→ Integration Erneuerbarer Energien

→ Versorgungssicherheit

Forschungsfragen

- Welchen Einfluss hat die **Positionierung** und **Betriebsweise** von Batteriespeichersystemen auf …
  - die Spannungshaltung und Betriebsmittelbelastung
  - den lokalen Erzeugungsausgleich

  … in Niederspannungsnetzen im regenerativen und sektorengekoppelten Energiesystem?

- Wie unterscheiden sich die Ergebnisse **in ruralen und suburbanen Niederspannungsnetzen**?

Methodik: Modellierung

Untersuchungsgegenstand:

- 5 Niederspannungsnetze (SimBench)
  - 3 x rural
  - 2 x suburban

Variation:

- 3 Positionierungsstrategien
- 3 Betriebsstrategien

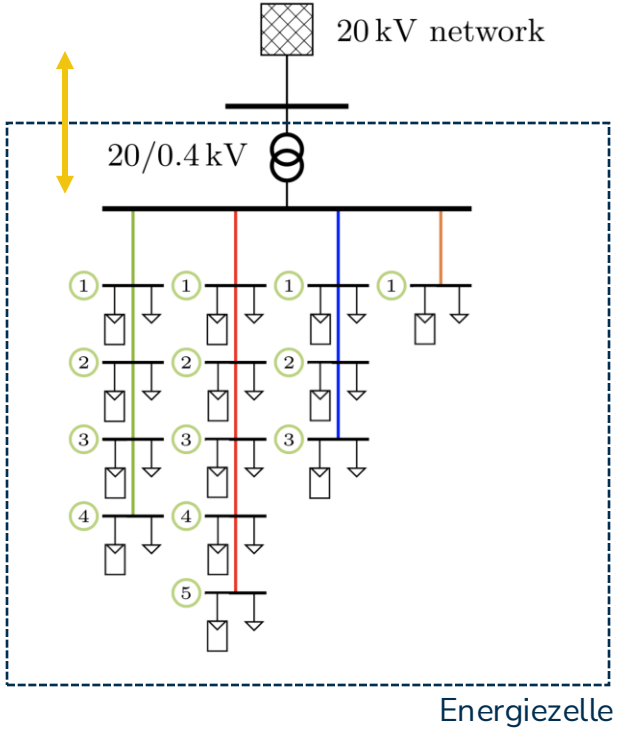
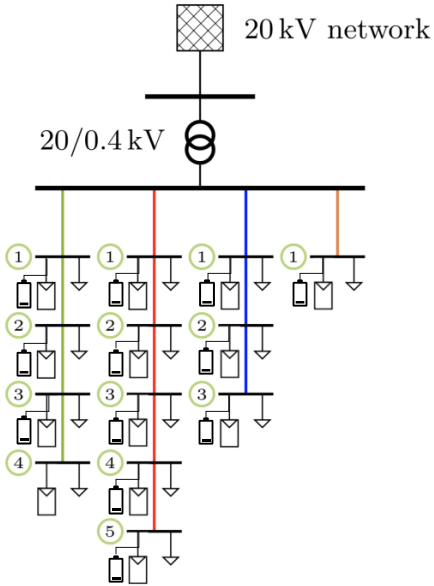


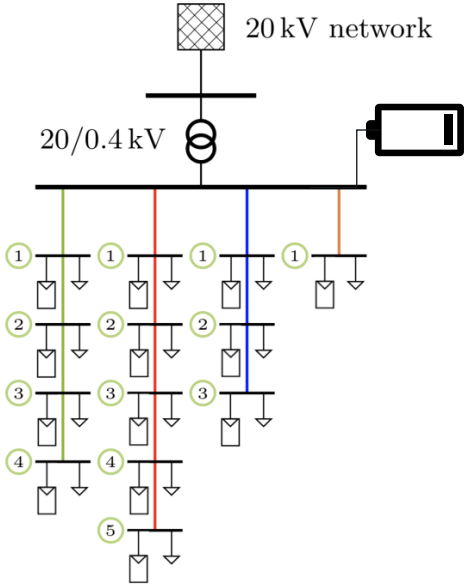
Abb. 4: Energiezellenmodell [Meinecke et al., 2020] (Eigene Bearbeitung)

Methodik: Positionierung

Pro Haushalt



Niederpannungs-sammelschiene



Innerhalb der Netzstränge

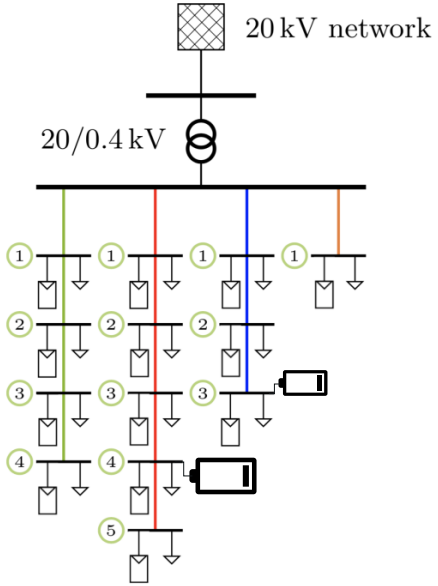
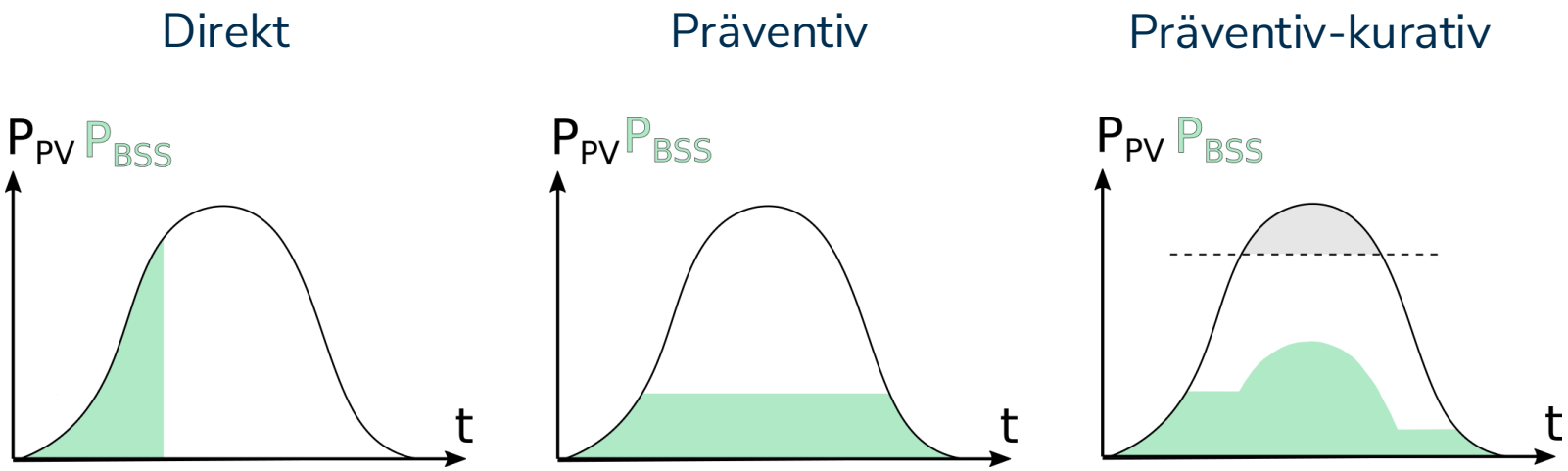


Abb. 5: Positionierungsstrategien für Batteriespeichersysteme in einem Niederspannungsnetz [Meinecke et al., 2020] (Eigene Bearbeitung)

Methodik: Betriebsstrategien



P_{PV}	Elektrische Leistung der Photovoltaik-Anlage
P_{BSS}	Ladeleistung des Batteriespeichersystems
t	Zeit

Fig. 6: Charakteristik verschiedener Betriebsstrategien

Methodik: Untersuchungsszenarien

Tab. 1: Vergleichsmethodik und dazugehörige Kombinationen der Betriebs- und Positionierungsstrategien

	Position	Betrieb	Vergleichsmethodik		
Szenarien	-	-	Betriebsstrategien	Positionierung	Referenz- und BSS-Szenarien
	HBSS	Direkt			
	HBSS	Präventiv			
	HBSS	Präventiv-kurativ			
	CBSS LVBB	Präventiv-kurativ			
	CBSS line	Präventiv-kurativ			

HBSS: Heimspeicher
CBSS: Quartiersspeicher
LVBB: Niederspannungs-sammelschiene

Methodik: Lastflusssimulationen

Zeitliche Parameter:

- Zeiträume: Eine Woche im Frühling, Sommer, Herbst und Winter
- Auflösung: 1 min

Bewertungskriterien:

- Netzbelastung:
  - Knotenspannungen
  - Leitungs- und Transformatorbelastung
- Abregelungsverluste
- Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad

Ergebnisse

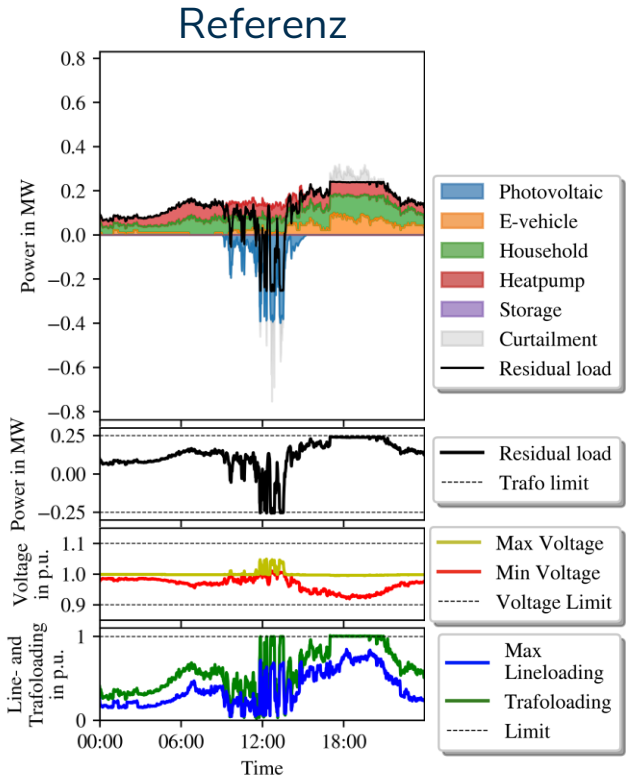


Abb. 7: Referenz-Szenario and Szenarien mit Heimspeichern und verschiedenen Betriebsstrategien im Vergleich: kumulierte Leistungen, Residuallast und Netzzustände an einem Tag im Winter in einem ruralen Niederspannungsnetz

Ergebnisse

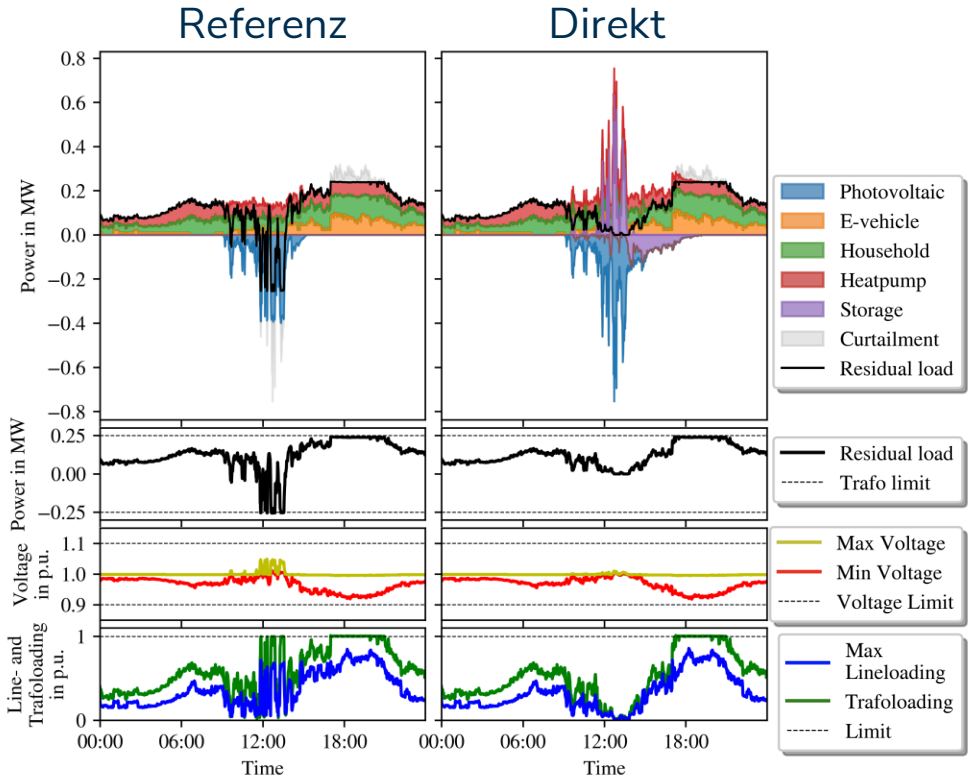


Abb. 7: Referenz-Szenario and Szenarien mit Heimspeichern und verschiedenen Betriebsstrategien im Vergleich: kumulierte Leistungen, Residuallast und Netzzustände an einem Tag im Winter in einem ruralen Niederspannungsnetz

Ergebnisse

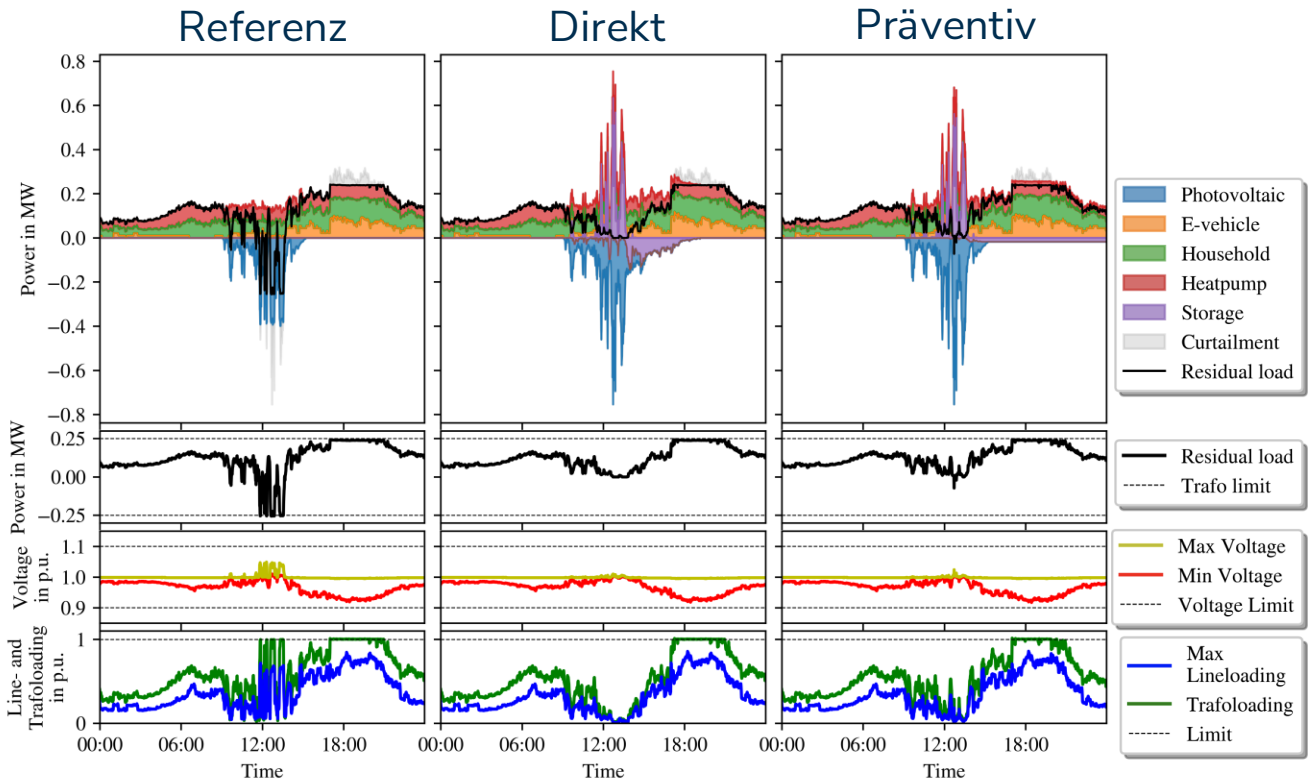


Abb. 7: Referenz-Szenario and Szenarien mit Heimspeichern und verschiedenen Betriebsstrategien im Vergleich: kumulierte Leistungen, Residuallast und Netzzustände an einem Tag im Winter in einem ruralen Niederspannungsnetz

Ergebnisse

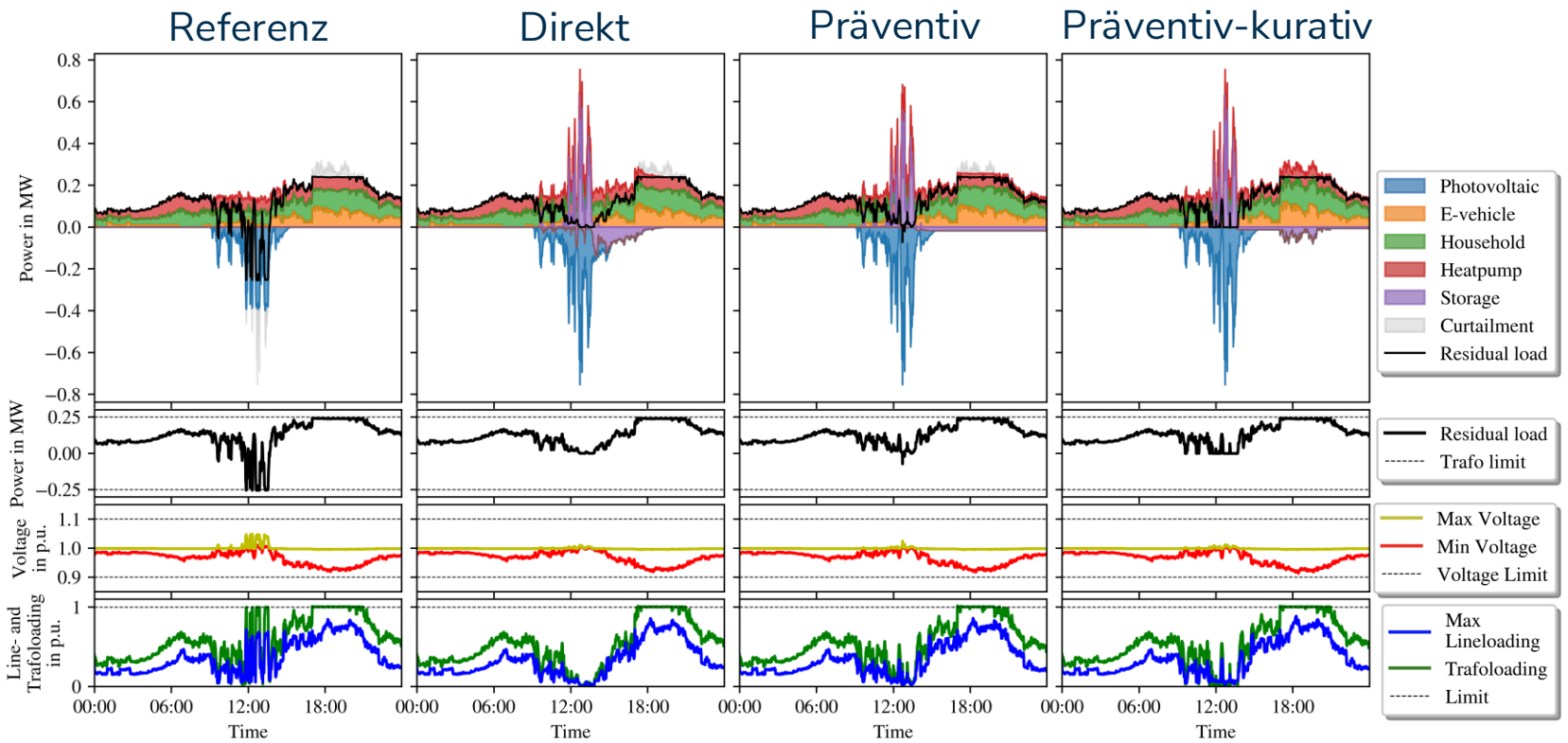
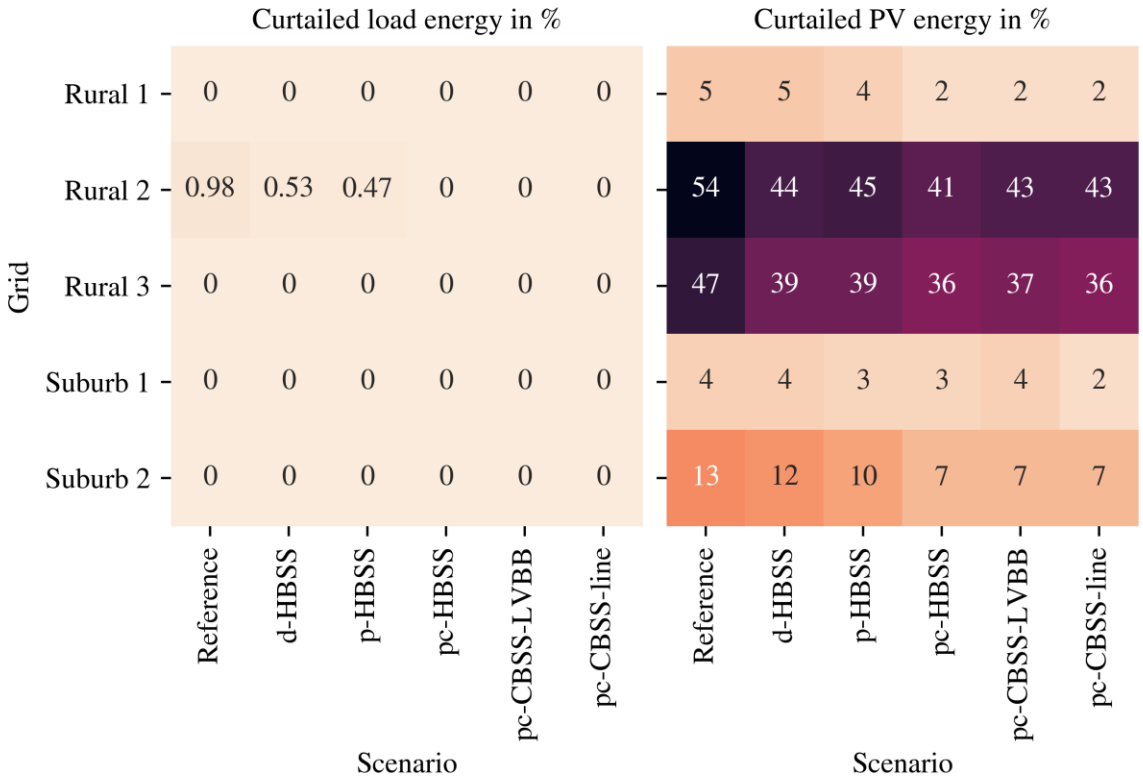


Abb. 7: Referenz-Szenario and Szenarien mit Heimspeichern und verschiedenen Betriebsstrategien im Vergleich: kumulierte Leistungen, Residuallast und Netzzustände an einem Tag im Winter in einem ruralen Niederspannungsnetz

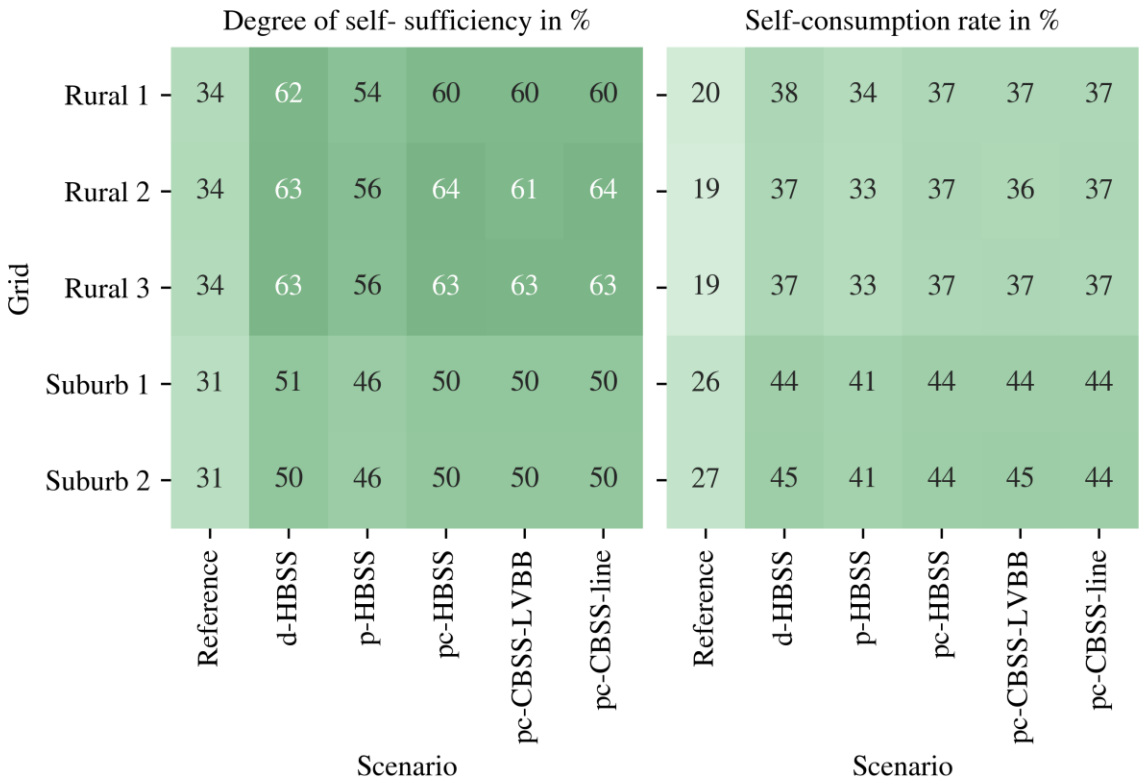
Ergebnisse



PV	Photovoltaik
HBSS	Heimspeicher
CBSS	Quartiersspeicher
d	direkt
p	präventiv
p-c	präventiv-kurativ
LVBB	Niederspannungs-sammelschiene

Abb. 8: Vergleich der Abregelungsverluste in verschiedenen Nieder-spannungsnetzen und Szenarien

Ergebnisse



PV	Photovoltaik
HBSS	Heimspeicher
CBSS	Quartiersspeicher
d	direkt
p	präventiv
p-c	präventiv-kurativ
LVBB	Niederspannungs-sammelschiene

Abb. 9: Vergleich der Autarkie-grade und Eigenverbrauchs-anteile in verschiedenen Nieder-spannungsnetzen und Szenarien

Fazit

- **Positionierung:** Der Einfluss der Positionierung auf Abregelung und Eigenverbrauch ist gering.
- **Betriebsstrategien:** Die präventiv-kurative Betriebsstrategie reduziert die Abregelung am stärksten bei gleichzeitig geringfügigen Einbußen beim Eigenverbrauch gegenüber der direkten Betriebsstrategie. Sie erfordert jedoch eine digitale Vernetzung von Transformatoren und Speichern.
- **Rurale und suburbane Netze:**
  - Die untersuchten Netze sind unterschiedlich von Photovoltaik-Einspeisung und steigendem Bedarf an elektrischer Energie betroffen.
  - Die Integration von BSSs führt in allen untersuchten Netzen sowohl zu einer Erhöhung des Eigenverbrauchs als auch zu einer Netzentlastung.

Quellen

[Meinecke et al., 2020] Steffen Meinecke; Dzanan Sarajlic; Simon Ruben; Drauz; Annika Klettke; Lars-Peter Lauven; Christian Rehtanz; Albert Moser; Martin Braun. Simbench - A Benchmark Dataset of Electric Power Systems to Compare Innovative Solutions based on Power Flow Analysis. Energies, 13(12), 2020.

[Katerbau et al., 2023] Tabea Katerbau, Ricardo Reibsch, Julia Kowal, 2023. Analysis of Operating and Positioning Strategies of Home and Community Storage Systems in Low Voltage Grids in a Sector-Coupled and Renewable Energy System, in: Schossig, P., Droege, P., Riemer, A., Speer, M. (Eds.), Proceedings of the International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2022), Atlantis Highlights in Engineering. Atlantis Press International BV, Dordrecht, pp. 215–234. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-156-2_16



Lizenz
Sofern nicht anders angegeben, stehen dieses Werk und sein Inhalt (Texte und Abbildungen) unter der Lizenz Attribution 4.0 International (CC-BY-4.0).
Siehe Lizenztext für weitere Informationen.

Bitte zitieren als:
„Analyse von Betriebs- und Positionierungsstrategien für Batteriespeichersysteme in Niederspannungsnetzen im regenerativen und sektorengekoppelten Energiesystem (2026-11-06)“
© Reiner Lemoine Institut lizenziert CC-BY-4.0



Tabea Katerbau
Tel: +49 (0)30 1208 434 90
E-Mail: tabea.katerbau@rl-institut.de
Web: http://www.rl-institut.de

SimBench Datensätze - Anwendungsbeispiel

Probabilistische Vorhersagen für den Netzbetrieb in Übertragungsnetzen

(Leah Albrecht)

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Projektziel

Projektvorstellung ProMetheUs

Probabilistische Methoden für eine sichere Netzbetriebsplanung unter Unsicherheiten

- Entwicklung und Anwendung probabilistischer Verfahren zur Prognose von Leistungsflüssen
- Bestimmung von Leistungsflüssen mittels probabilistischer Netzberechnung
- Unsicherheiten bei der Auswahl von Engpassbehebungsmaßnahmen durch stochastische Optimierung minimieren
- Praxistauglichkeit der probabilistischen Verfahren prüfen

» **Im Rahmen des Gesamtvorhabens soll ein Paradigmenwechsel von deterministischen zu probabilistischen Ansätzen im Netzbetrieb stattfinden.«**

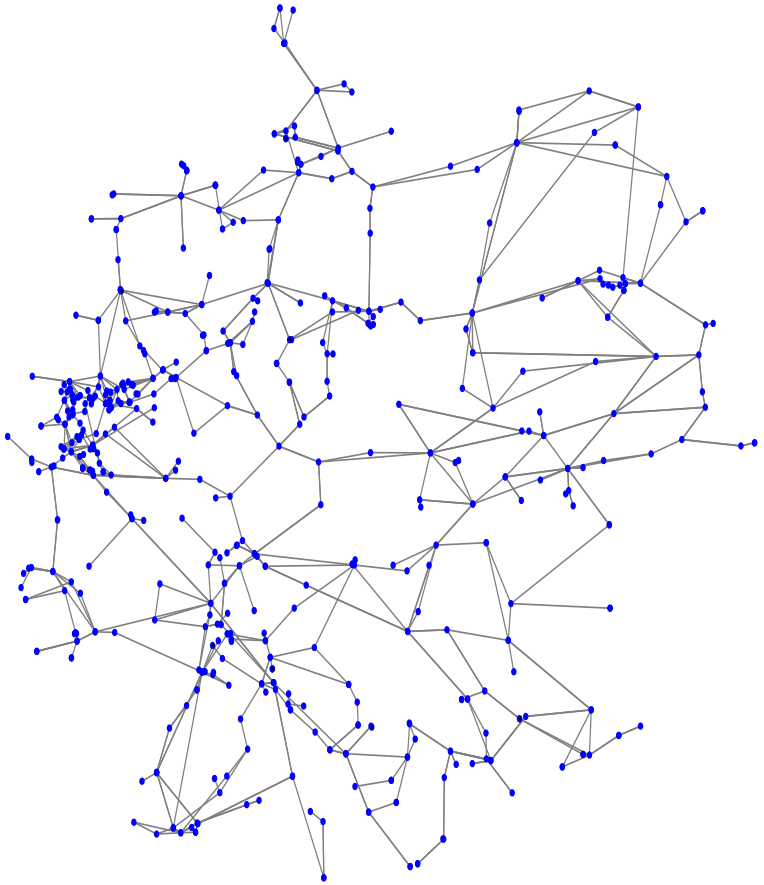
Projektvorstellung,
https://www.iee.fraunhofer.de/de/projekte/suche/2024/prometheus.html

© Fraunhofer IEE

Einsatz von Simbench

Beschreibung der Eingangsdaten

- Verwendetes Simbench-Netz: 1-EHV-mixed--0-no_sw
- Jahreszeitreihe für Erzeugung und Verbrauch aus den Daten des Netzes
- Für Wind und PV: Daten ersetzt durch Prognosedaten, die im Rahmen des ProMetheUs-Projekts entstanden sind
  - Deterministische Prognosen
  - Ensemble-Prognosen



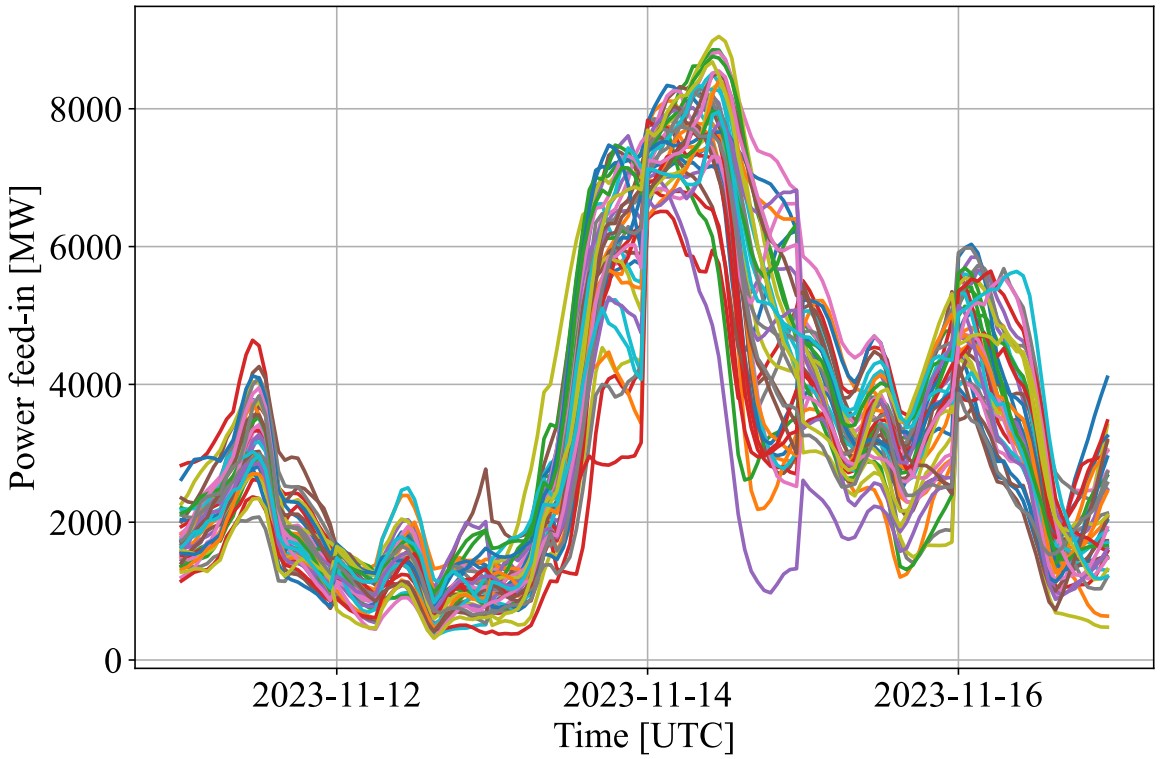
© Fraunhofer IEE

Anpassung der Erzeugungszeitreihen

Beschreibung der Eingangsdaten

Annahmen:

- An mehr Knoten EE installiert, als im ursprünglichen Simbench-Netz
- Gesamtsumme der EE-Kapazität wird im ersten Schritt auf Gesamtsumme der EE-Kapazität in Simbench skaliert
- Reduktion / Erhöhung der konventionellen Erzeugung bedingt durch neue EE-Daten wird auf alle Knoten mit konventioneller Erzeugung verteilt (P_min, P_max werden eingehalten)



Prognostizierte Einspeisung durch Wind und PV in einem spezifischen Zeitraum, basierend auf Ensemble-Prognosen [1]

© Fraunhofer IEE

Auswertungen
Ergebnisvorstellung

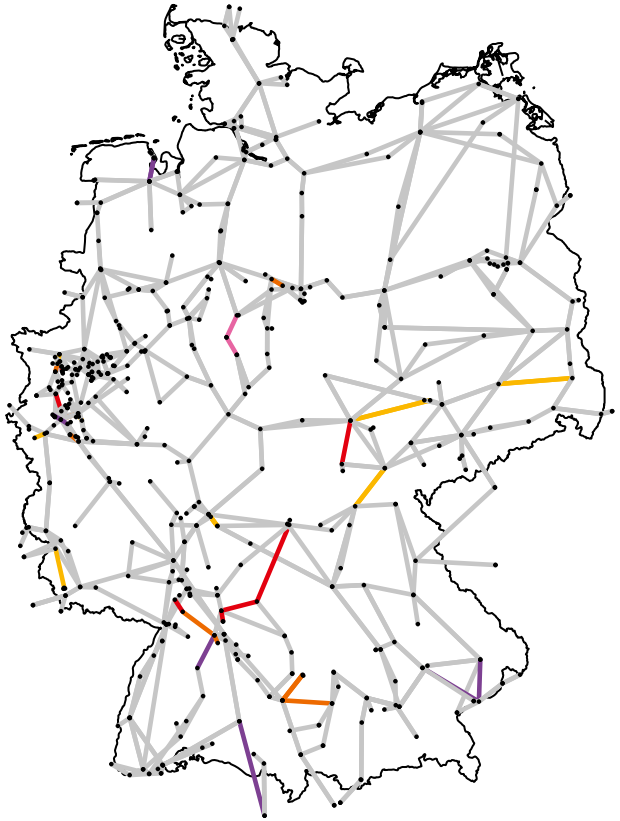
Grundsätzliche Überlegungen:

- Vergleich Leitungsauslastung unter Verwendung von:
  - der deterministischen Prognose
  - Ensemble-Prognosen
- Verschiedene Abbildungen, um Informationen der Auswertungen entsprechend darstellen zu können

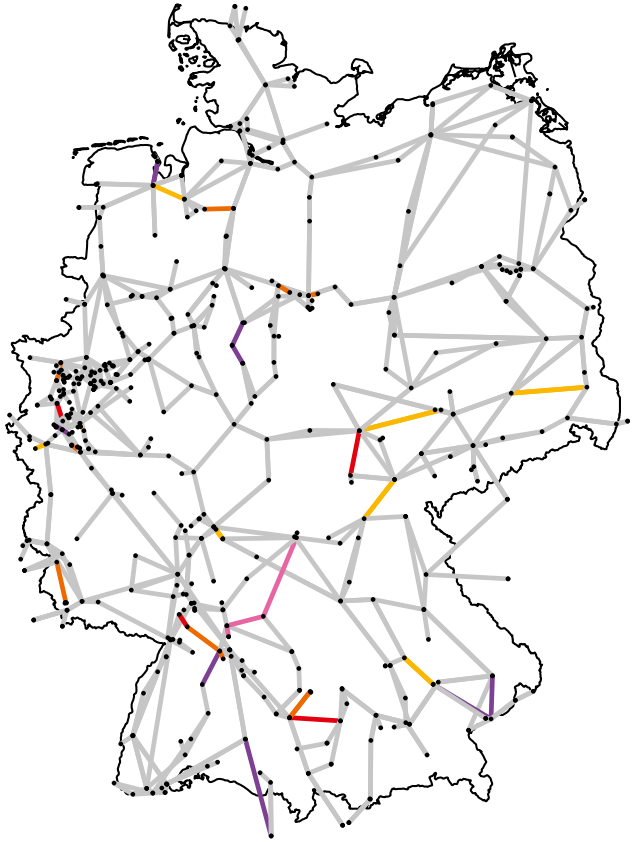
© Fraunhofer IEE

Auswertungen

Vergleich Mittelwert und Maximalwert für 14.11.2023, 17:00 UTC



Mittelwert der Leitungsauslastungen [1]

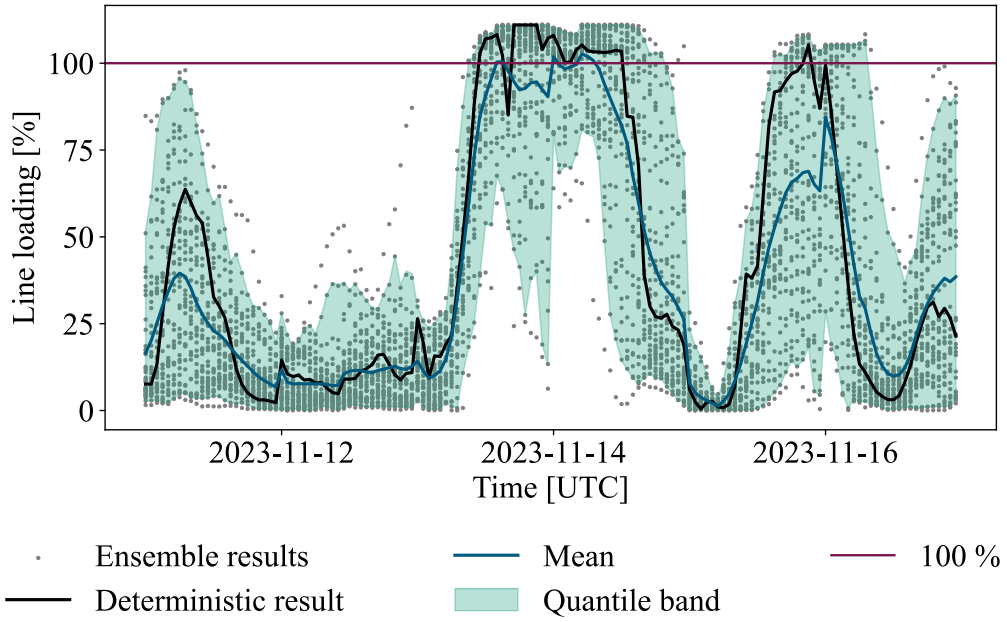


Maximalwert (über alle Ensemblember) der Leitungsauslastungen [1]

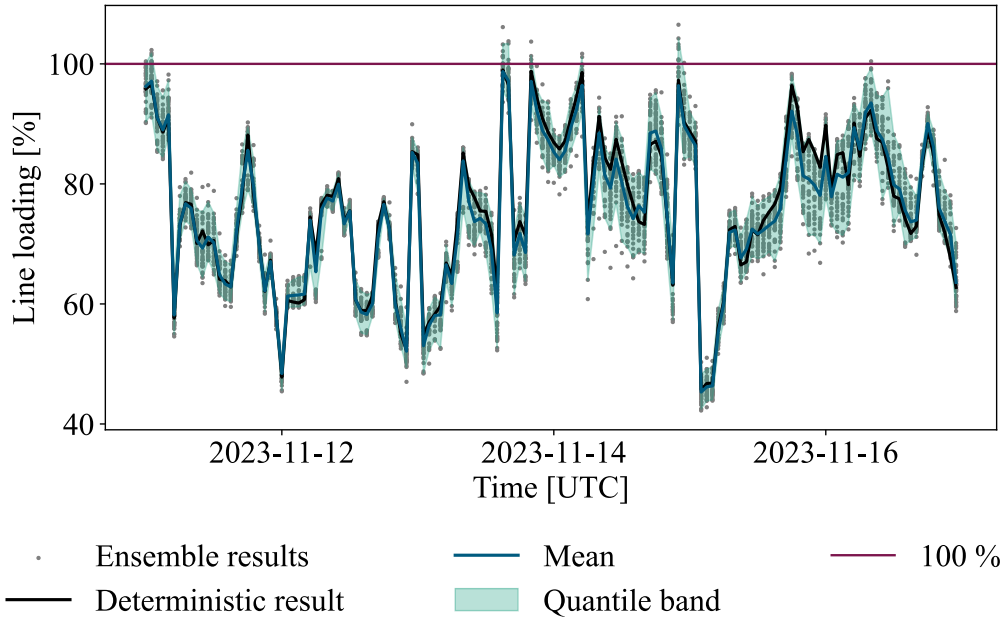
© Fraunhofer IEE

Auswertungen

Leitungen sind unterschiedlich stark von Einfluss der Ensemble betroffen



EHV Line 766: Vergleich Ensemblemeber, Quantile, Mittelwert und deterministische Prognose im ganzen Zeitraum [1]



EHV Line 557: Vergleich Ensemblemeber, Quantile, Mittelwert und deterministische Prognose im ganzen Zeitraum [1]

© Fraunhofer IEE

Quellen der Abbildungen

[1] Harms, Y., Albrecht, L., Hahn, P., Herzog, A.K., „Grid Operation Including Uncertainties From Solar and Wind Generation: A Case Study for the Transmission System of Germany“, in 25th Wind & Solar Integration Workshop, Porto, 2026

SimBench Datensätze - Anwendungsbeispiel

Lastflussapproximation mithilfe von GNNs

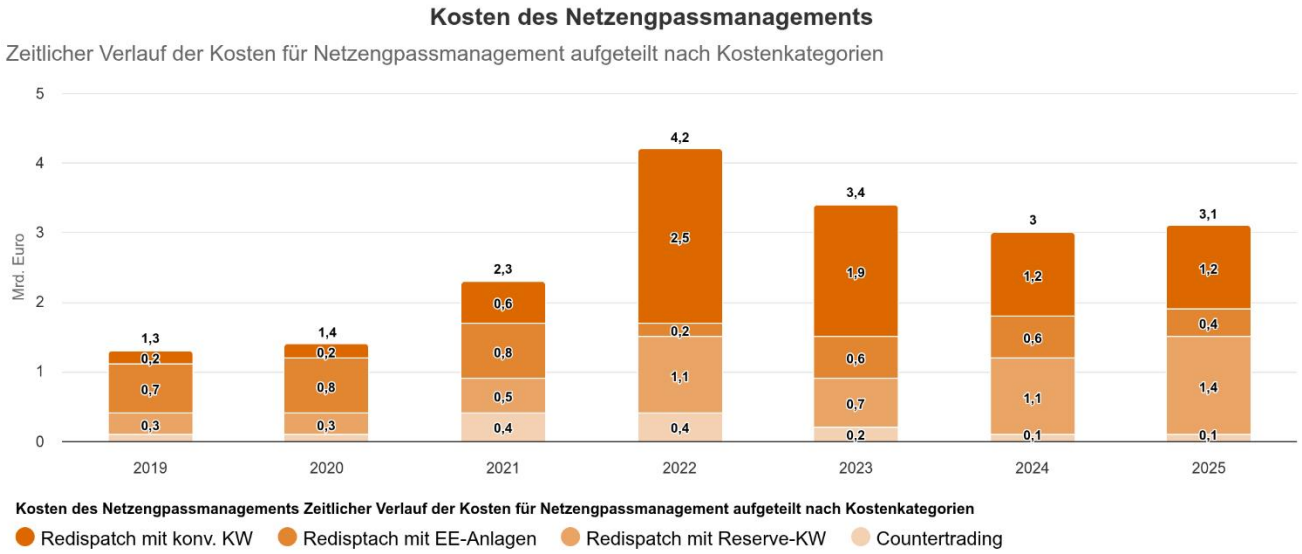
(Pawel Lytaev)

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Die Komplexität von Stromnetzen nimmt zu

- Schwankungen durch steigenden Anteil erneuerbarer Energien
- Erzeugung und Verbrauch sind schwieriger vorherzusagen durch Verbraucher und dezentrale Stromerzeugung

→Engpässe nehmen zu
→Redispatch vermehrt notwendig
→Hohe Kosten durch Redispatch

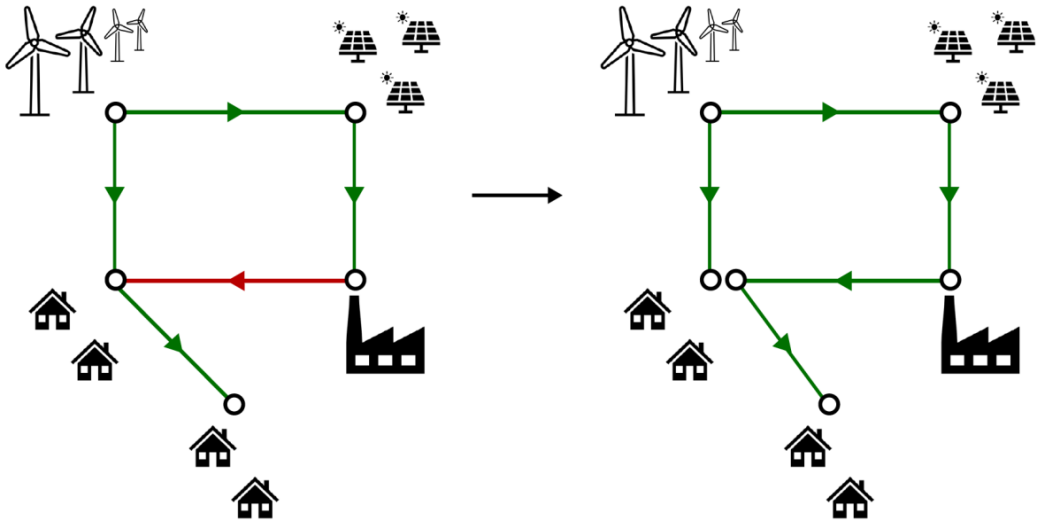


Quelle: https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/219906/massnahmenvolumen-im-gesamtjahr-stabil

Mögliche Lösung: Topologieoptimierung

Topologieoptimierung statt Redispatch

- Topologische Operationen verändern den Lastfluss
- Optimierung der Netzauslastung durch intelligentes Schalten



ABER

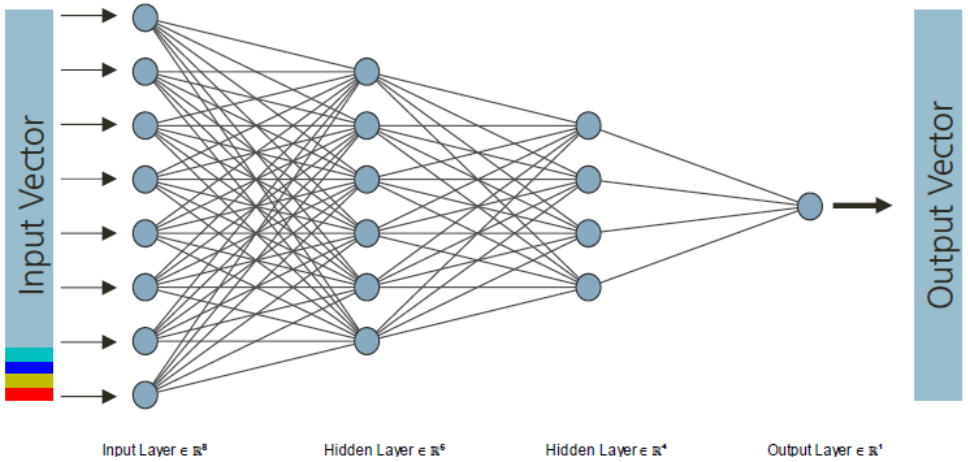
- Anzahl möglicher Topologien steigt exponentiell mit der Netzgröße
- jede mögliche Topologie muss mithilfe von (N-1)-Lastflussrechnungen überprüft werden
- Numerische Methoden (Newton-Raphson) stoßen hier an ihre Grenzen

→Topologischen Maßnahmen wegen des Rechenaufwands wenig genutzt

Mögliche Lösung: Beschleunigung der Lastflussrechnung mithilfe von GNNs

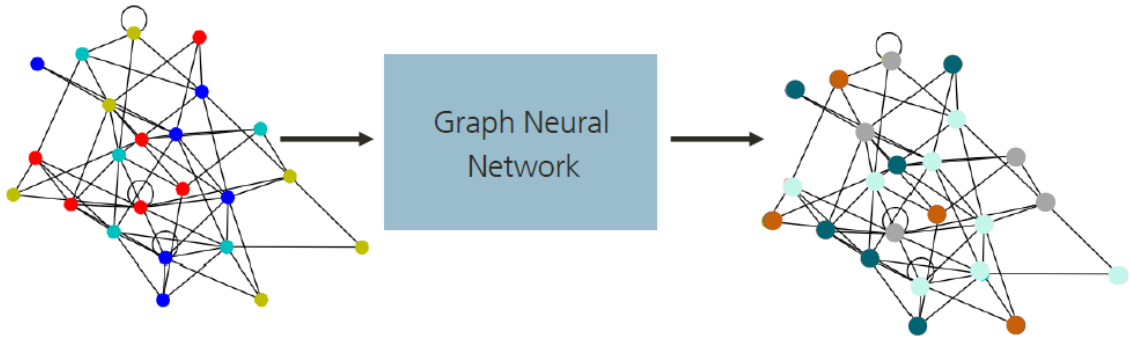
GNNs zur Lastflussapproximation

Herkömmliche neuronale Netze



- Knoten werden als unabhängige Sample betrachtet und konkateniert
- keine Berücksichtigung der Netzstruktur

Graph Neural Networks



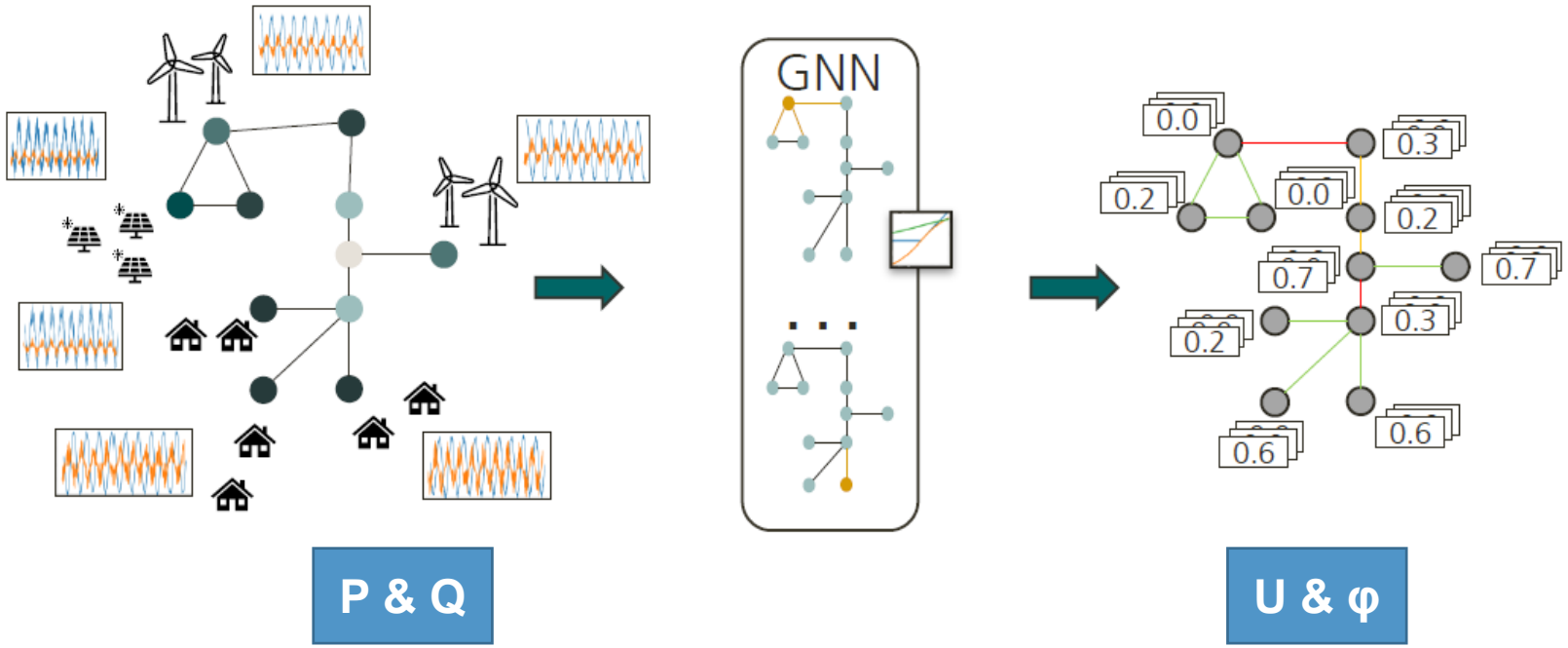
- Graphstruktur wird erhalten
- Beziehungen zwischen Knoten kann genutzt werden

GNNs zur Lastflussapproximation

Ziel: Beschleunigung der Lastflussrechnungen mit GNNs

GNNs sind besonders geeignet, weil sie:

- die Graphstruktur des Stromnetzes direkt nutzen können
- Beziehungen zwischen Knoten modellieren können
- robust gegenüber verrauschten Daten sind



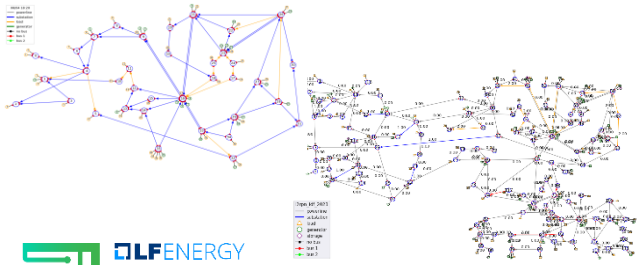
Welche Daten nimmt man für das Training?

Benchmark Cases

ÜNB Netzmodelle

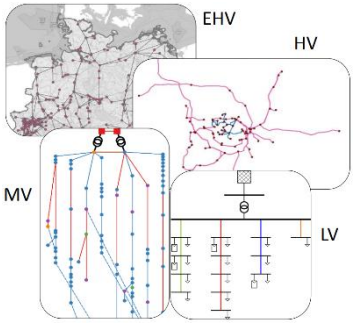
Verfügbarkeit

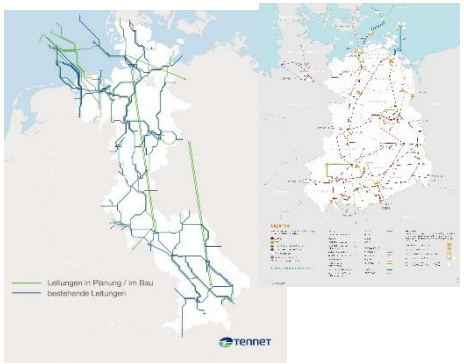
Komplexität



LFENERGY grid2op

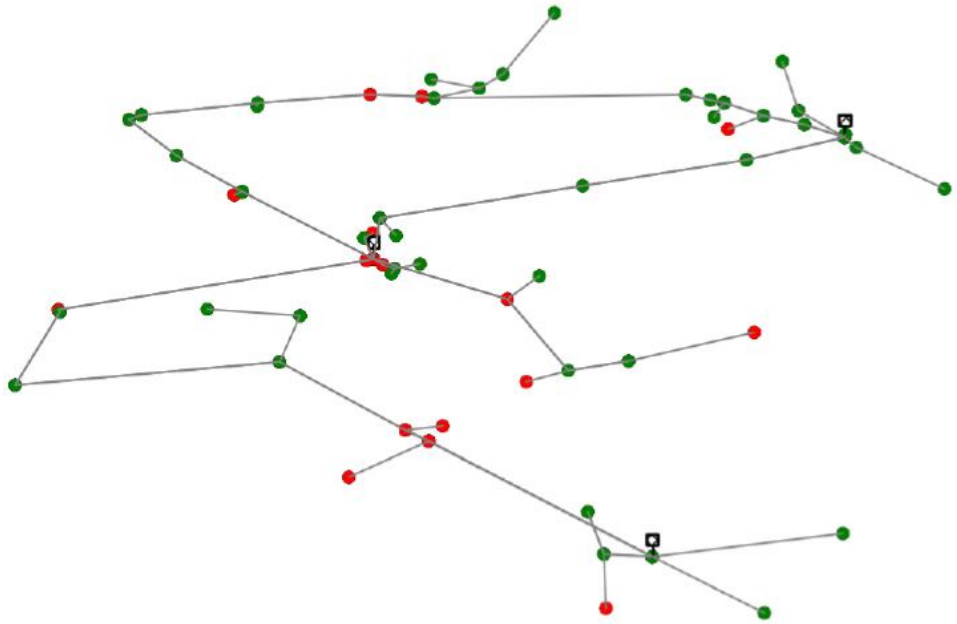
SimBench





GNNs zur Lastflussapproximation

- Netz: SimBench 1-HV-mixed
- 94 Knoten
- Daten: Lastflussergebnisse stammen aus synthetisch generierten Profilen aus SimBench
- 1 Jahr in 15-Minuten Schritten
- Split: 70% training, 20% validation, and 10% test

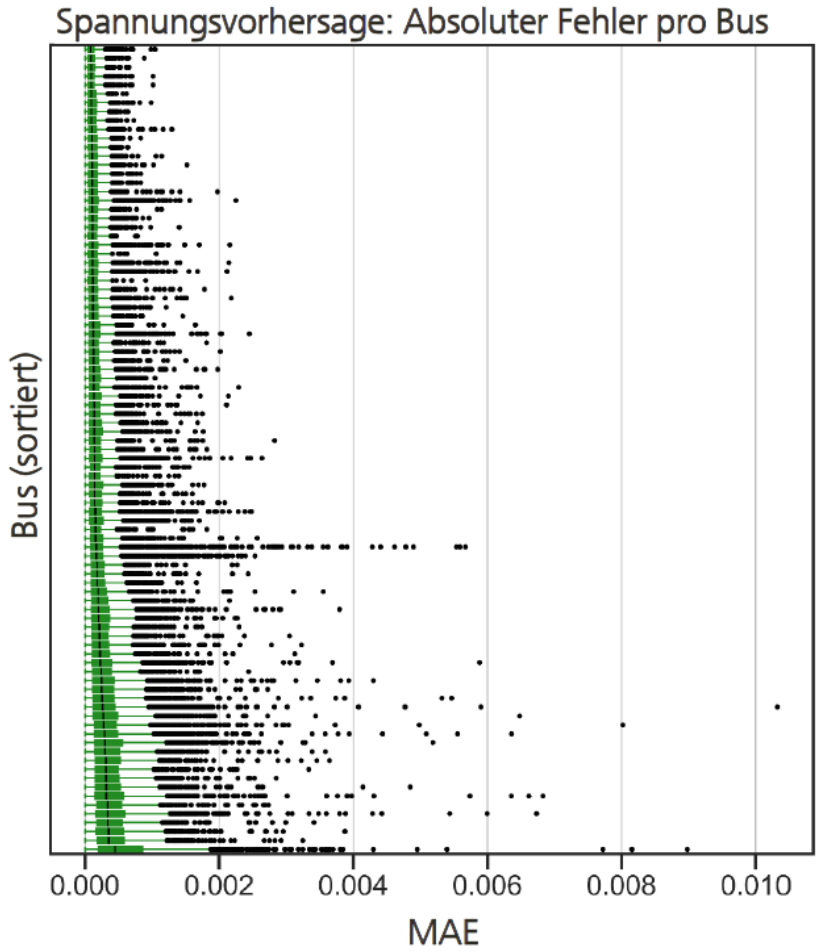


GNNs zur Lastflussapproximation

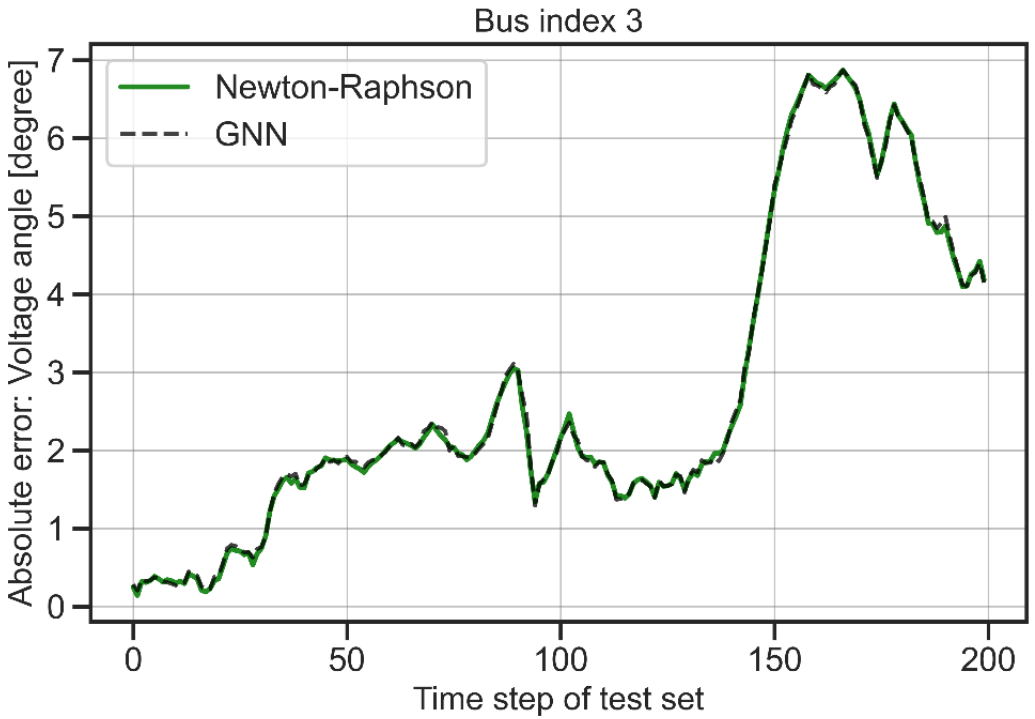
Architektur des GNNs

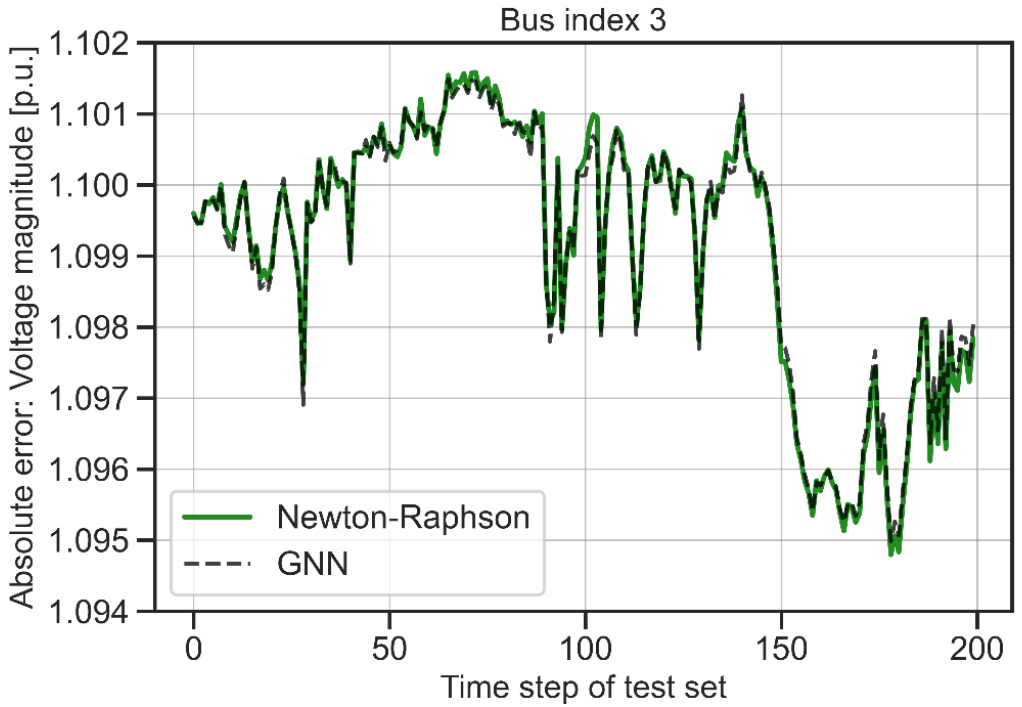
- 22 Schichten basierend auf maximaler Kantendistanz im Graph
- Skip Connections gegen Oversmoothing
- Chebychev Convolution

	MaxAE	MAE	RMSE
Voltage magnitude [p.u.]	1.032e-02	2.060e-04	3.21e-04
Voltage angle [degree]	2.219e+00	8.164e-02	1.30e-01



GNNs zur Lastflussapproximation





Geschwindigkeit: GNN vs. Newton-Raphson (3514 Zeitpunkte)

- **GNN: 2.16 s (für 3514 Zeitpunkte)**
- **Newton-Raphson: 15.82 s**
- **Differenz wächst mit der Netzgröße**

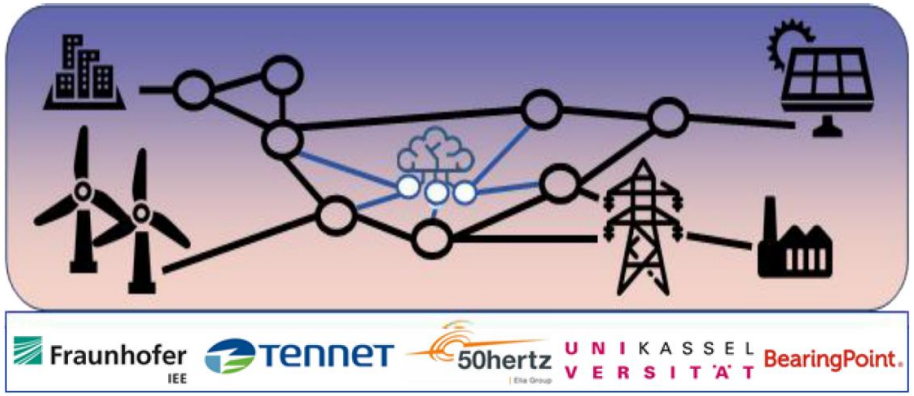
Weitere Potenziale:

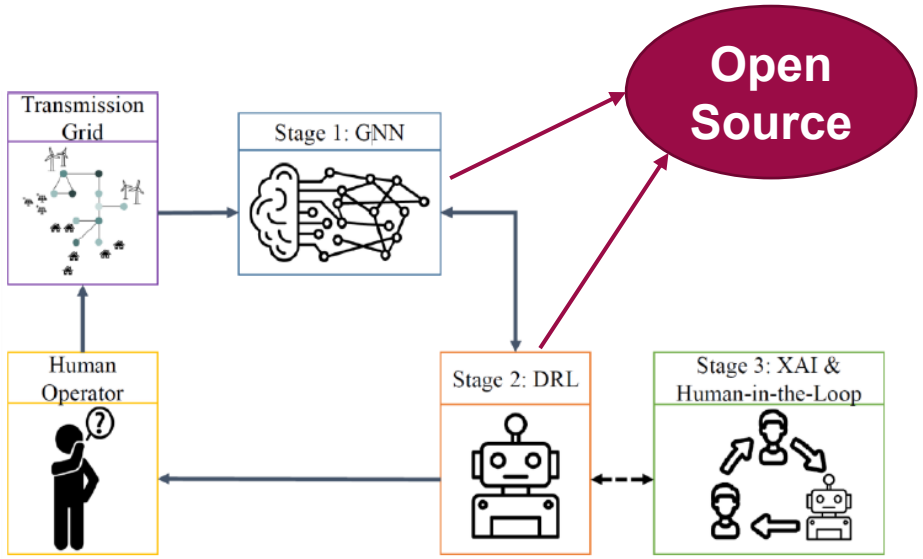
- **N-1 Lastflussberechnung**
- **Abbildung von Regelungen (Q-U-Regelungen)**

Forschungsprojekt: Graph Neural Networks for Grid Control (GNN4GC)

Ziel: Entwicklung eines Empfehlungssystems zur Unterstützung der ÜNB bei der Netzführung

- Beschleunigung der Lastflussberechnungen durch GNNs
- Bestimmung optimaler Topologien durch (Graph) Reinforcement Learning
- Human-in-the-loop für Nutzbarkeit im Realbetrieb





SimBench Sektor

Projektübersicht
(Tobias Banze)

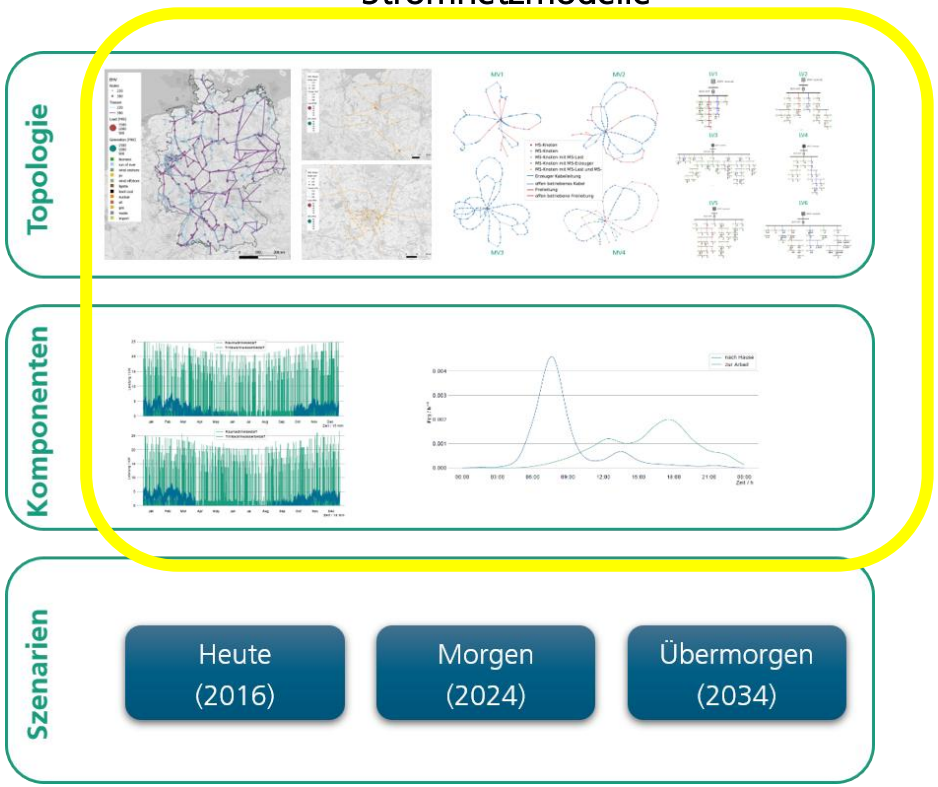
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Erweiterung der SimBench Daten

Wie können die SimBench Daten erweitert werden?

Stromnetzmodelle



Wärmenetzmodell

Gasnetzmodell

➔ Möglichkeit für sektorengekoppelte Betrachtungen

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Projektübersicht

Projektdaten

Projektlaufzeit
01.06.2023 – 31.12.2026

Förderkennzeichen
03EI1058A



Projektpartner

Fraunhofer IEE

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg (TREE)

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (GWI)

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Zusammenfassung der Projektidee

Hintergrund & Motivation (**Wozu**?)

- **Erweiterung** der Stromnetz Benchmark-Datensätze aus dem Projekt „**SimBench**“, um Netzmodelle und Zeitreihen der Sektoren **Gas und Wärme**.
- Dadurch soll es Forschern / Entwicklern ermöglicht werden, ebenfalls für Methodenentwicklungen und Simulationen im Bereich der Gas- und Wärmenetze, **plausibilisierte und referenzierbare Netzmodelle** zur Verfügung zu haben.
- Grundlage für **sektorgekoppelte Betrachtungen**

Vorgehensweise (Wie?)

- **Ableitung von Netzmodellen** auf Basis von offener Daten
- **Entwicklung von Erzeugungs- und Verbrauchszeitreihen** auf Basis von geographischen und demographischen Daten
- **Erstellung von Szenarien** auf Basis von Statistiken und Expertenwissen
- Betrachtung von **Interdependenzen** zwischen den Netzmodellen

Erwartetes Ergebnis (Was?)

- **Rechenbare Benchmark-Datensätze** (Netzmodelle und Zeitreihen) für Gas- / Wärmenetze
- Betrachtung (aktuellerer) **verschiedene Szenarien** (Stützjahre)
- Der Umfang der bereits vorhanden Benchmark-Datensätze wird noch vielfältiger und bietet so **mehr Anwendungsmöglichkeiten**.

Zieltechnologie (Womit?)

- Verschiedene **Netzmodelierungstools** abgestimmt auf den jeweils betrachteten Sektor
- Mehrerer **Gebäudemodelle**, welche im projektverlauf untereinander abgestimmt werden
- **Digitale Abbildungen** geographischer und demographischer Daten

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Betrachtungsrahmen

Betrachtete Stützjahre:

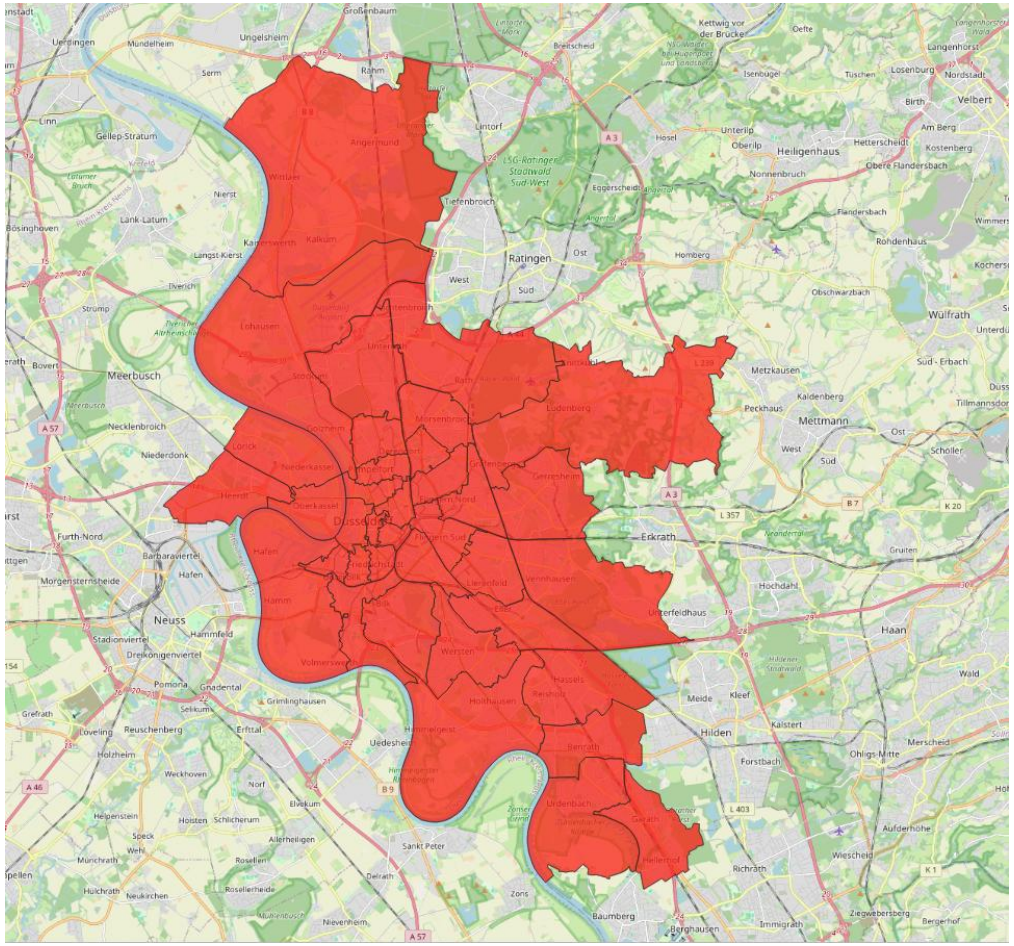
- 2022 (Ist)
- 2035
- 2045

Betrachtete Region:

- Stadt in NRW entlang des Rheins
- NRW / NI für (Gas-Transportnetz)

Rheinstadt:

- Netzmodelle werden später unter „Rheinstadt“ veröffentlicht
- Ziel war es nicht eine 100% detailgetreue Abbildung einer Stadt zu erstellen



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Vorgehen

Grundlage

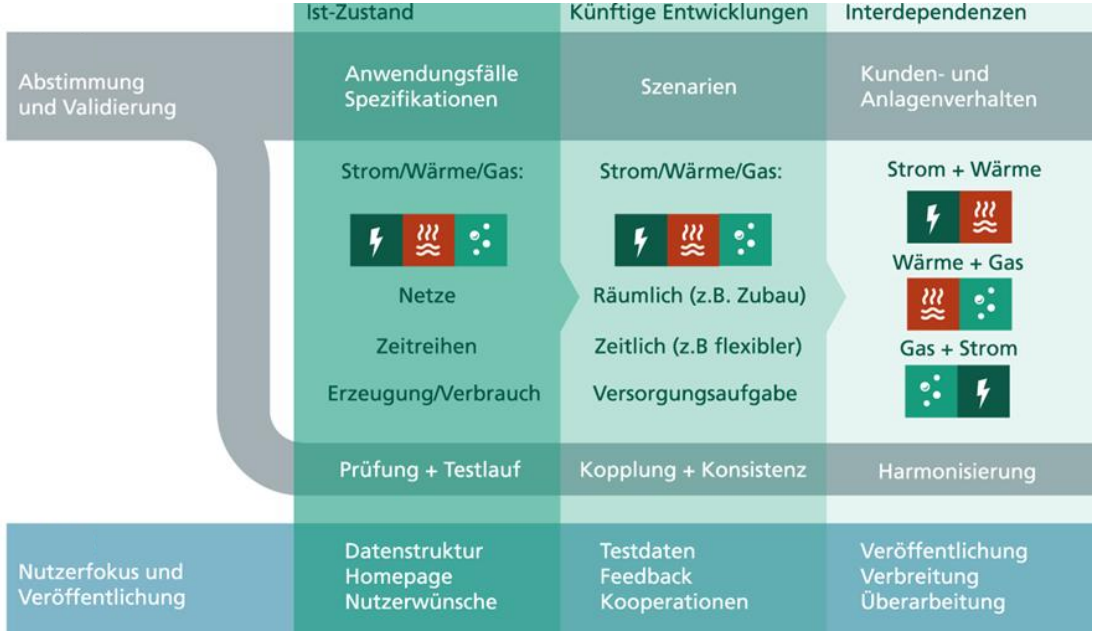
Eingangsdaten

- Geographisch
- Demographisch
- Gebäudeinformationen

Software

- Investitionsenscheidungs-Modell
- Gebäudemodell
- Netzmodellierungstools

Bearbeitung



Ergebnisse

Datensätze

- Gas / Wärme / Strom-Netzmodelle
- Zeitreihen
- Verschiedene Stützjahre
- Rechenbar

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

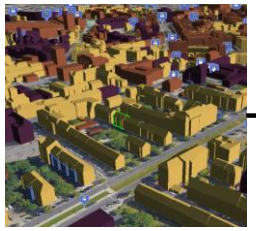
Vorgehen – Detail Grundlage

Grundlage

Eingangsdaten
- Geographisch
- Demographisch
- Gebäudeinformationen

Software
- Investitionsenscheidungs-Modell
- Gebäudemodell
- Netzmodellierungstools

Gebäudedaten



GIS-Daten



AgentHome ID — Agentenbasiertes Investitionsentscheidung-Modell für Gebäude

UrbanTwin — 3D-Stadtmodell für deutschlandweite Energiesystemanalyse

DAVE — Automatische Generierung von Energienetzmodellen

AutoGrid — Wärmenetzmodellierung

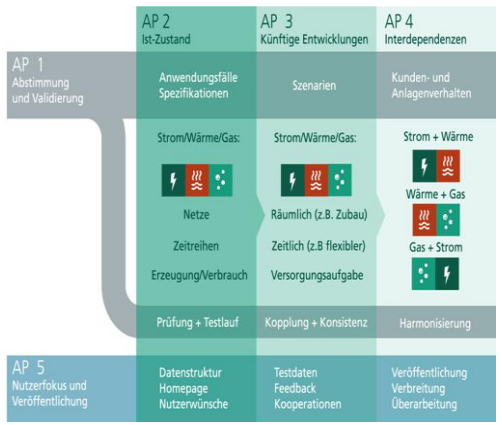
HBRS Modellierung — Gasnetzmodellierung

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Vorgehen – Detail Bearbeitung

Bearbeitung



AgentHome ID

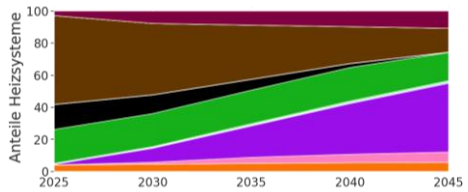
UrbanTwin

DAVE

AutoGrid

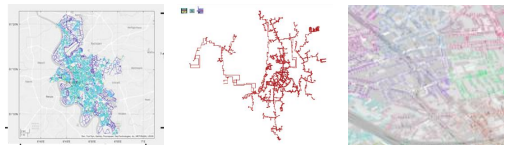
HBRS Modellierung

Szenarien

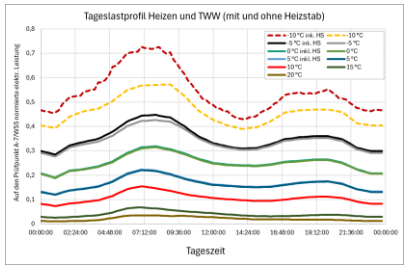


Netzmodelle

Gas Wärme Strom



Zeitreihen



Validierung Konsistenzprüfung

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

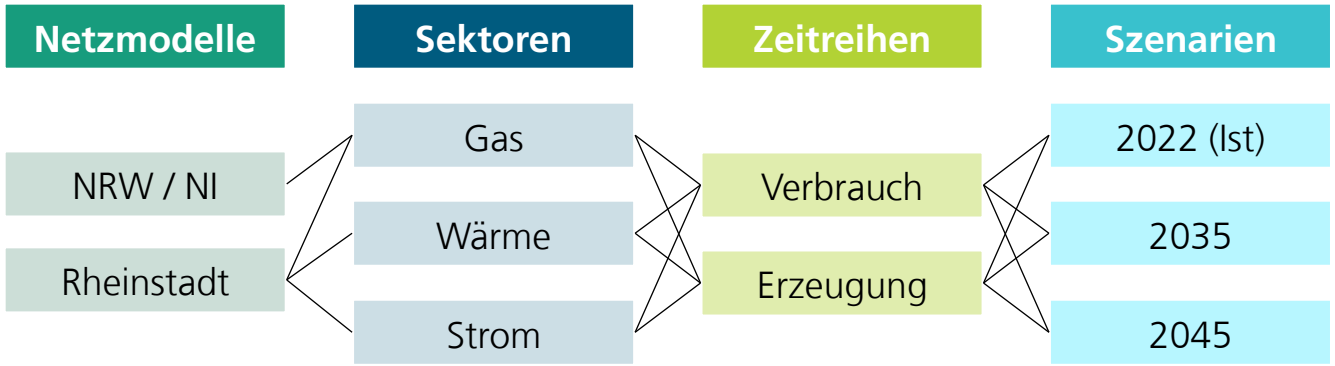
SimBench Sektor

Vorgehen – Detail Ergebnisse

Ergebnisse

Datensätze

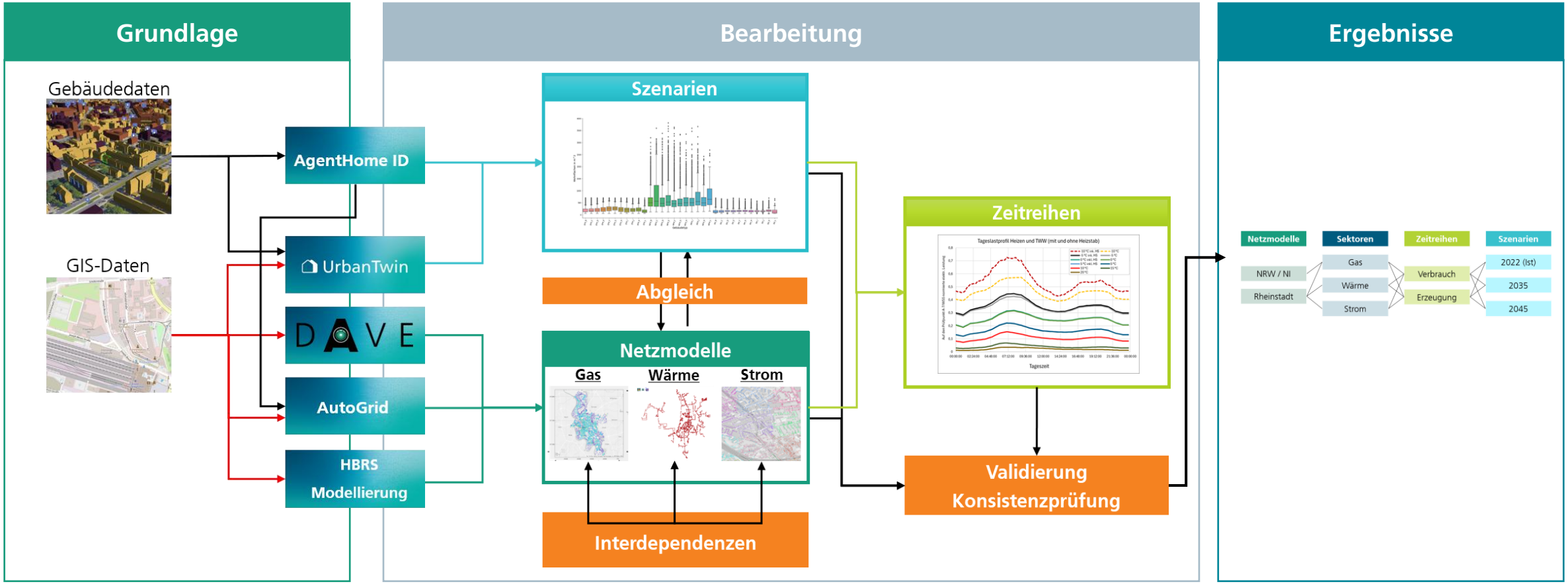
- Gas / Wärme / Strom-Netzmodelle
- Zeitreihen
- Verschiedene Stützjahre
- Rechenbar



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Vorgehen – Detail



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

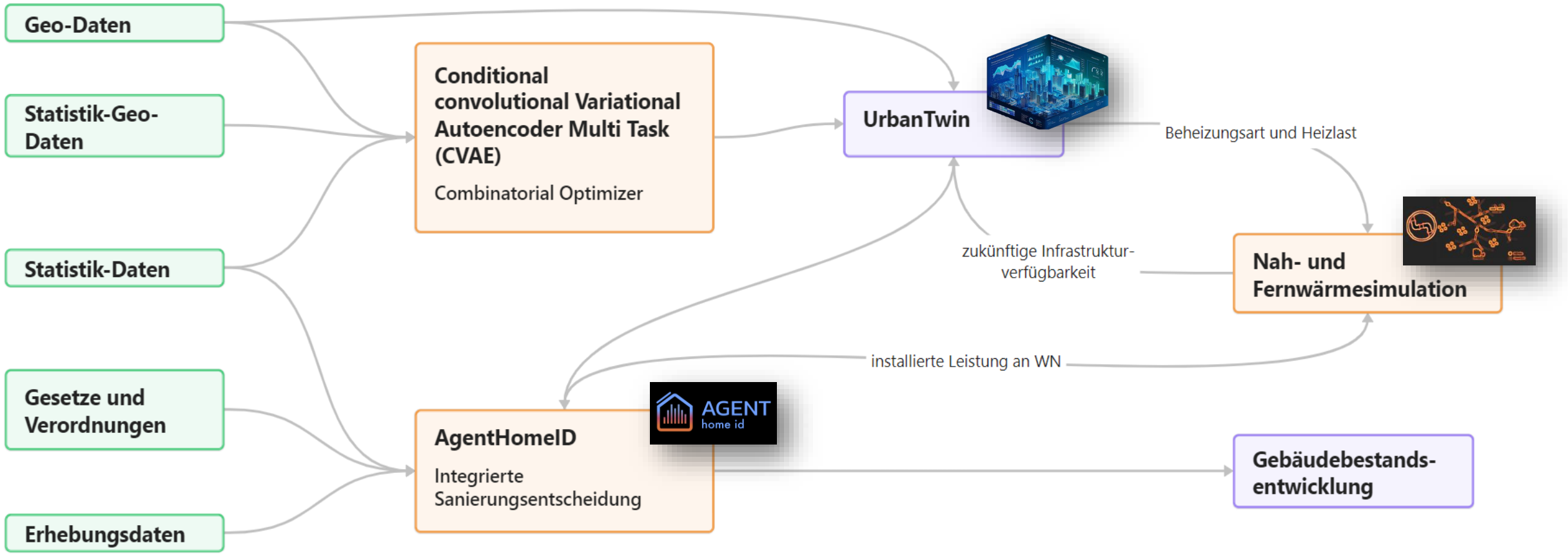
Szenarien

(Daniel Horst, Sarah Becker)

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Gebäudescharfe Datenaufbereitung und Simulation der Bestandsentwicklung

Standardisierte Prozesskette

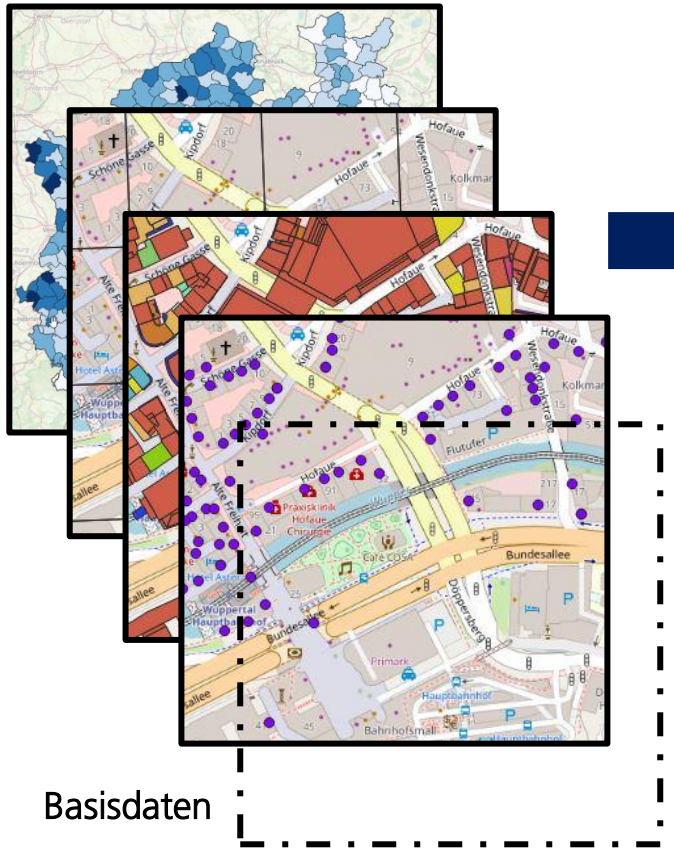


 © Fraunhofer IEE

Fraunhofer IEE

UrbanTwin

Datenverarbeitung und standortscharfe Zuordnung mittels KI-Methoden



UrbanTwin



Erweiterung durch synthetische Daten mittels KI (CVAE)



Haushaltsstruktur
- Wohnungen im Gebäude: 1
- Personen im Haushalt: 3
- Nettoeinkommen: 4200 €

Bauphysik
- Baualtersklasse: 1949-1979
- Beh. Wohnfläche: 160 m²
- Dachfläche: 80m²

Berechnete Verbrauchs-information: Heizlast, Wärme-bedarf, Heizungsauslegung, Strombedarf

Lageinformation
- Grünfläche: 367 m²
- FW verfügbar: ab 2028
- Gebietstyp: Wohnsiedlung

© Fraunhofer IEE

Fusionieren von Populationssyntese und Stadtmodell

Conditional Variational Autoencoder für Bewohner und Gebäude

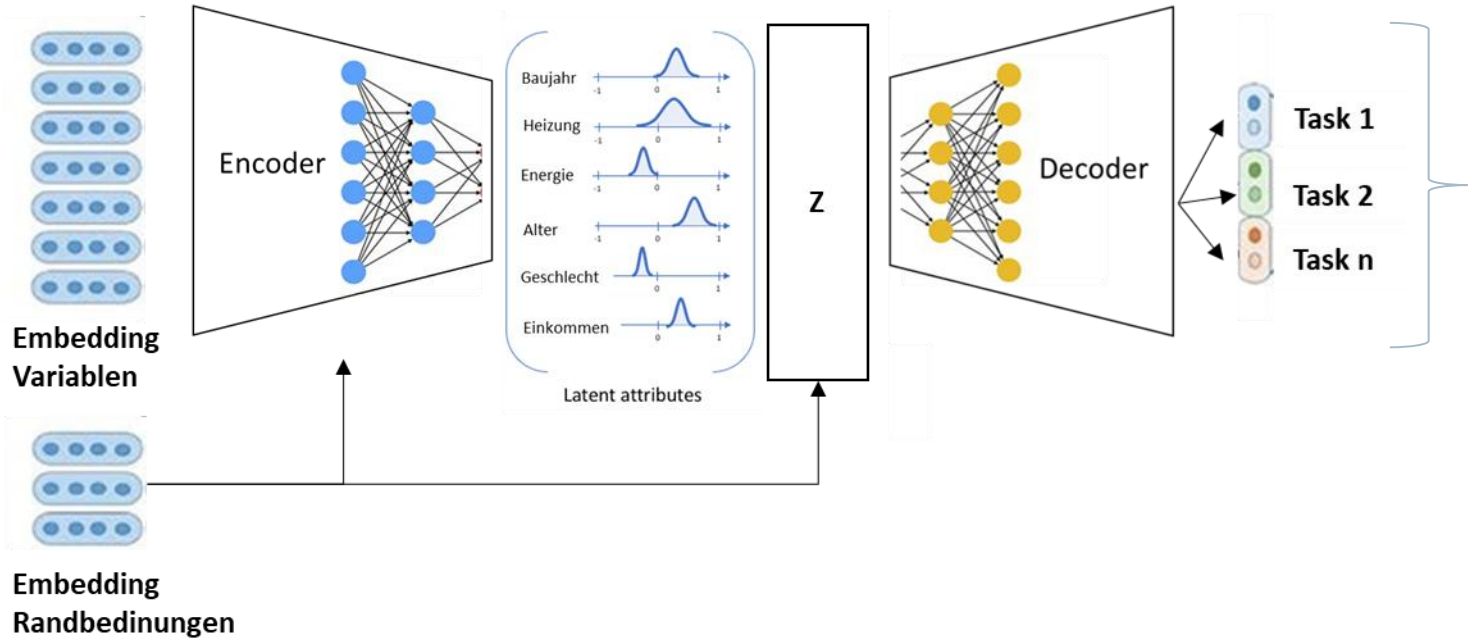


Erweiterung des VAE Models zu einem Conditional VAE um lokale Randbedinungen mit direktem Raumbezug wie z.B. Wohnfläche (LoD2) in die Berechnungen der Populationssyntese zu integrieren

Repräsentative Daten des **Mikrozensus Scientific Usefile**

Aus Stadtmodell:

- Wohnungen
- Wohnfläche
- Baujahr
- …….



Synthetische Daten für Gebäude und Bewohner

Die synthetische Ausprägung beinhaltet aktuell 25 Variablen auf Gebäudeeben wie z.B. : Schulbildung, Heizungstyp , Eigentümertyp, Nettomiete, etc.



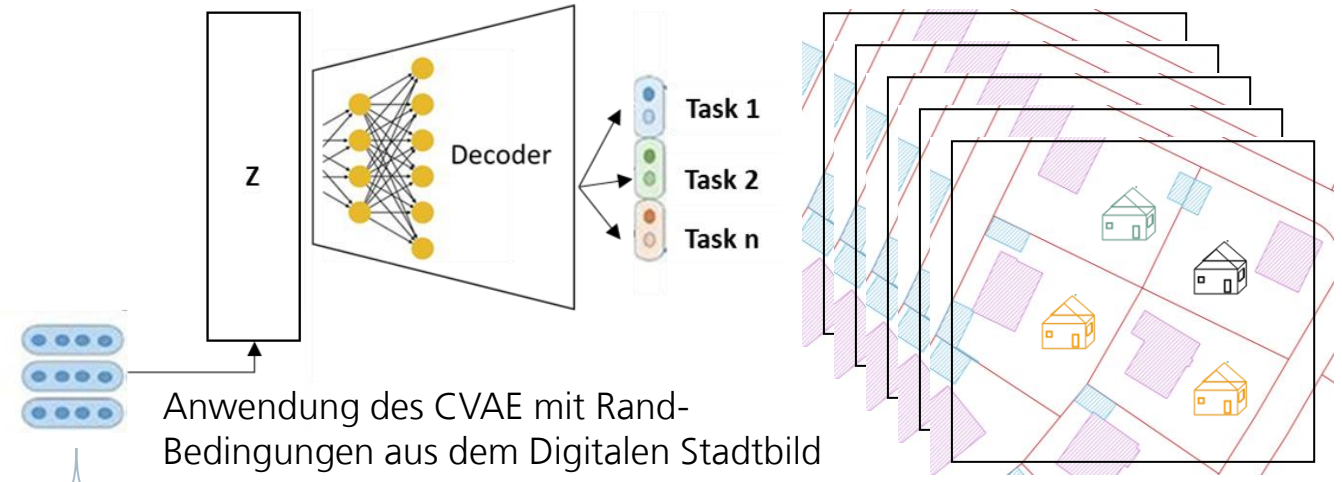
Es wird ein Ansatz verwendet, der auf einem Variational Autoencoder Framework basiert. Im unüberwachten Lernprozess wird die gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung P(X) des Gebäudebestands zusammen mit den sozioökonomischen und demographischen Profilen von Mietern und Eigentümern aus den Erhebungen des Mikrozensus Scientific Use Files1 2014 (SUF) erlernt.

© Fraunhofer IEE

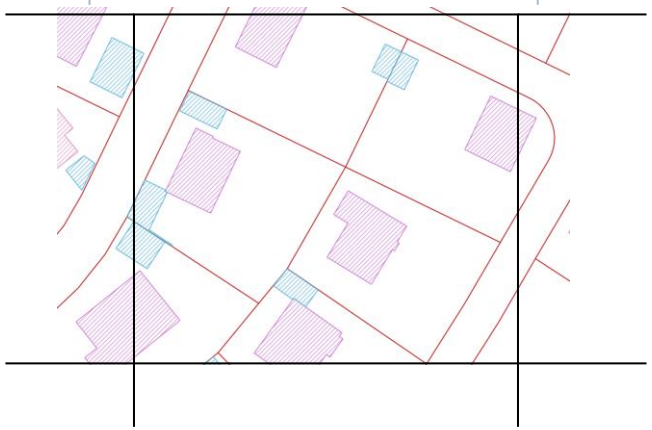
Fusionieren von Populationssyntese und Stadtmodell

Small Area Statistic mit Combinatorial Optimization





Anwendung des CVAE mit Rand-Bedingungen aus dem Digitalen Stadtbild



Randstatistik einer Gitterzellen Zensus 2011:
(Beispiel für 4 Wohngebäude)

Eigentümertyp:
1 mal Gebäude vermietet
3 mal Gebäude Eigentümer

Vermietertyp:
1 mal privater Vermieter

Heizungstyp:
3 mal Fernwärme / 1 mal Zentralheizung

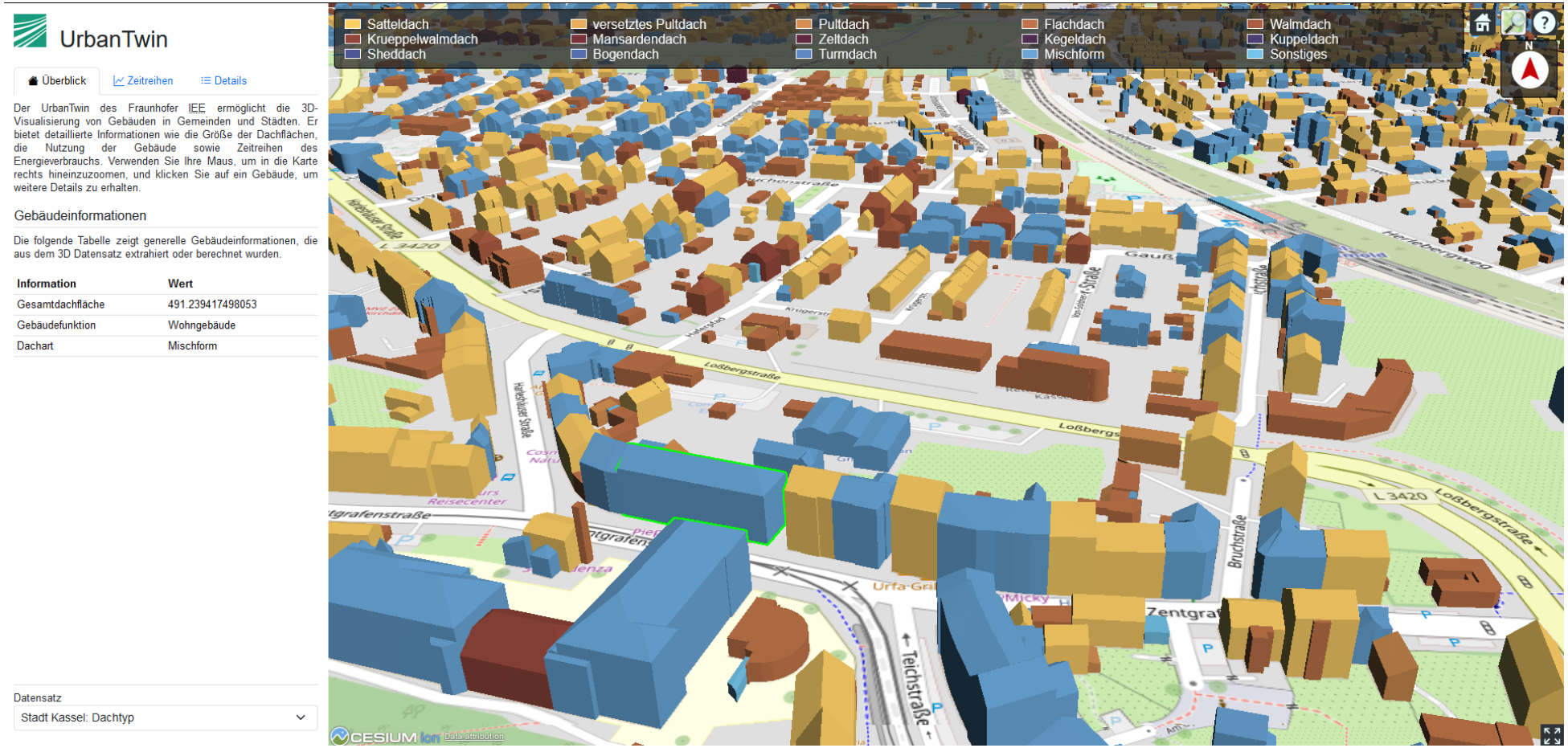


Combinatorial Optimization mit Slack-Variablen:
Die Auswahl von *4 aus 400 Gebäude- und Einwohnerprofilen* erfolgt unter der Bedingung das die Randstatistik einer Gitterzellen Zensus 2011 mit indirekte Raumbezug und die Profile des CVAE erfüllt bzw. optimal kombiniert werden. Die Optimierung wird separat für jede Zelle durchgeführt .

© Fraunhofer IEE

UrbanTwin

Datenaufbereitung und Visualisierung



 © Fraunhofer IEE

Fraunhofer IEE

Zeitliche Entwicklung der Gebäudewärme-Versorgung

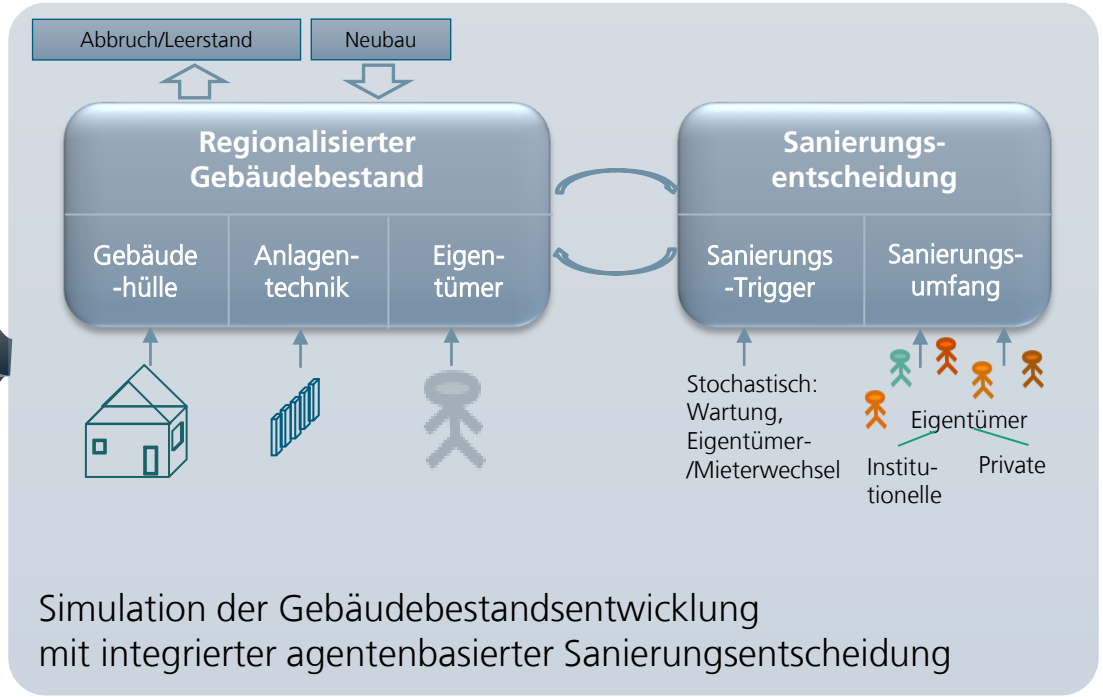
Berücksichtigung gebäudescharfer Daten (Infrastrukturverfügbarkeit, Gebäudezustand, Eigentümer, etc.), Regulatorik, individueller Präferenzen und zeitabhängiger Parameter (GEG/GModG-Anforderungen, BEG-Förderung, Kostenkurven, Endverbraucherpreise, CO2-Preisentwicklung etc.)

AGENT home id







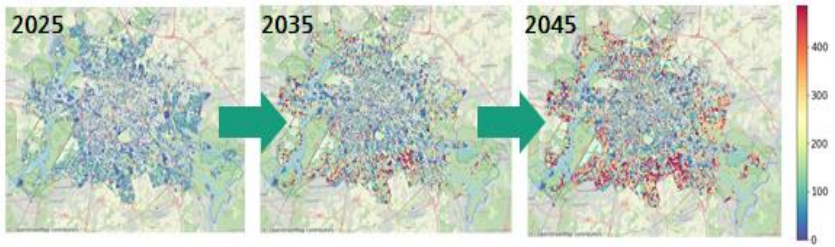


Simulation der Gebäudebestandsentwicklung
mit integrierter agentenbasierter Sanierungsentscheidung

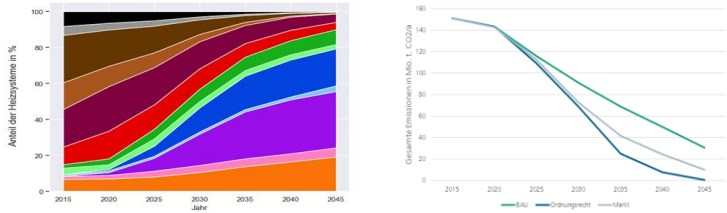
Gebäudescharfe Darstellung



Räumlich-zeitliche Darstellung aggregiert auf Siedlungsgebiete



Aggregierte Darstellung auf kommunaler Ebene
(Bsp. Entwicklung Anteile Heiztechnologien links, Entwicklung Emissionen rechts)



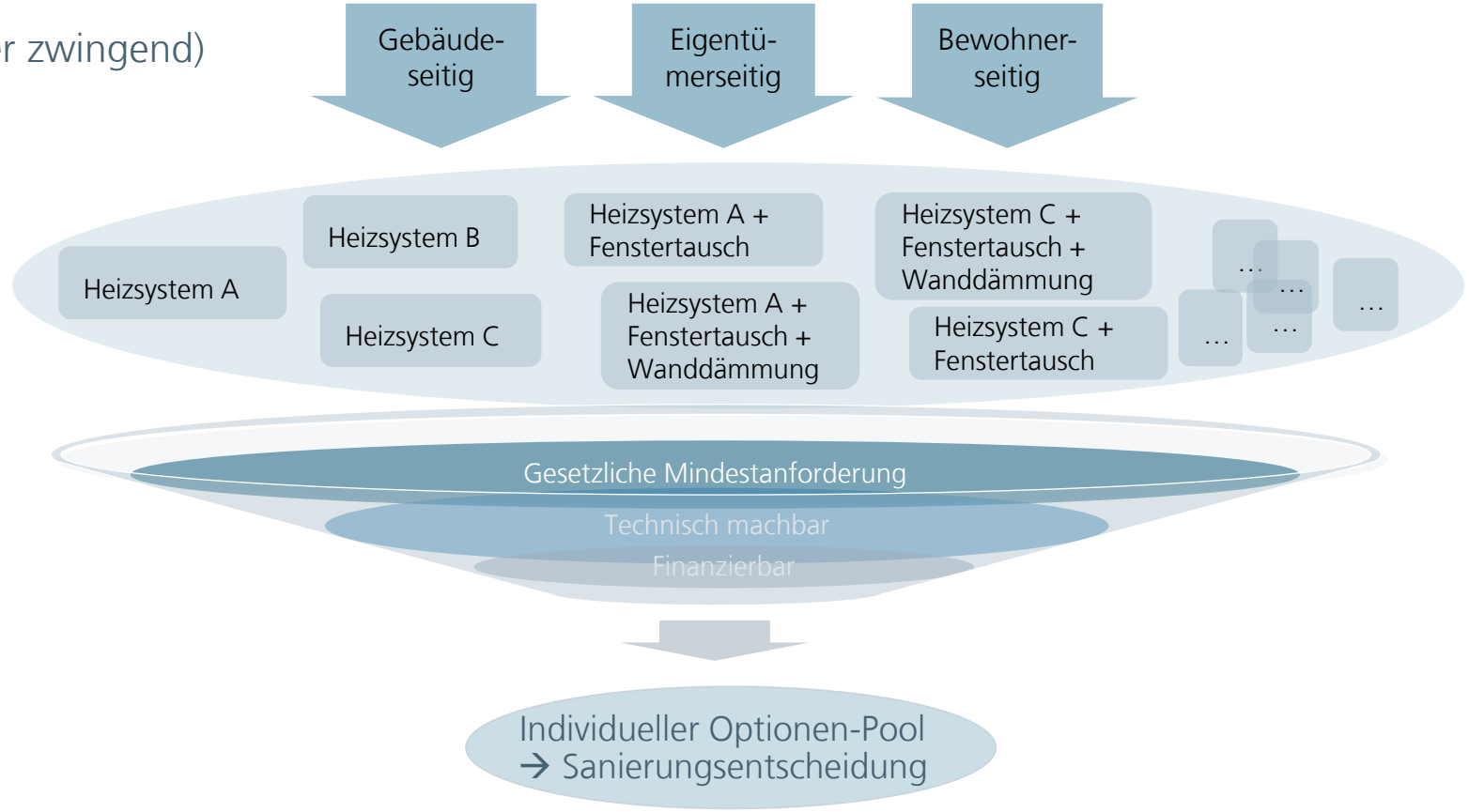
 © Fraunhofer IEE

Fraunhofer IEE

Sanierungsoptionen und Entscheidungsprozess

Individuelle Sanierungsoptionen

Sanierungstrigger
(günstige Gelegenheit oder zwingend)



Aufstellen aller möglicher Maßnahmenoptionen und Kombinationen

Maßnahmenfilter

Individuelle Sanierungsoptionen

 © Fraunhofer IEE

Fraunhofer IEE

Sanierungsoptionen und Entscheidungsprozess

Individueller Entscheidungsprozess

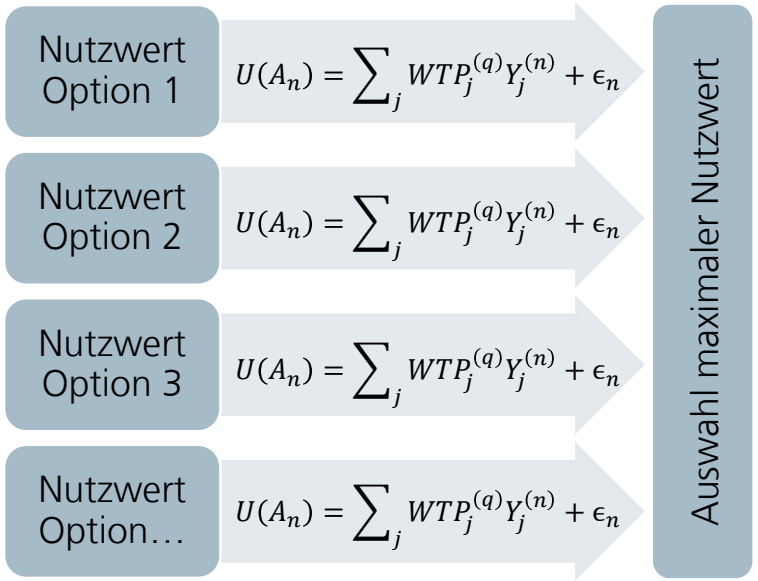
Einteilung in Präferenztypen anhand sozio-demografischer Eigenschaften



Individuelle Zahlungsbereit-schaften je Präferenztyp



Nutzwertberechnung für jede Option aus individuellem Pool



U – Nutzenwert
A_n – Option n
j – läuft über alle Attribute
$Y_j^{(n)}$ – Ausprägung von Attribut j in Option n
$WTP_j^{(q)}$ – Zahlungsbereitschaft für Attribut j in Latenzklasse q
ϵ_n – Extremwert-verteilte Zufallsvariable

© Fraunhofer IEE

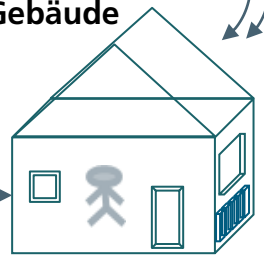
Modellansatz

Modelllogik und modelltechnische Umsetzung je Zeitschritt

Gebäudebestand



Zeitschritt pro Gebäude



Abschluss Zeitschritt

Neubau, Eigentümer-wechsel, neue Mieter, Abriss

Regularien können zusätzliche **Sanierungspflichten** beinhalten

Existieren **gebäudeseitige Sanierungstrigger** an Heizung oder Hülle?

Regularien können Sanierungspflicht bei **Eigentümerwechsel** beinhalten

Existieren **eigentümerseitige Sanierungs-trigger**?

Filtern der Optionen: regulatorische, finanzielle, technische, Potenzialgrenzen

Falls es Sanierungs-trigger gibt: **Sanierungsoptionen** aufstellen

Regularien, Förderung und/oder Technologieentwicklung verändern Kostenparameter der Sanierungsoptionen

Sanierungsentscheidung
Private Eigentümer: subjektiven Wert berechnen über Zahlungsbereitschaften
Institutionelle Eigentümer: Wirtschaftlichkeitsberechnung
→ Update Gebäudezustand

Update Alter
Gebäude + Eigentümer + Heizsystem

Hochrechnung & Logging
- erreichter Zustand des Gebäudebestands: Energiebedarf, Sanierungsraten, Einsatz Heiztechnologie, Emissionen, Brennstoffeinsparung
- Gesamtkosten und energiebedingte Mehrkosten

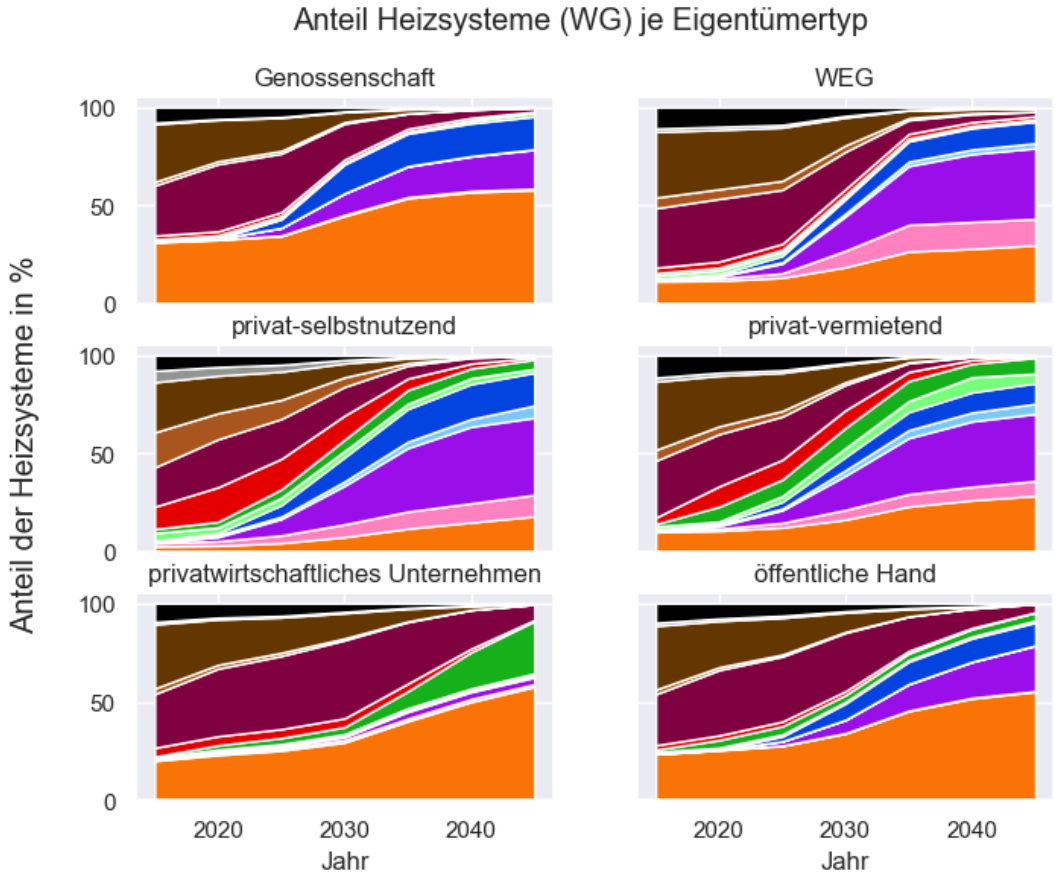
Möglicher **Differenzierungsgrad der Auswertungen**
- Für gesamten Wohngebäudebestand (Einzelgebäude)
- Nach Gebäudeklasse, GT oder BAK
- Nach Eigentümertyp oder Entscheidertyp
- Regional (hoch-)aufgelöst
- Entwicklung in 5-Jahresschritten

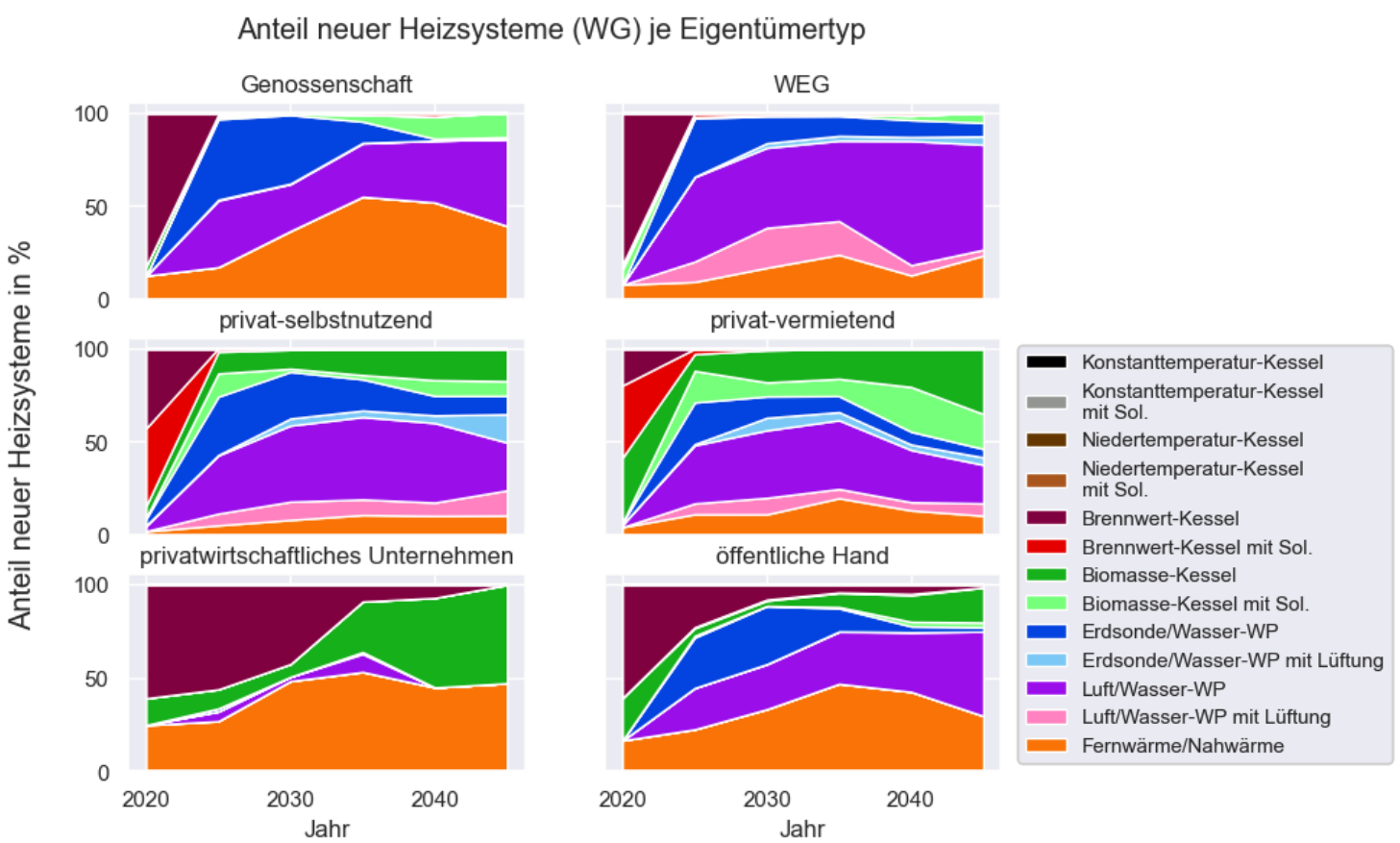
+ Zeitschritt (5 Jahre)

© Fraunhofer IEE

Detailblick Modell AgentHomeID

Differenzierte Auswertungsmöglichkeiten





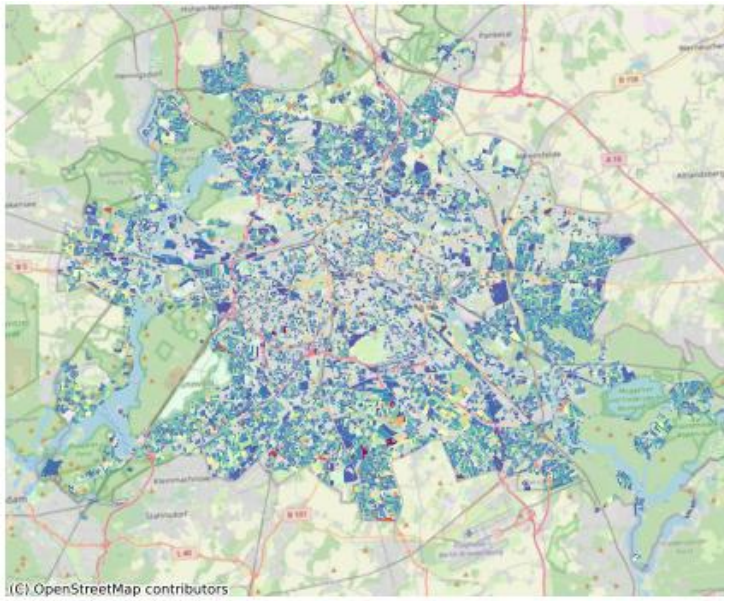
 © Fraunhofer IEE

Fraunhofer IEE

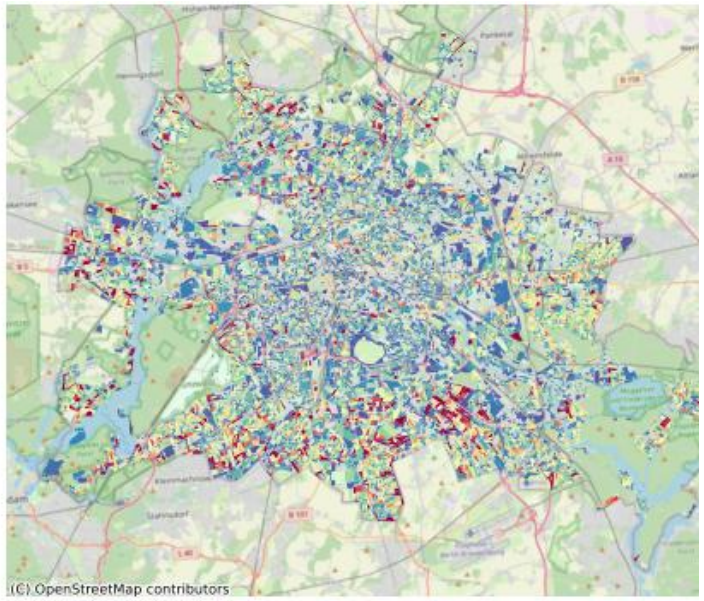
Bsp: Installierte thermische Leistung von Luft-WP je Siedlungseinheit in kW

Räumlich-zeitliche Entwicklung einzelner Auswertungsparameter

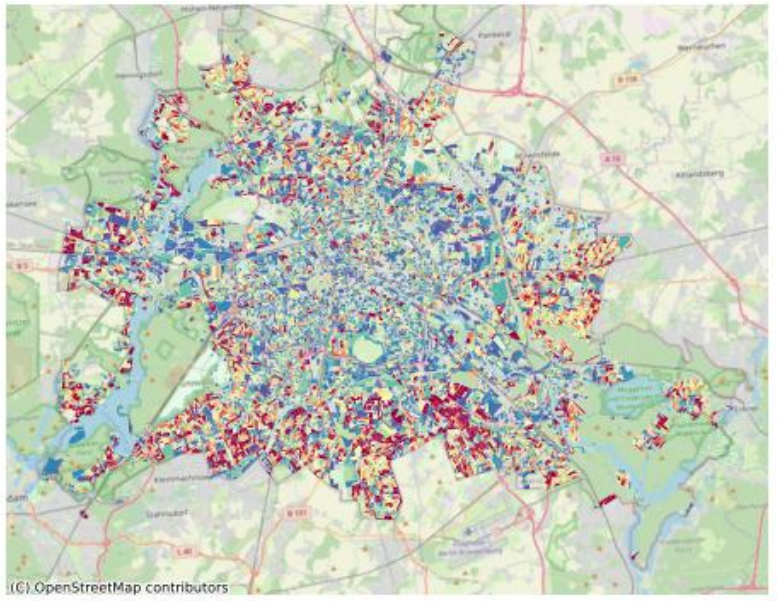
2025

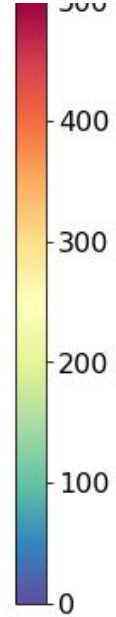


2035



2045





 © Fraunhofer IEE

Fraunhofer IEE

SimBench Sektor

Stromnetz

(Tobias Banze, Erik Prade)

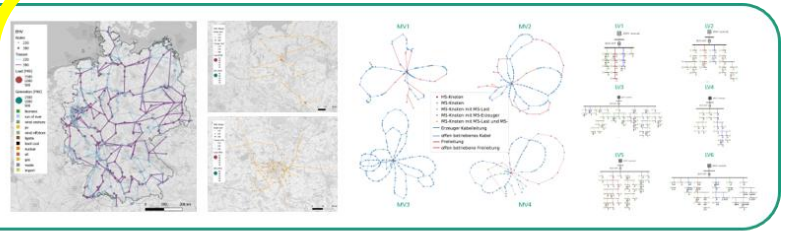
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor Stromnetz

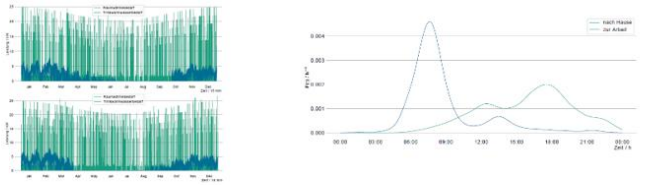
Gedanke bei Antragsstellung vs. Umsetzung

Stromnetzmodelle

Topologie



Komponenten



Szenarien

Heute (2016)

Morgen (2024)

Übermorgen (2034)

Wärmenetzmodell

Gasnetzmodell

Erkenntnisse im Projektverlauf:

- Geographisch entkoppelt zu SimBench-Daten
- Verknüpfungspunkte zum Stromnetz sollten gegeben sein

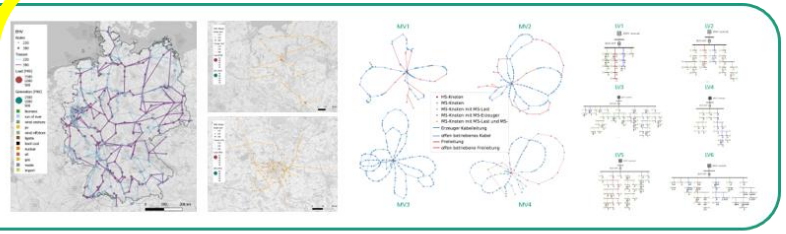
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor Stromnetz

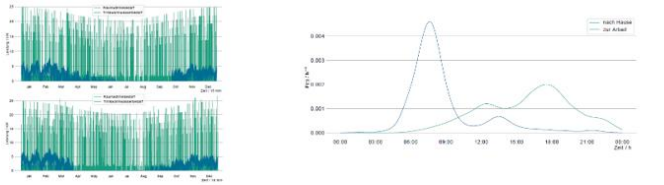
Gedanke bei Antragsstellung vs. Umsetzung

Stromnetzmodelle

Topologie



Komponenten



Szenarien

Heute (2016) | Morgen (2024) | Übermorgen (2034)

Stromnetzmodell

Wärmenetzmodell

Gasnetzmodell

Erkenntnisse im Projektverlauf:

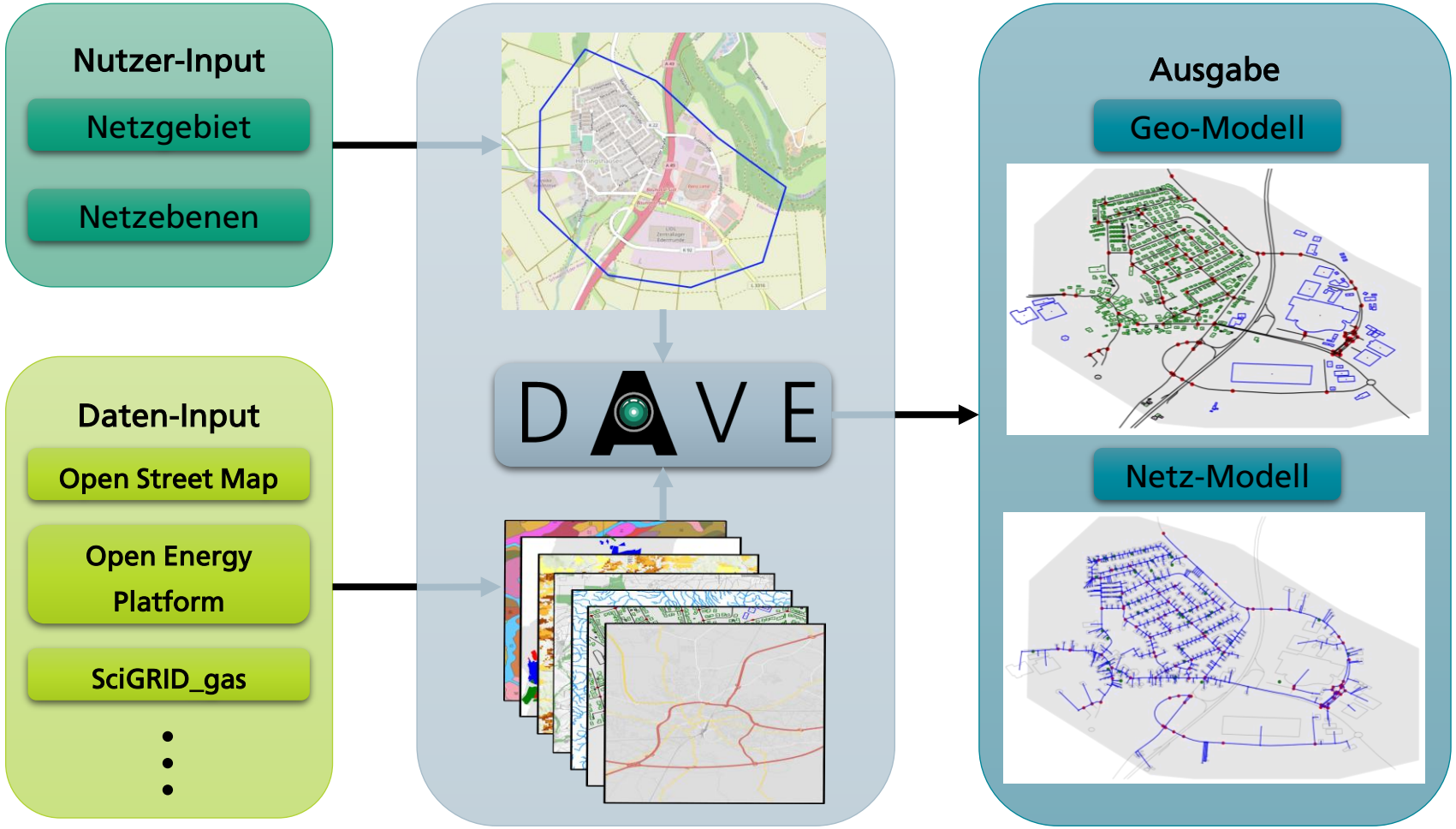
- Geographisch entkoppelt zu SimBench-Daten
- Verknüpfungspunkte zum Stromnetz sollten gegeben sein

➔ Zusätzliche Erstellung eines Stromnetzmodells in Betrachtungsregion von SimBench Sektor

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE - Toolübersicht



- Betrachtung eines individuellen Gebietes
- Verwendung unterschiedlicher Open-Data-Quellen
- Erstellung von geographischen Modellen
- Erstellung von Energienetzmodellen (Strom, Gas)
- Ausgabe in Netzanalysetool-Formaten

© Fraunhofer IEE

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE – Beispiel NS-Generierung

1. Gebäude und Straßendaten sammeln

Gebäude und Straßen



 © Fraunhofer IEE

SimBench Sektor

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE – Beispiel NS-Generierung

1. Gebäude und Straßendaten sammeln

Gebäude und Straßen



 © Fraunhofer IEE

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE – Beispiel NS-Generierung

1. Gebäude und Straßendaten sammeln
2. Gebäudeanschlussknoten bestimmen

Gebäudeanschlussknoten



© Fraunhofer IEE

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE – Beispiel NS-Generierung

1. Gebäude und Straßendaten sammeln
2. Gebäudeanschlussknoten bestimmen
3. ONS-Knoten bestimmen

MS/NS-UW Knoten



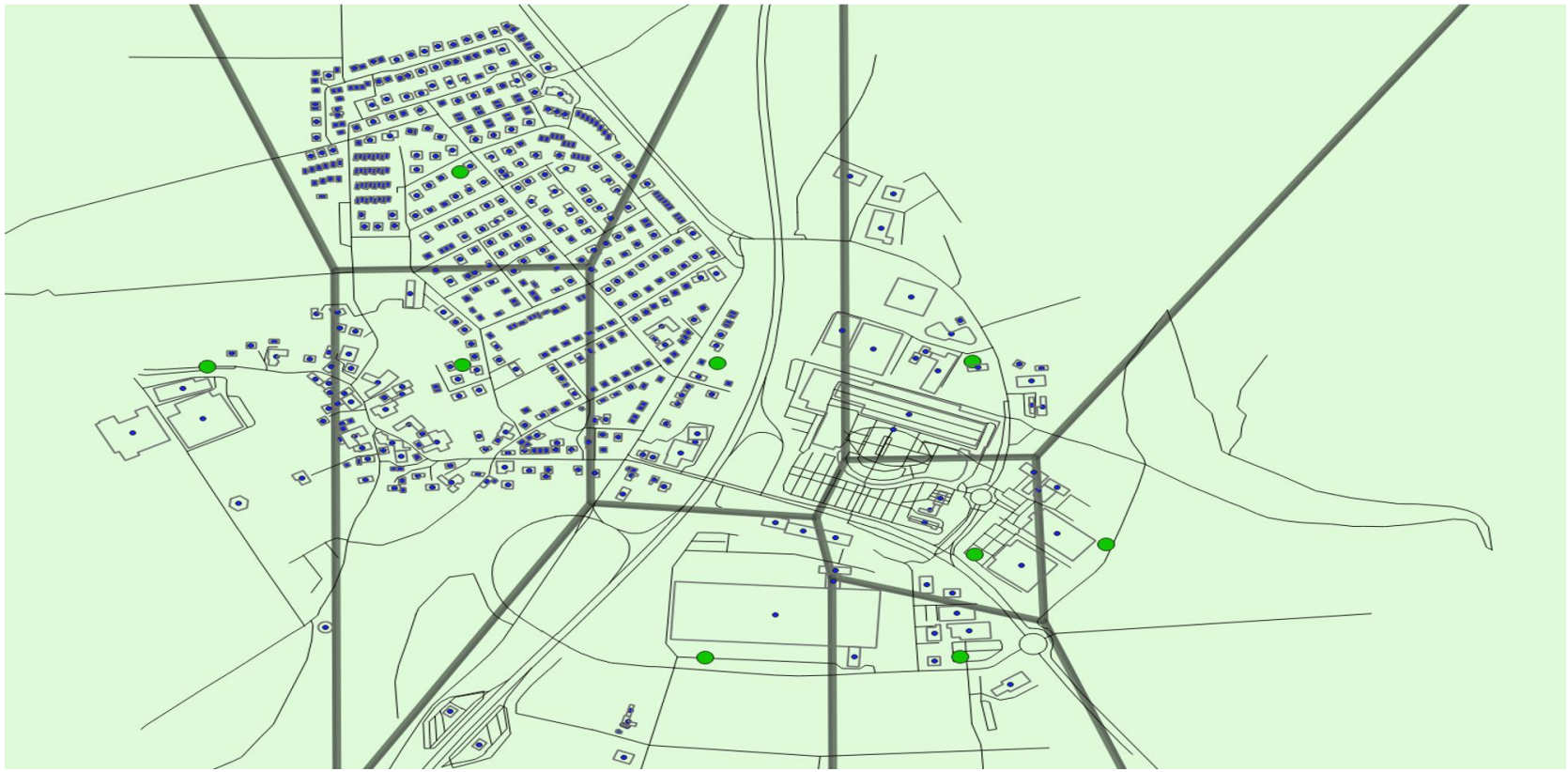
© Fraunhofer IEE

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE – Beispiel NS-Generierung

1. Gebäude und Straßendaten sammeln
2. Gebäudeanschlussknoten bestimmen
3. ONS-Knoten bestimmen
4. Voronoi-Zerlegung der Gebäudeanschlussknoten (Definition Netzgruppen)

Voronoi-Zerlegung Gebäudeanschlussknoten



© Fraunhofer IEE

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE – Beispiel NS-Generierung

1. Gebäude und Straßendaten sammeln
2. Gebäudeanschlussknoten bestimmen
3. ONS-Knoten bestimmen
4. Voronoi-Zerlegung der Gebäudeanschlussknoten (Definition Netzgruppen)

Gruppierte Gebäudeanschlussknoten



© Fraunhofer IEE

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE – Beispiel NS-Generierung

1. Gebäude und Straßendaten sammeln
2. Gebäudeanschlussknoten bestimmen
3. ONS-Knoten bestimmen
4. Voronoi-Zerlegung der Gebäudeanschlussknoten (Definition Netzgruppen)
5. Bestimmung Netzanschlussknoten

Netzanschlussknoten



© Fraunhofer IEE

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE – Beispiel NS-Generierung

1. Gebäude und Straßendaten sammeln
2. Gebäudeanschlussknoten bestimmen
3. ONS-Knoten bestimmen
4. Voronoi-Zerlegung der Gebäudeanschlussknoten (Definition Netzgruppen)
5. Bestimmung Netzanschlussknoten
6. Bestimmung Straßenkreuzungen

Straßenkreuzungen



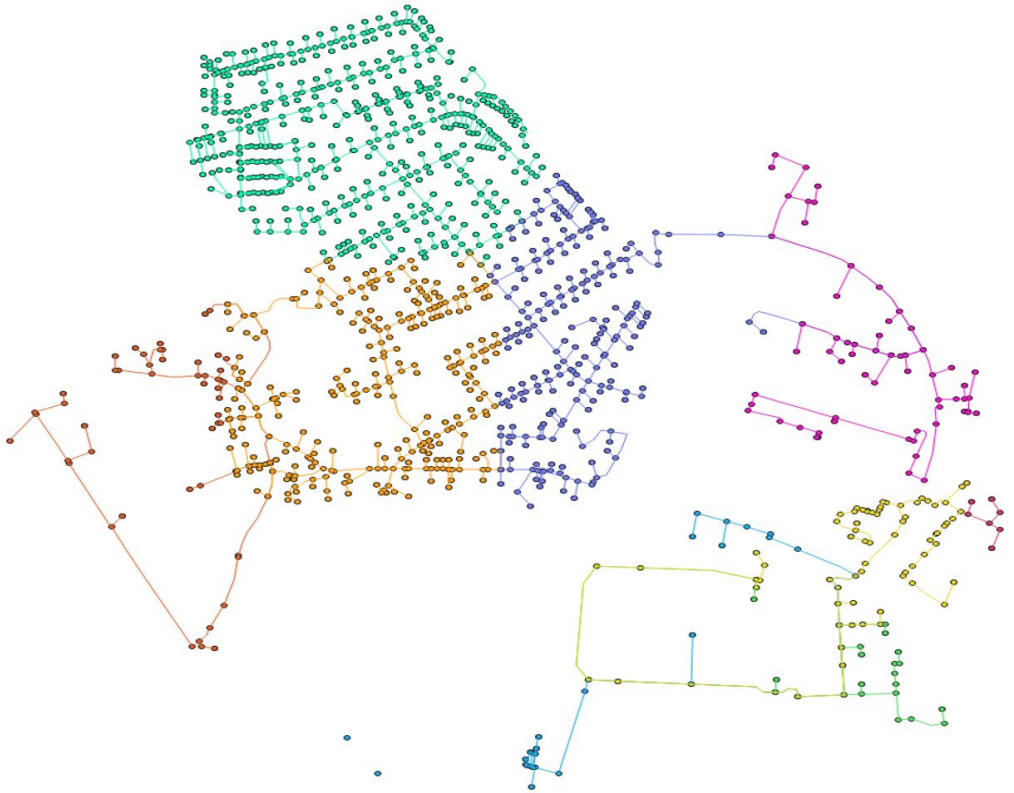
© Fraunhofer IEE

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE – Beispiel NS-Generierung

1. Gebäude und Straßendaten sammeln
2. Gebäudeanschlussknoten bestimmen
3. ONS-Knoten bestimmen
4. Voronoi-Zerlegung der Gebäudeanschlussknoten (Definition Netzgruppen)
5. Bestimmung Netzanschlussknoten
6. Bestimmung Straßenkreuzungen
7. Anwendung Steinertree-Heuristik zur Verbindung der Knoten einer Netzgruppe mit ONS

Ergebnisse Steiner Tree



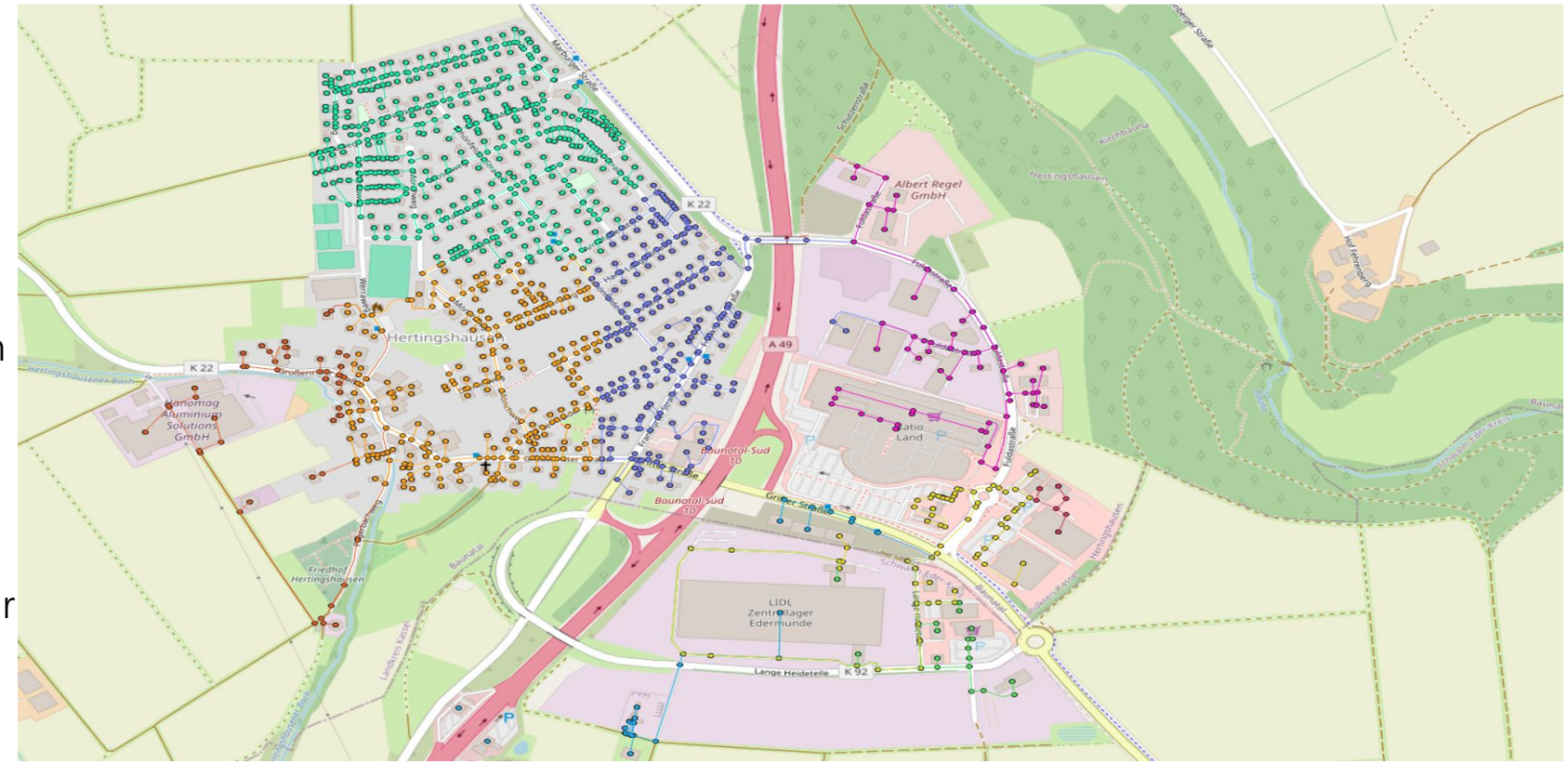
© Fraunhofer IEE

SimBench Sektor Stromnetz

DAVE – Beispiel NS-Generierung

1. Gebäude und Straßendaten sammeln
2. Gebäudeanschlussknoten bestimmen
3. ONS-Knoten bestimmen
4. Voronoi-Zerlegung der Gebäudeanschlussknoten (Definition Netzgruppen)
5. Bestimmung Netzanschlussknoten
6. Bestimmung Straßenkreuzungen
7. Anwendung Steinertree-Heuristik zur Verbindung der Knoten einer Netzgruppe mit ONS

Niederspannungstopologie



 © Fraunhofer IEE

SimBench Sektor

SimBench Sektor Stromnetz

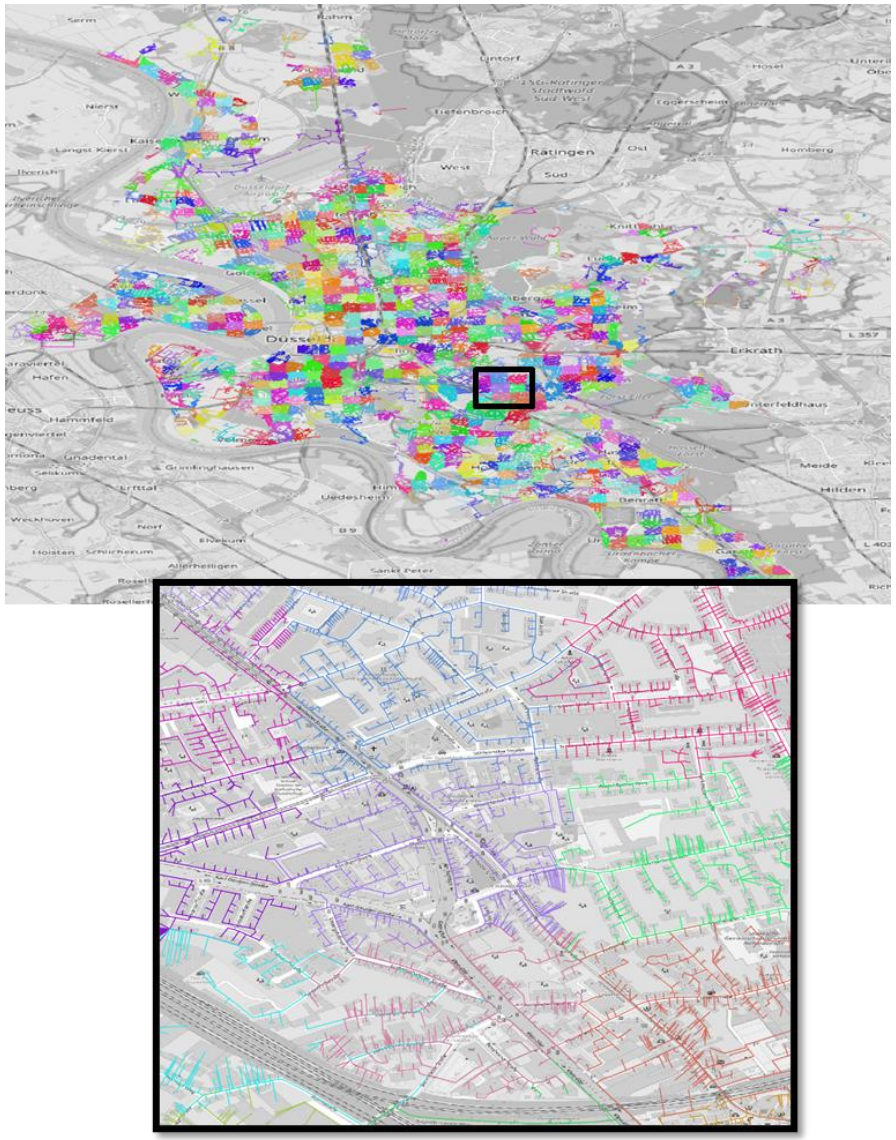
Stromnetzmodell Rheinstadt

Erstellte Netztopologie:

- NS-Netz mit DAVE generiert (911 Netzgruppen)
  - Geographischer Ansatz
- Zuordnung von Leitungs- und Trafotypen
  - Basierend auf Leistungsbilanzierung der Netzknoten und Aggregation nachgelagerter Leistungen
- Verbesserungen der Methodik zur Generierung der NS-Topologie (Fehlerbereinigung und Parallelisierung)

In Arbeit:

- Änderung der Generierung der Netzgruppen von geographischem Ansatz zu einem leistungsbasierten
  - Erstellung von Bilanzzeitreihen pro Gebäude



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor Stromnetz

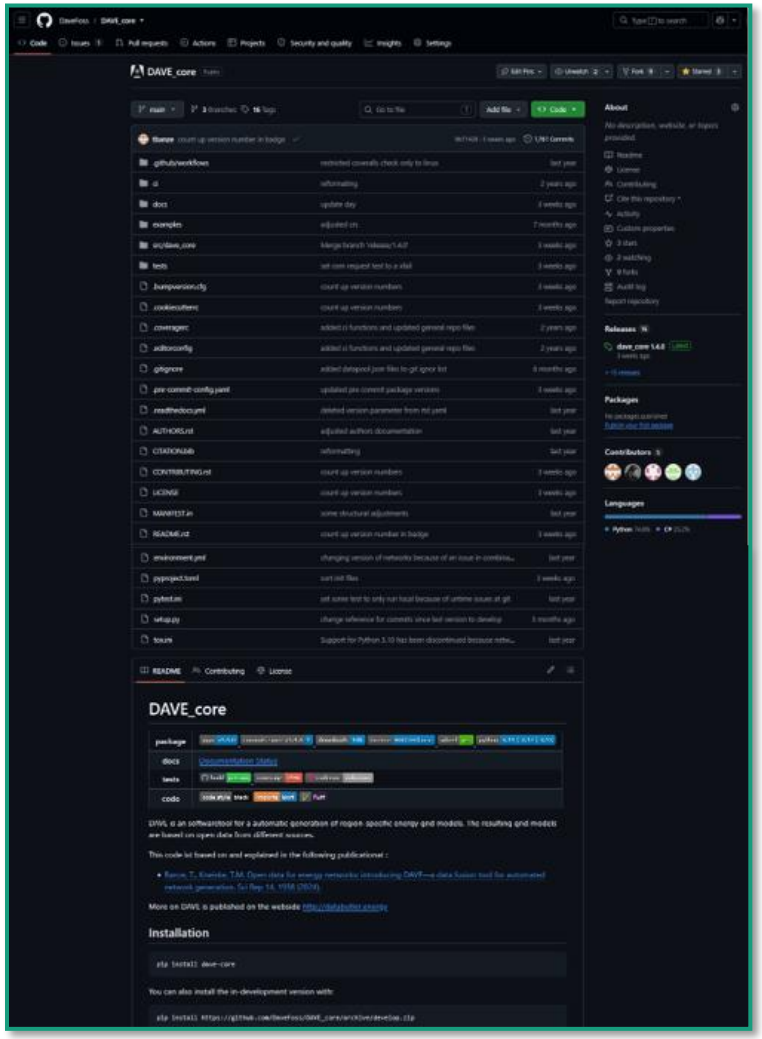
Veröffentlichungen DAVE (open source)

DAVE 1.3.4:

- Fehlerbehebung
- Umstellung internes Koordinatensystem

DAVE 1.4:

- Erstellung von Netzgruppen (geographischer Ansatz)
  - Verwendung Steiner-Tree für Topologiegenerierung
- Parallelisierung



github.com/DaveFoss/DAVE_core

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor Stromnetz

Umsetzung der Szenarien auf das Stromnetz

1 Referenz werte → 2 Interpolation / Extrapolation Stützjahre → 3 Regionalisierung Referenz → Netzgebiet → 4 Ableitung Zielgrößen je Zieljahr

WP Zeitreihen Luft- und Erd-WP aus Simbench

Emob Zeitreihe aus python Bibliothek „emobpy“

PV Zeitreihe aus Simbench

Gebäude und Gebäude Zeitreihen nutzen die SLP vom BDEW

Ergebnis Schritte 1–4 und Szenariodaten: Zielleistung je Technologie für das Zieljahr (2022 / 2035 / 2045)

Katalog Zeitreihen: Zeitreihen für die jeweiligen Last- & Erzeugertechnologien

Gebäudescharfe Zuweisung von Last/Erzeugung und Zeitreihen

Beispiele

Technologie / Asset	Profil-ID	Skalierung
Haushaltsstrom (ohne WP/EV/PV)	HH0	Jahresenergieverbrauch(kWh/a)
Photovoltaik (Dach)	PV01	Installierte Leistung (normiert 0-1)
WP Luft / Sole / Heizstab	hp_air | hp_brine | hp_heizstab	Installierte Leistung (normiert 0-1)
E-Mobilität (Heimladen)	EMOB01	Installierte Leistung 11 kW (normiert 0-1)
Gewerbe / NWG	slp_g0 … slp_g6, slp_l0	Installierte Leistung (normiert BDEW)

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor Stromnetz

Einbindung der Zeitreihen in das Stromnetzmodell

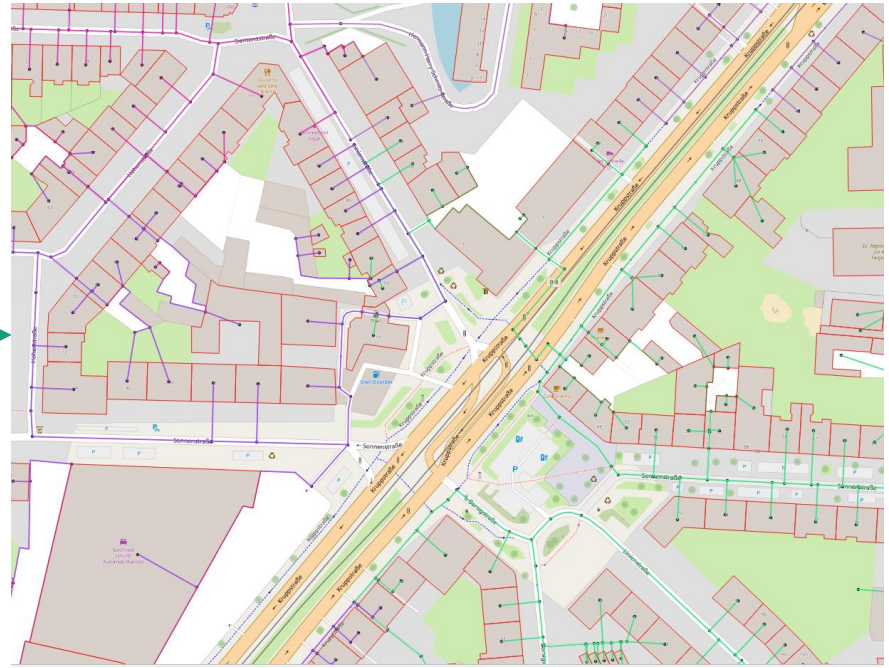
Erzeuger- und Lastzeitreihen



Gebäudedaten (inklusive ID)



Zuordnung der Zeitreihen auf die Gebäude



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Wärmenetz

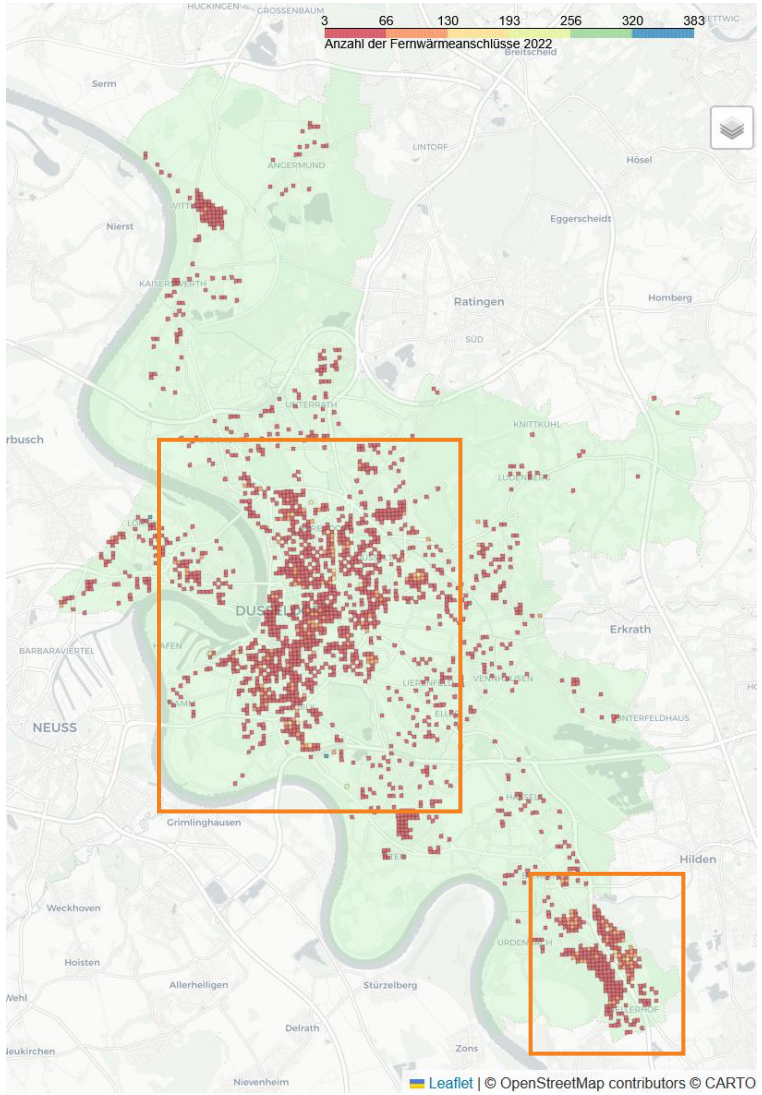
(Annika Heyer, Stefanie Douve)

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Wärmenetzversorgungsgebiete in Rheinstadt

- Keine flächendeckende Versorgung mit Fernwärme in Rheinstadt im Status Quo
- Allgemeine zeichnen sich Wärmenetztypologien durch sehr heterogene Strukturen aus, vorwiegend geprägt durch städtebauliche Gegebenheiten (Stadtraumtypen) und Bedarfsstrukturen

- Welche Stadtraumtypen überwiegen in Fernwärmeversorgungsgebieten?
- Aus welchen Stadtraumtypen setzen sich die Fernwärme-Versorgungsgebiete in Rheinstadt zusammen?
- Wie ist Rheinstadt im deutschlandweiten Vergleich einzuordnen?



Datenbasis: Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.), „Ergebnisse des Zensus 2022: Gebäude- und Wohnungszählung“, 2024, https://www.zensus2022.de/DE/Ergebnisse-des-Zensus/_inhalt.html

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

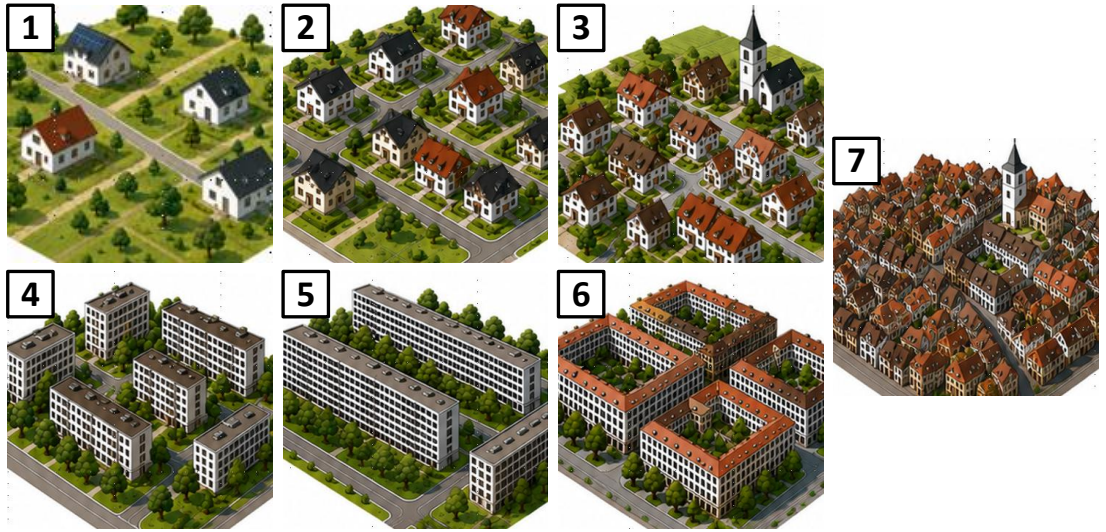
Wärmenetze

Typologisierung

Automatisierte Charakterisierung der für das Energiesystem relevanten städtischen Strukturen

- Datengetriebenes Verfahren unter Kombination von Unsupervised sowie Supervised Machine-Learning Methoden
- Datenbasis: Gebäudeumrisse, Straßendaten, Zensusdaten
- Aggregiert sowie Gebäudespezifisch

Typologie	T
Freistehende Gebäude	T1
Hauptsächlich Ein- und Zweifamilienhäuser	T2
Dorfbebauung	T3
Überwiegend Mehrfamilienhäuser	T4
Große Mehrfamilienhäuser	T5
Innenstadtbebauung	T6
Altstadt	T7



Weitere Informationen: Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.: Abschlussbericht GreenVEgaS

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

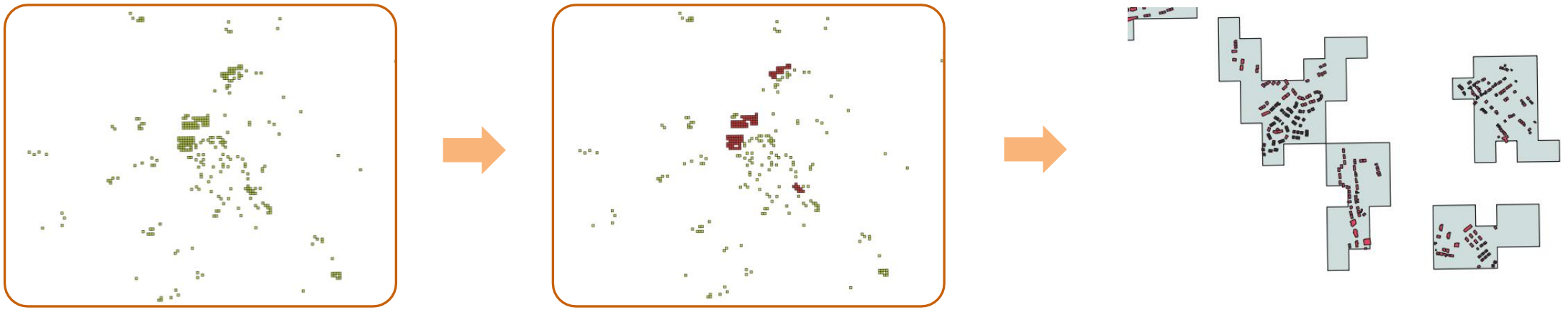
Wärmenetze

Methodik zur statistischen Einordnung von Rheinstadt

Schritt 1:
Extraktion aller Rasterzellen mit Fernwärme aus dem Zensus 2022

Schritt 2:
Definition von Versorgungsgebieten (Cluster mit mind. 10 Rasterzellen)

Schritt 3:
Versorgungsgebiete mit Gebäudedaten aus dem RBM und Typologieinformation verschneiden



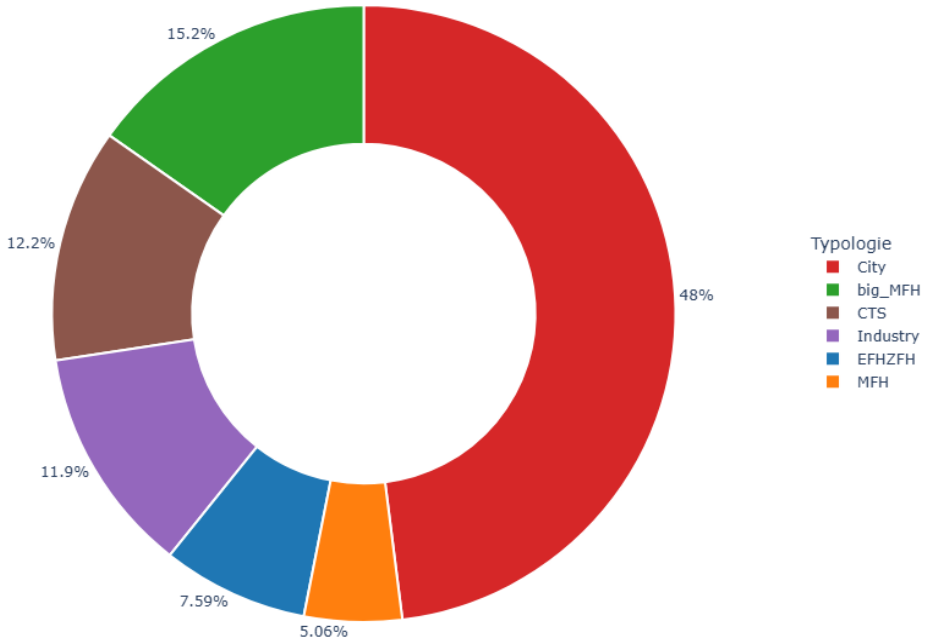
Datenbasis: Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.), „Ergebnisse des Zensus 2022: Gebäude- und Wohnungszählung“, 2024, https://www.zensus2022.de/DE/Ergebnisse-des-Zensus/_inhalt.html

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

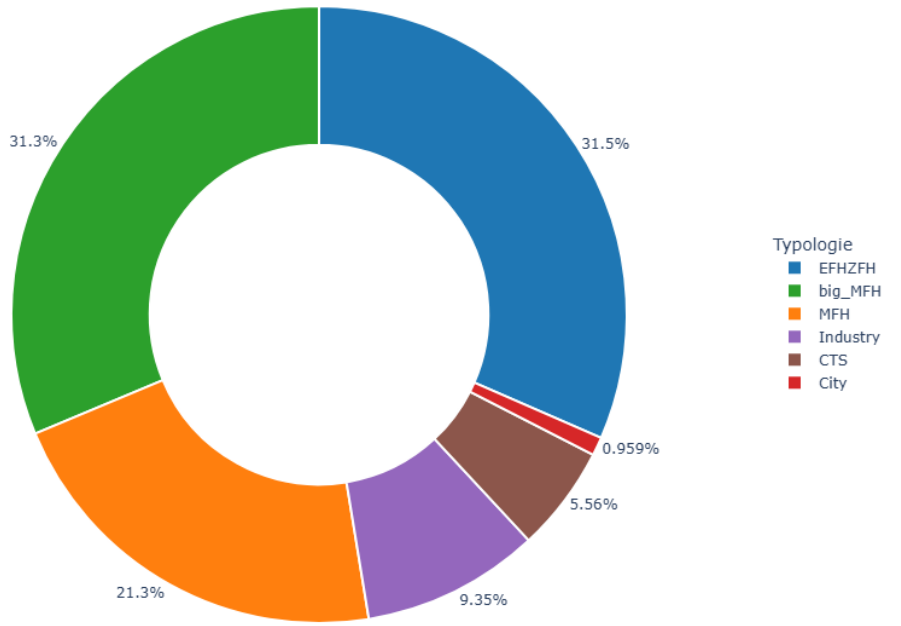
Wärmenetze

Typologieverteilung der Fernwärmeversorgungsgebiete von Rheinstadt

Typologieverteilung Rheinstadt (Innenstadt)



Typologieverteilung Rheinstadt (Süd)

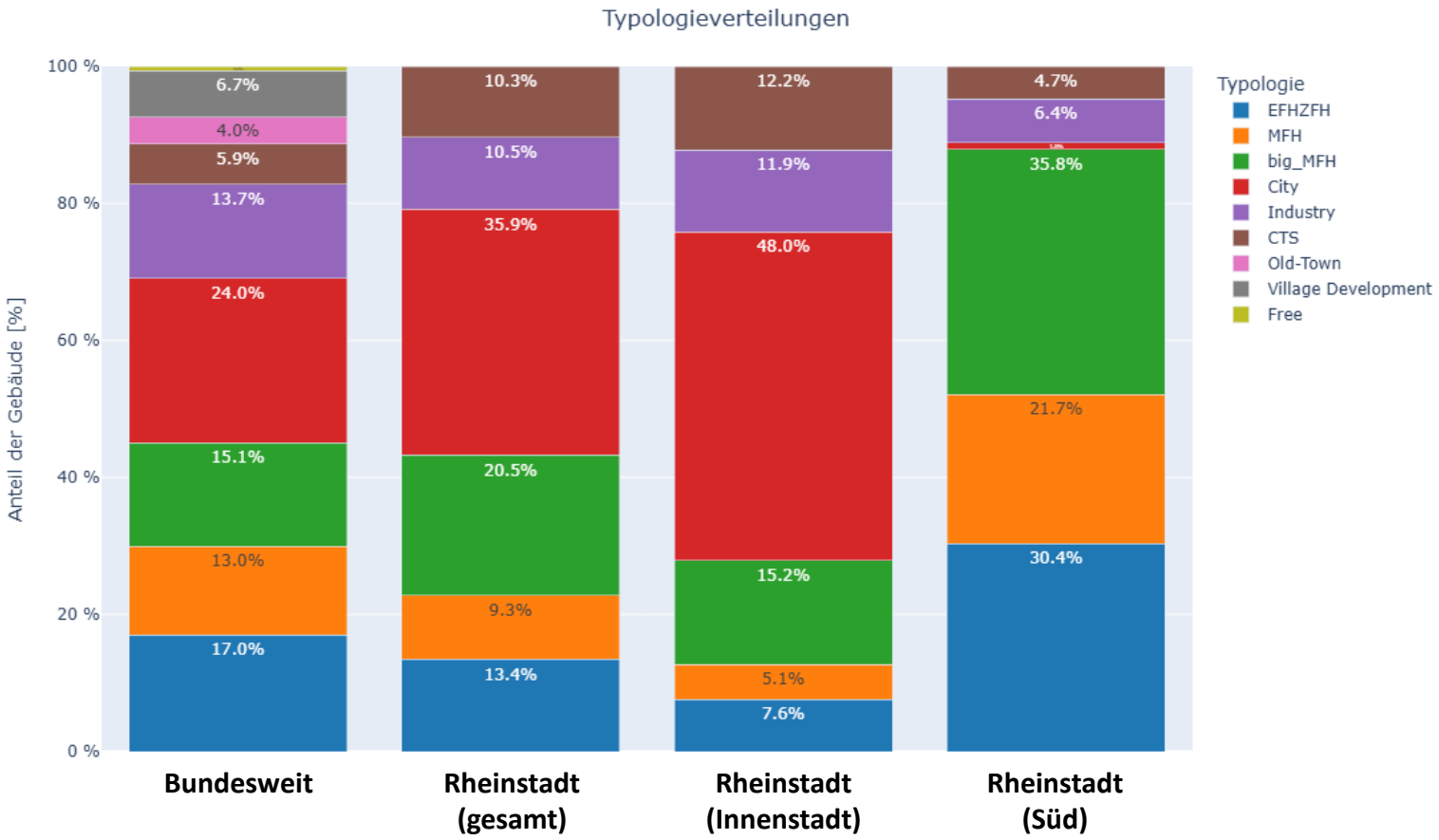


→ Die beiden ausgewählten Netze unterscheiden sich deutlich hinsichtlich der zugrunde liegenden städtebaulichen Strukturen

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Wärmenetze

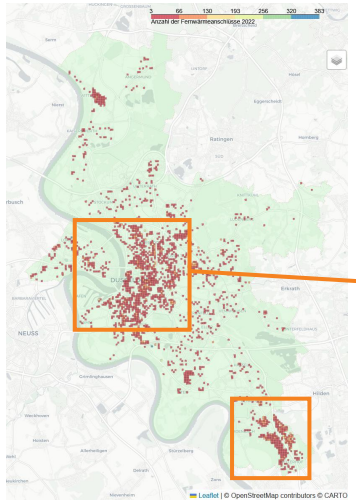
Statistische Einordnung der Fernwärmeversorgungsgebiete von Rheinstadt

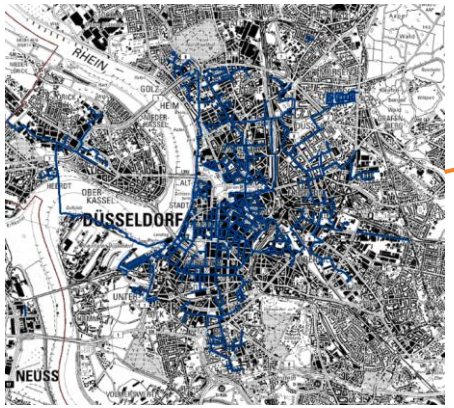


© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Erstellung Simulationsmodell Rheinstadt Innenstadt

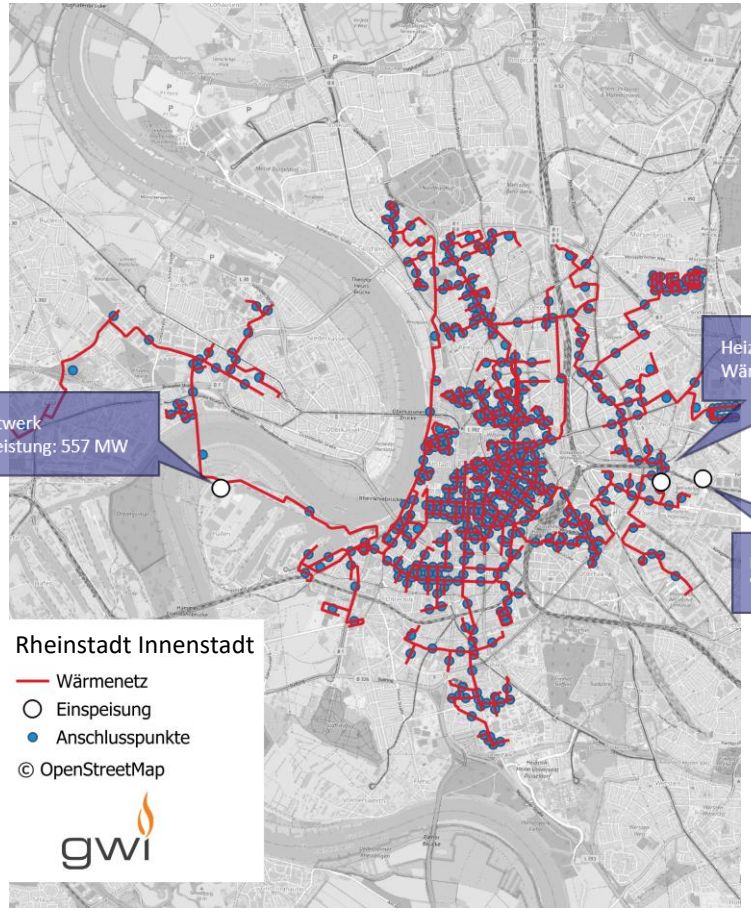
Bestehende Fernwärmeanschlüsse Rheinstadt



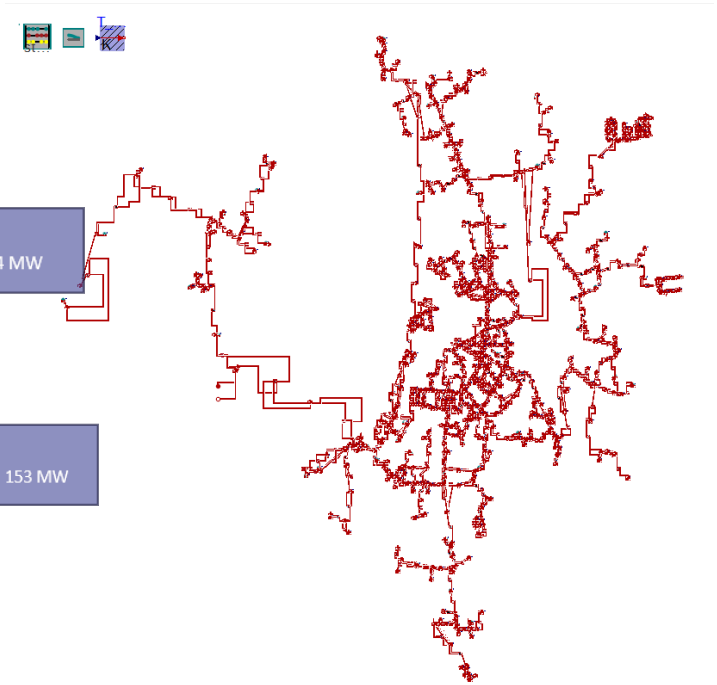


https://www.energieatlas.nrw.de/

Gis-Daten-Modell auf Baublockebene

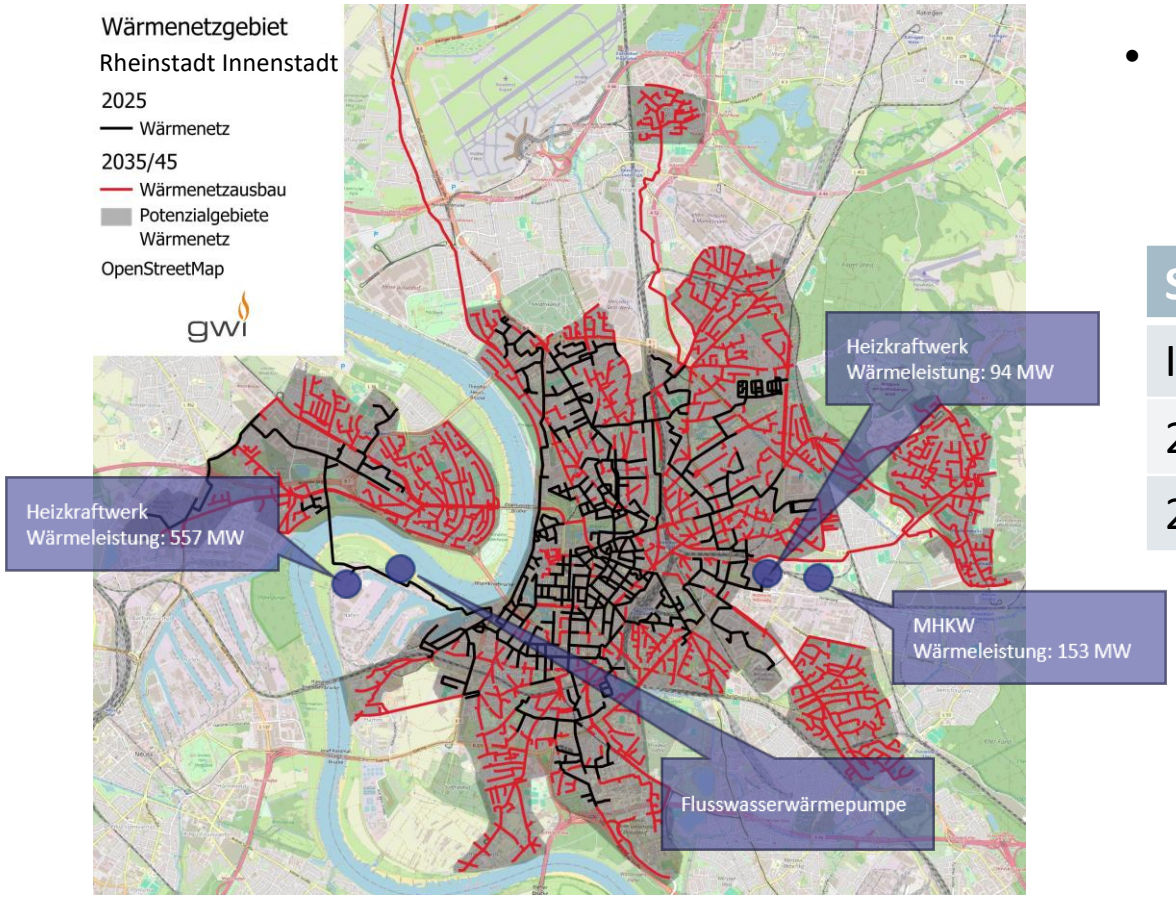


Modelica-Modell



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Zukunftsszenarien Rheinstadt Innenstadt

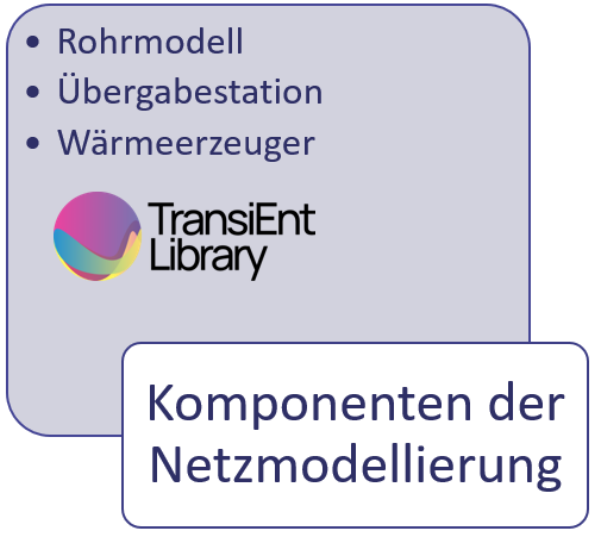


- Umstellung der Heizkraftwerke auf Wasserstoff und zusätzliche Flusswasserwärmepumpe als Wärmeerzeuger

Szenario	Anzahl Anschlussknoten	Wärmebedarf in GWh
Ist Zustand	543	720
2035	2404	1307
2045	2404	1628

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Automatisierte Modellgenerierung: AutoGrid



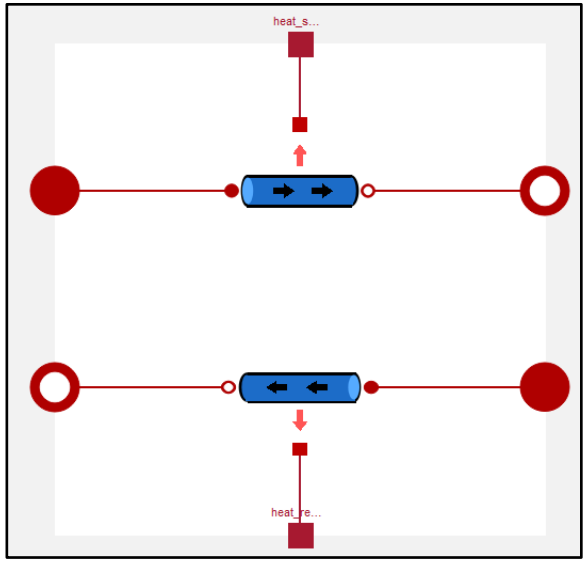
TransiEnt Bibliothek: https://github.com/TransiEnt-official/transient-lib/releases

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

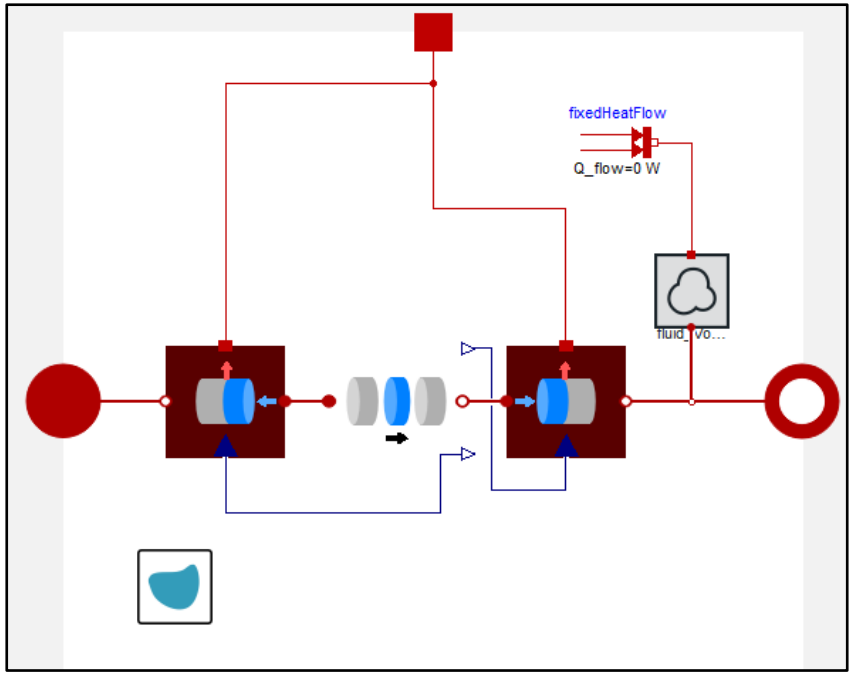
Komponenten der Netzmodellierung: Rohrmodell

- Verwendung des Doppelrohrmodells Components.Heat.VolumesValvesFittings.Pipes.DoublePipePair_L2 aus der TransiEnt [1]
- Berechnung des Wärmeverlustes mit Hilfe der Verweilzeit nach [2]:
  - Austrittstemperatur $T_o = T_e + (T_i - T_e)\, e^{\frac{-\tau}{c_{dL} * R_{dL}}}$
  - Wärmeverlust $\dot{Q}_{Verlust} = \dot{m} * c_p * (T_i - T_o)$

mit
T_i: Eintrittstemperatur
T_e: Umgebungstemperatur
τ: Verweilzeit
R_{dL}: Thermischer Widerstand
C_{dL}: Wärmekapazität des Wärmeträgers



DoublePipePair_L2



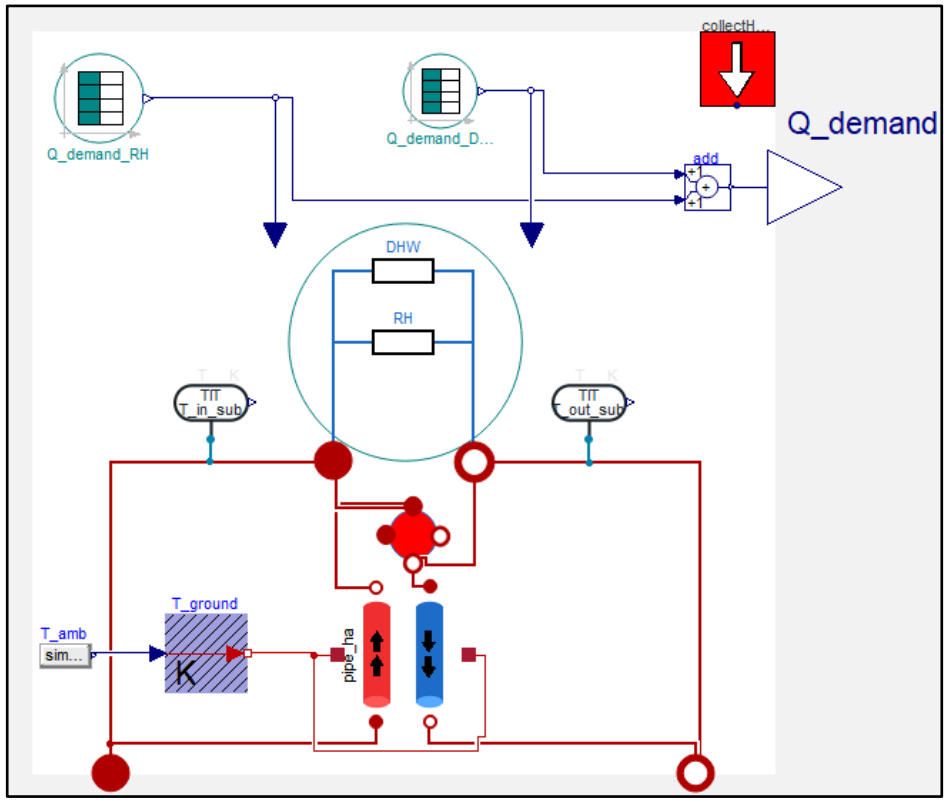
SinglePipe_L2

[1] TransiEnt Bibliothek: https://github.com/TransiEnt-official/transient-lib/releases
[2] Heijde, B.; Fuchs, M. et al.: *Dynamic equation-based thermo-hydraulic pipe model for district heating and cooling systems* in: Energy Conversion and Management, 151. Jg., 2017, S. 158 – 169. DOI – 10.1016/j.enconman.2017.08.072.

 © Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Komponenten der Netzmodellierung: Gebäudemodell

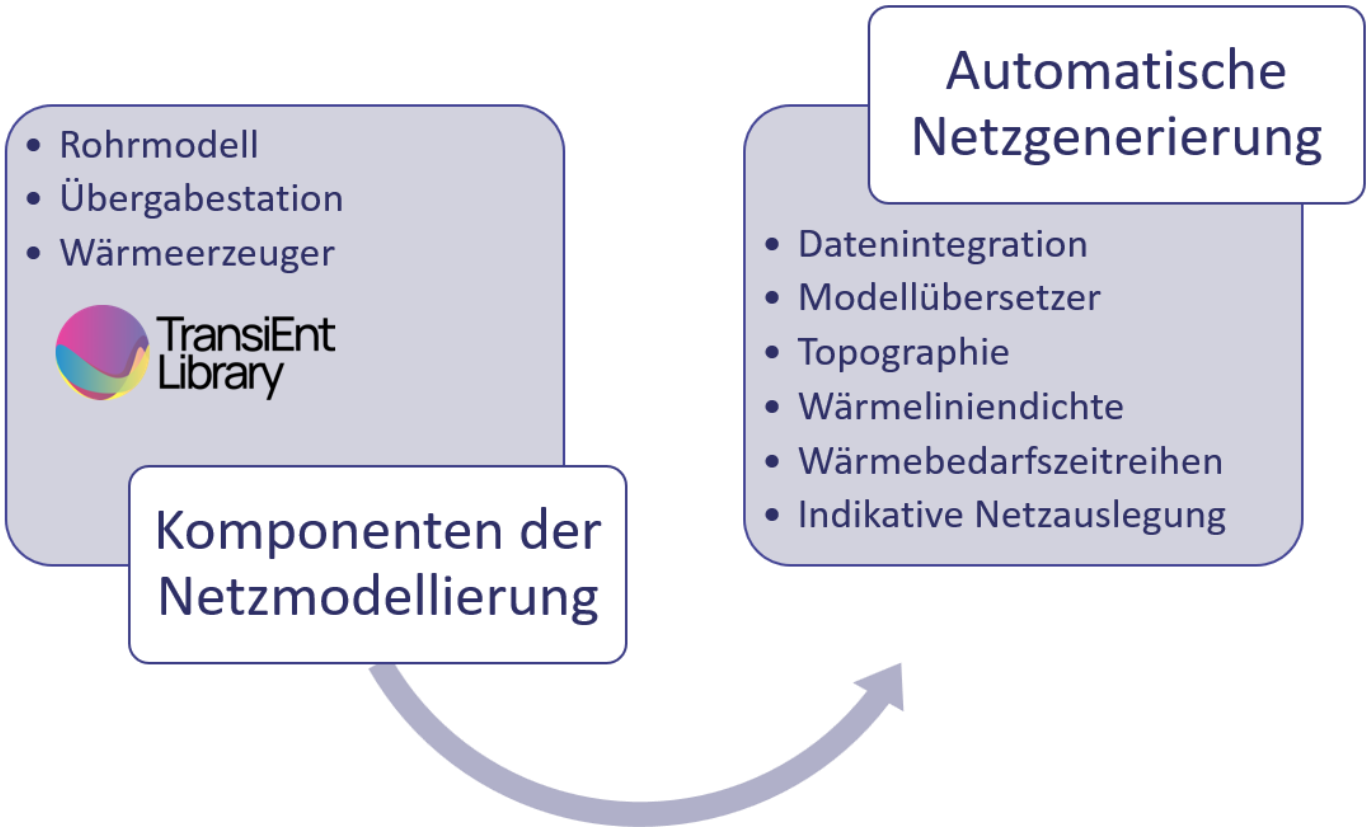
- Verwendung des Verbrauchermodells *Consumer.Heat.HeatConsumerSubstation* [1]
- Zeitreihen für Raumwärme- und Warmwasserbedarf
- Wärmeübergabestation *Heat2Heat.Substation_indirect_noStorage_L1:*
  - Vereinfachtes Modell einer indirekten Fernwärmeübergabestation ohne Speicher
  - Bedarfsabhängige Berechnung der erforderlichen Massenströme bei konstanter Temperaturdifferenz
- Optionale Abbildung der Hausanschlussleitung



[1] TransiEnt Bibliothek: https://github.com/TransiEnt-official/transient-lib/releases

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

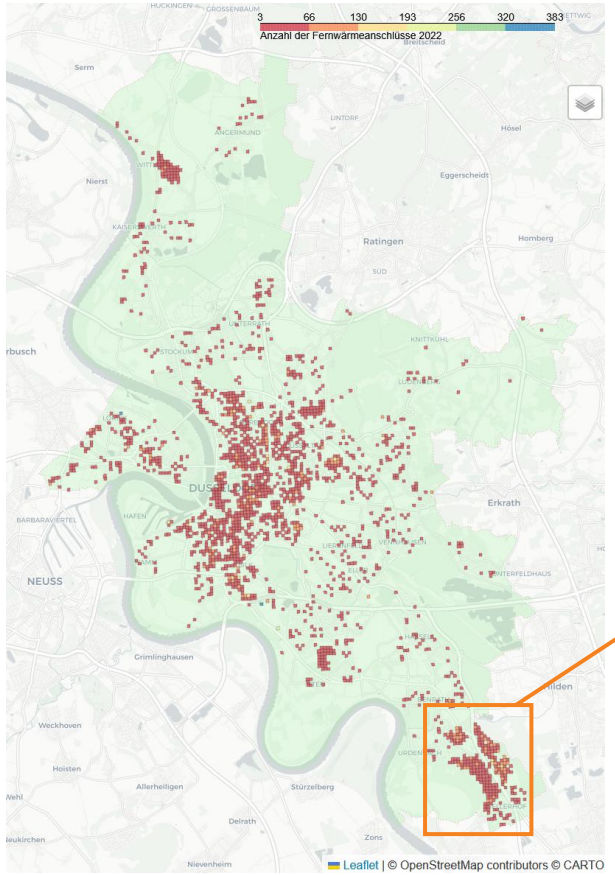
Automatisierte Modellgenerierung: AutoGrid

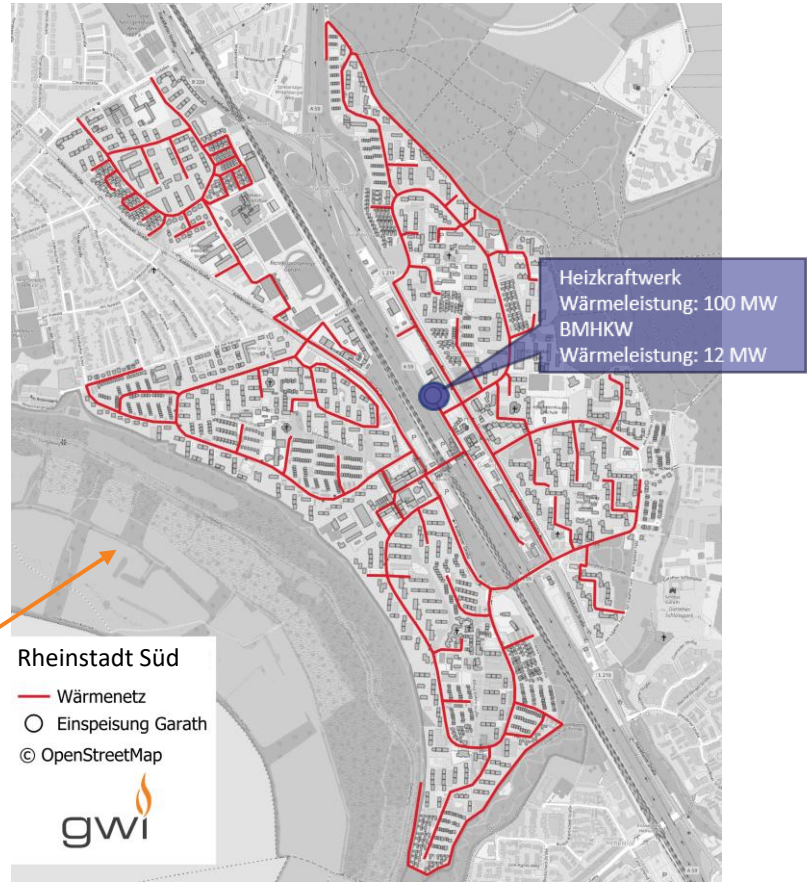


© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Erstellung Simulationsmodell Rheinstadt Süd

Bestehende Fernwärmeanschlüsse Rheinstadt





Gis-Daten-Modell auf Baublockebene

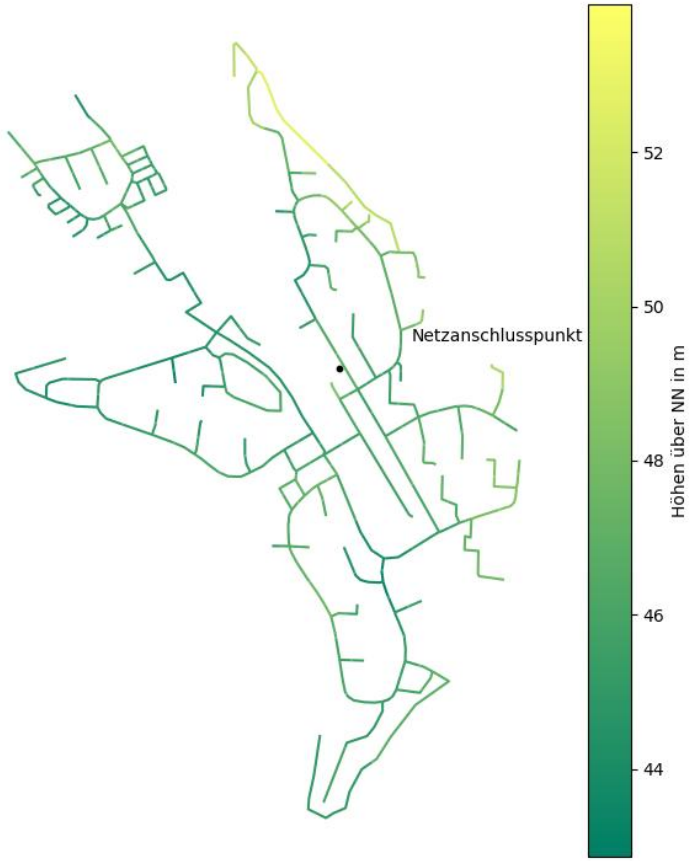
Parametrisierung des Netzmodells

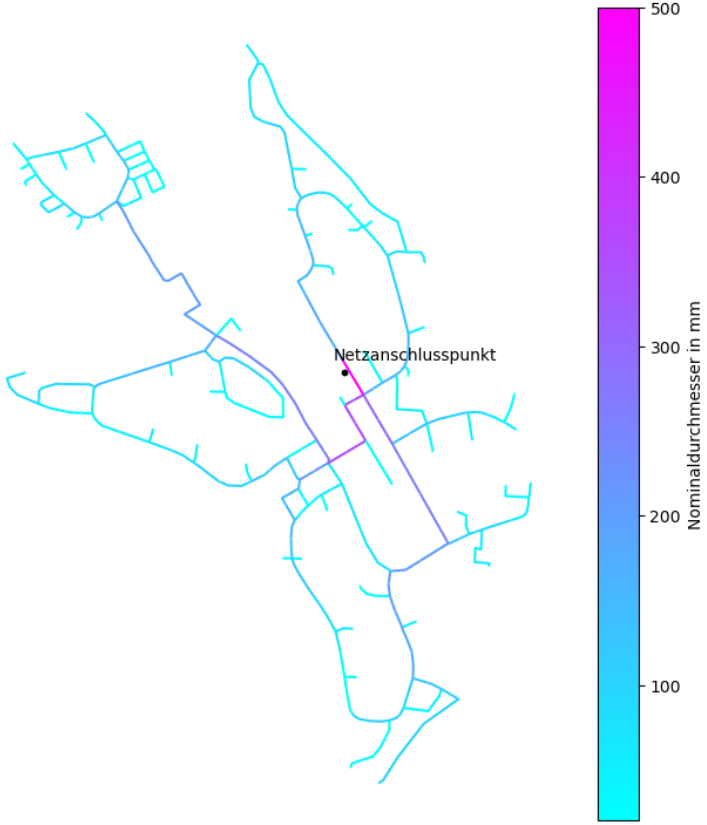
- Netzverlauf aus Fernwärmeplanungskarten des Energieatlas NRW
- Jahreswärmebedarfe auf Baublockebene aus Agenten-Modell des Fraunhofer IEE und Bestimmung des über Fernwärme bereitgestellten Wärmebedarfes je Baublock
- Generierung von Lastprofilen aus Jahresenergiebedarfen über Standardlastprofile anhand Gebäudeklassifizierung

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Erstellung Simulationsmodell Rheinstadt Süd

Berücksichtigung der Topografie [1]



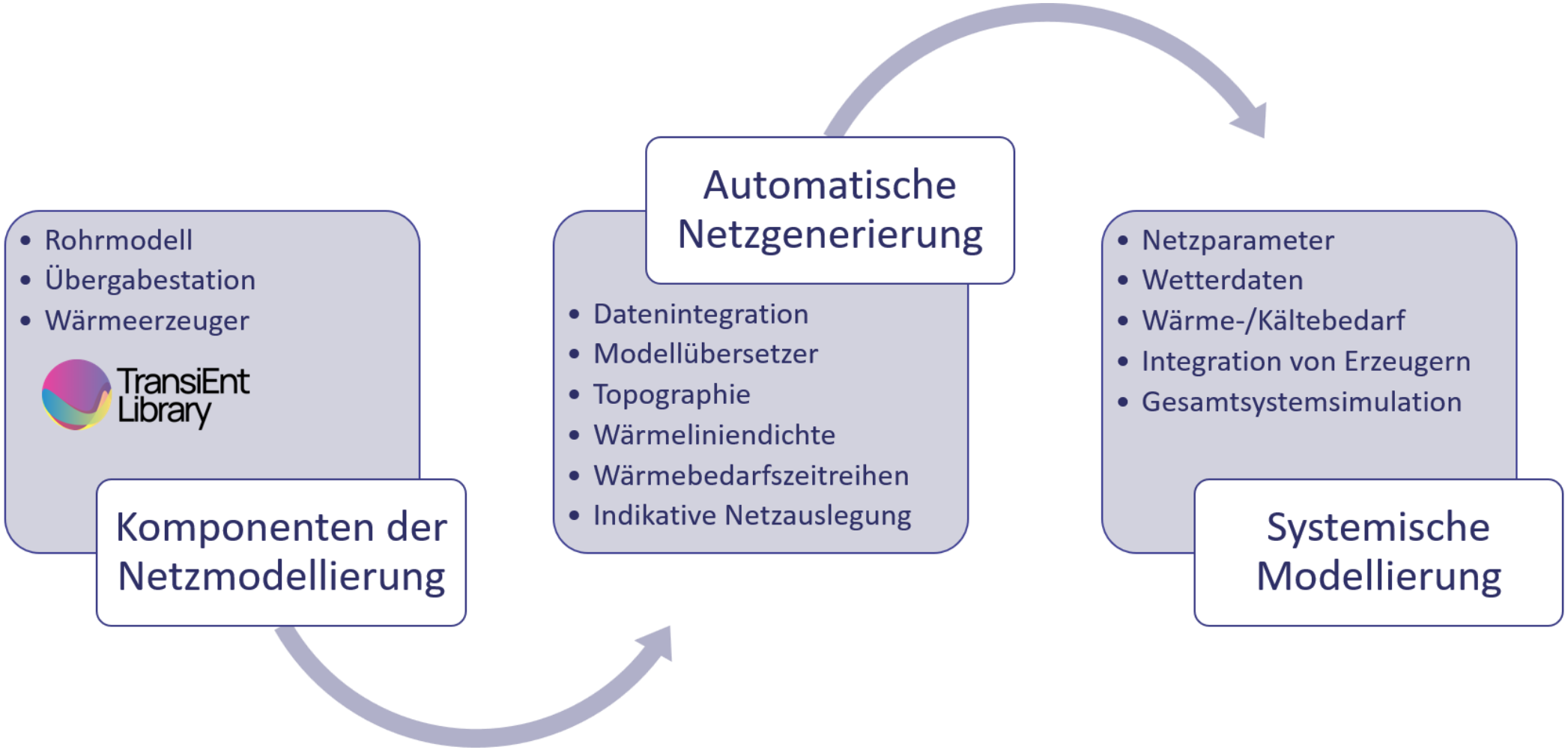


Anwendung von AutoGrid zur Bestimmung der resultierenden Nominaldurchmesser

[1] https://www.opentopodata.org/

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

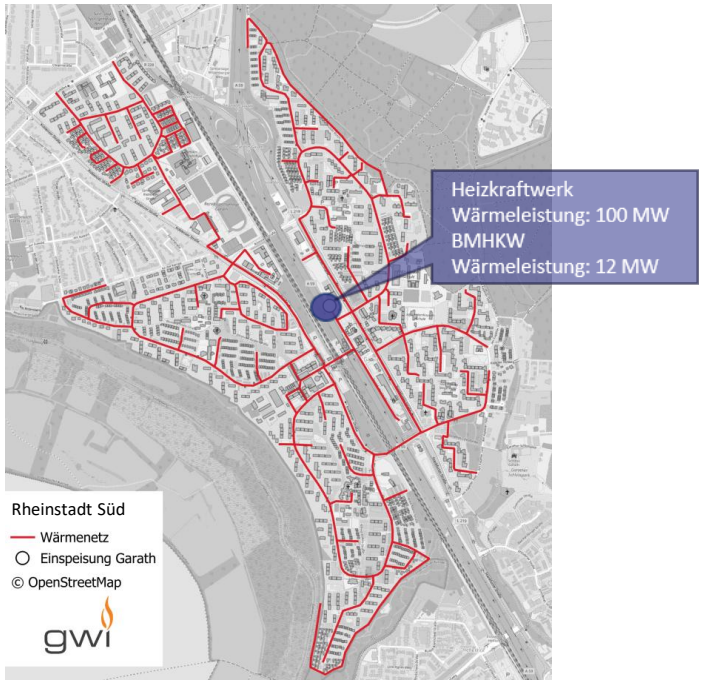
Automatisierte Modellgenerierung: AutoGrid

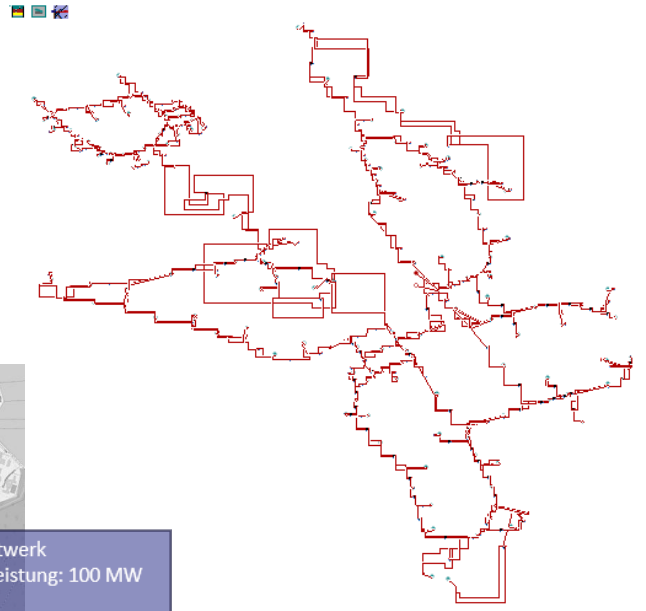


© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Erstellung Simulationsmodell Rheinstadt Süd

- Automatische Generierung des Netzmodells in Dymola mit Komponenten der TransiEnt Library
- Manuelle Integration der Erzeuger
  - Biomasseheizkraftwerk Garath 12 MW
  - Fernwärmekessel Garath 100 MW

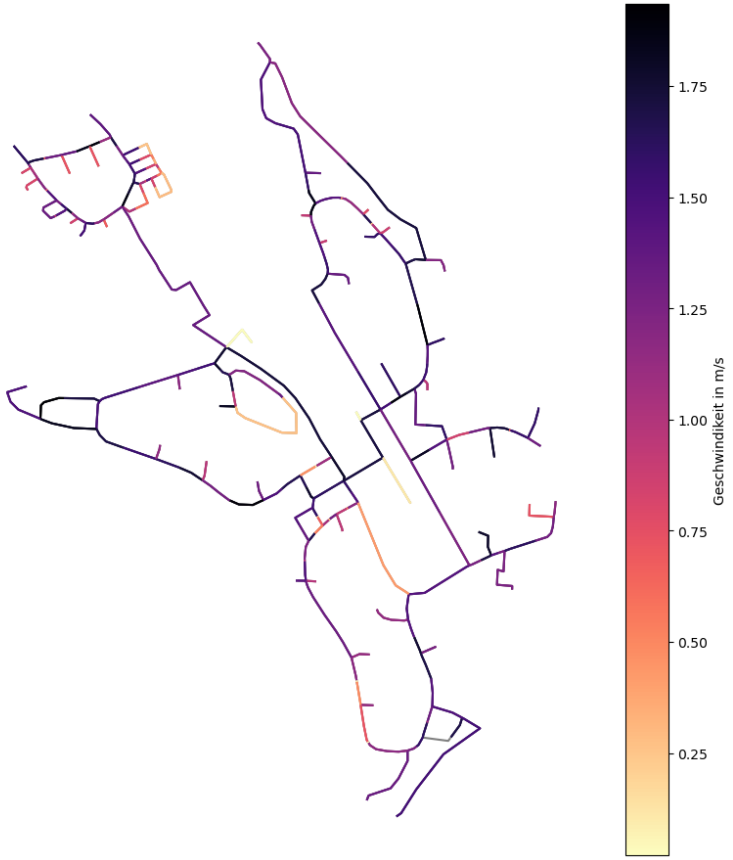




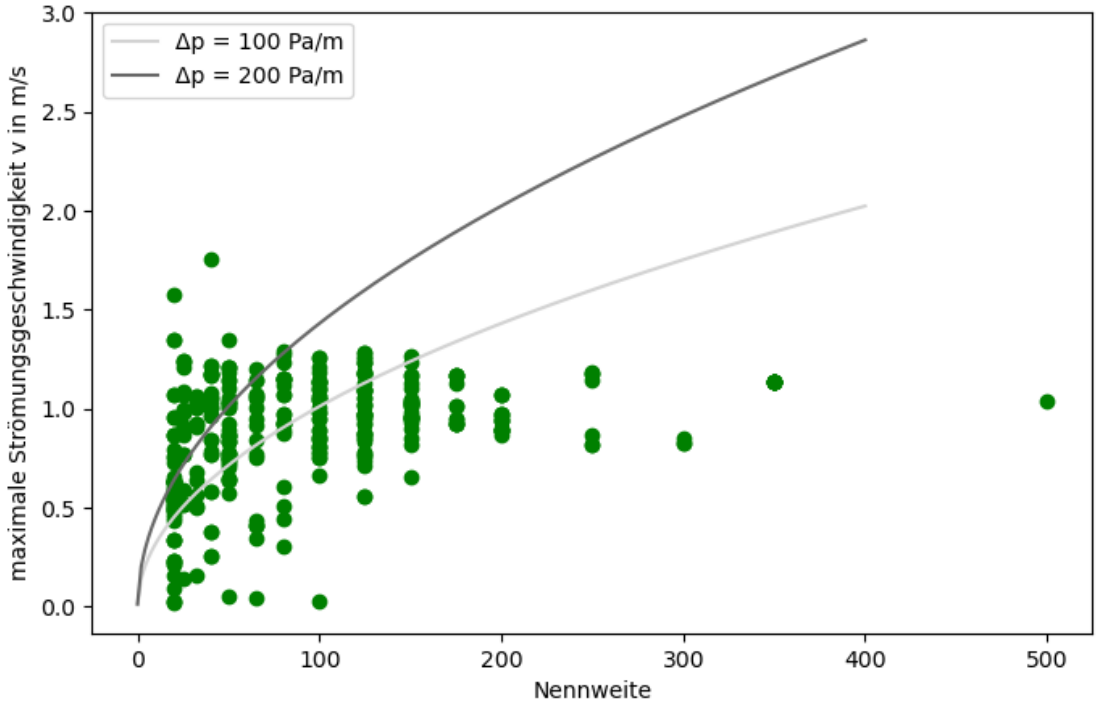
Modelica-Modell

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Auswertung Ist-Zustand



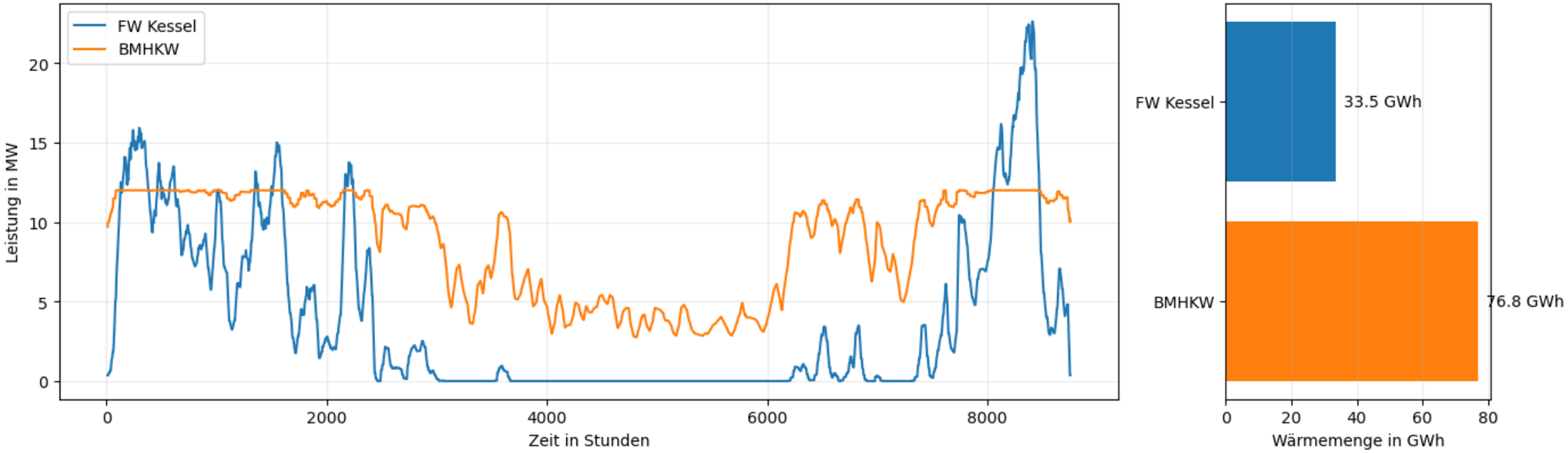
Maximale Fließgeschwindigkeit im Jahr 2022



maximale Fließgeschwindigkeiten im Jahr 2022

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Auswertung Ist-Zustand

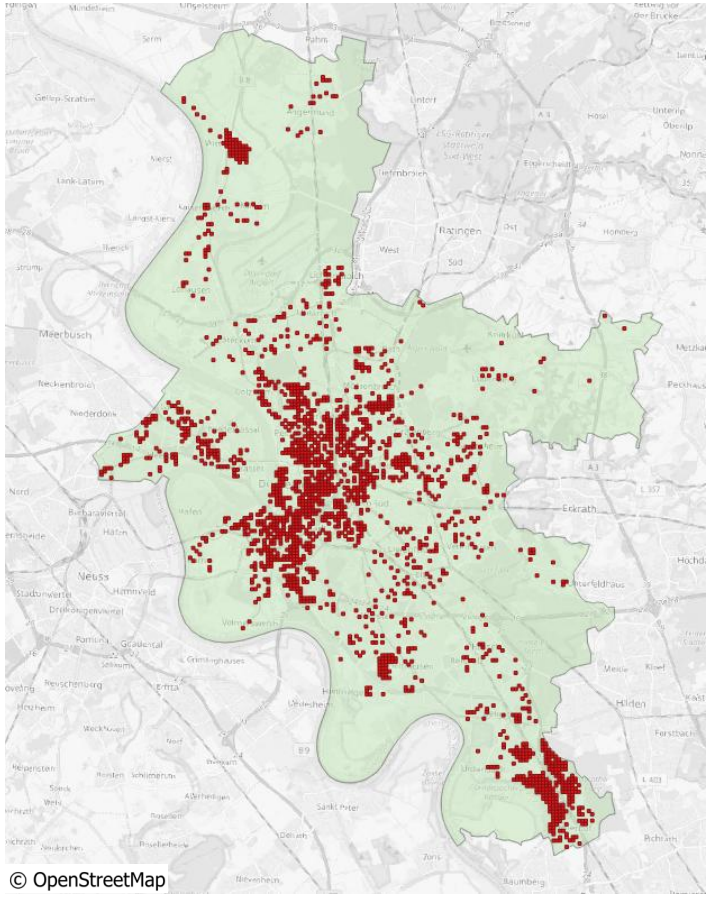


Gleitender 24h - Mittelwert der erzeugten Leistung nach Kraftwerk und erzeugte Wärmemenge nach Kraftwerk

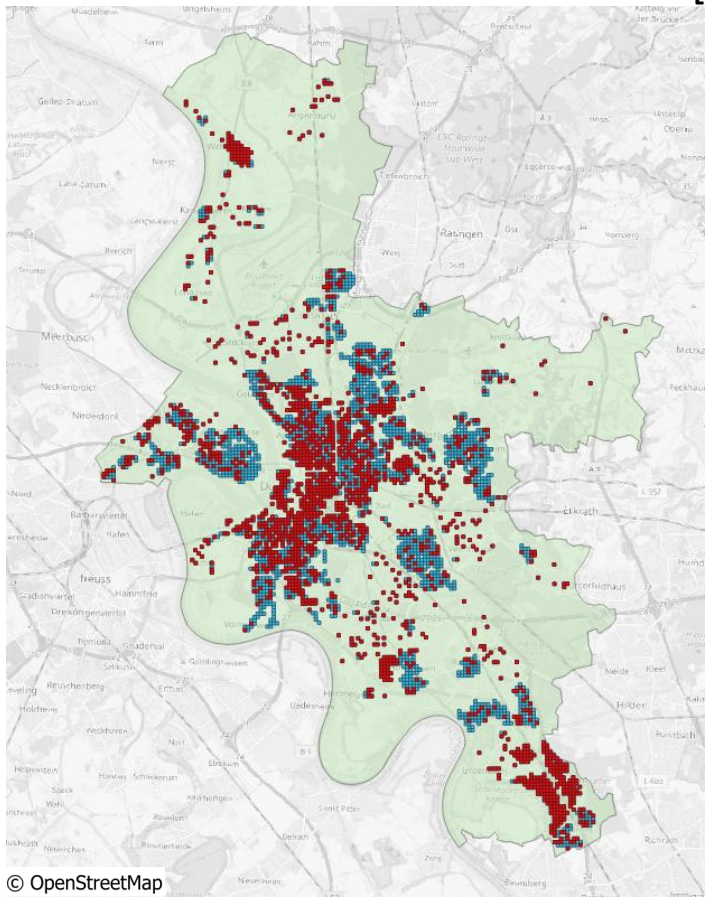
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Ausbaupotenzialgebiete Fernwärme Rheinstadt

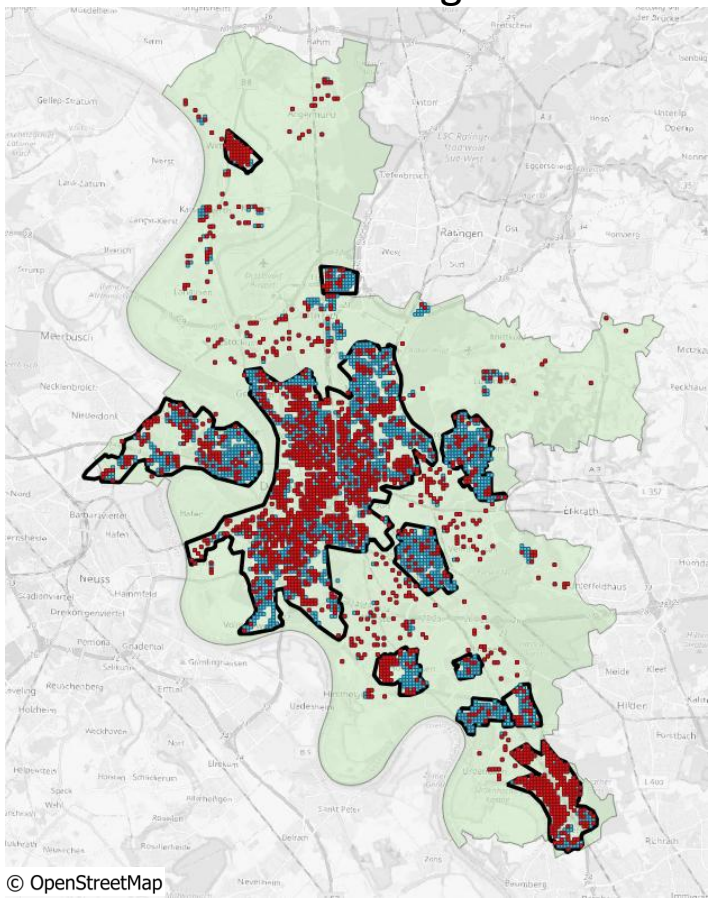
Fernwärmeanschlüsse 2022



Rasterzellen mit Fernwärme 2045 [1]



Fernwärme-Potenzialgebiete 2045

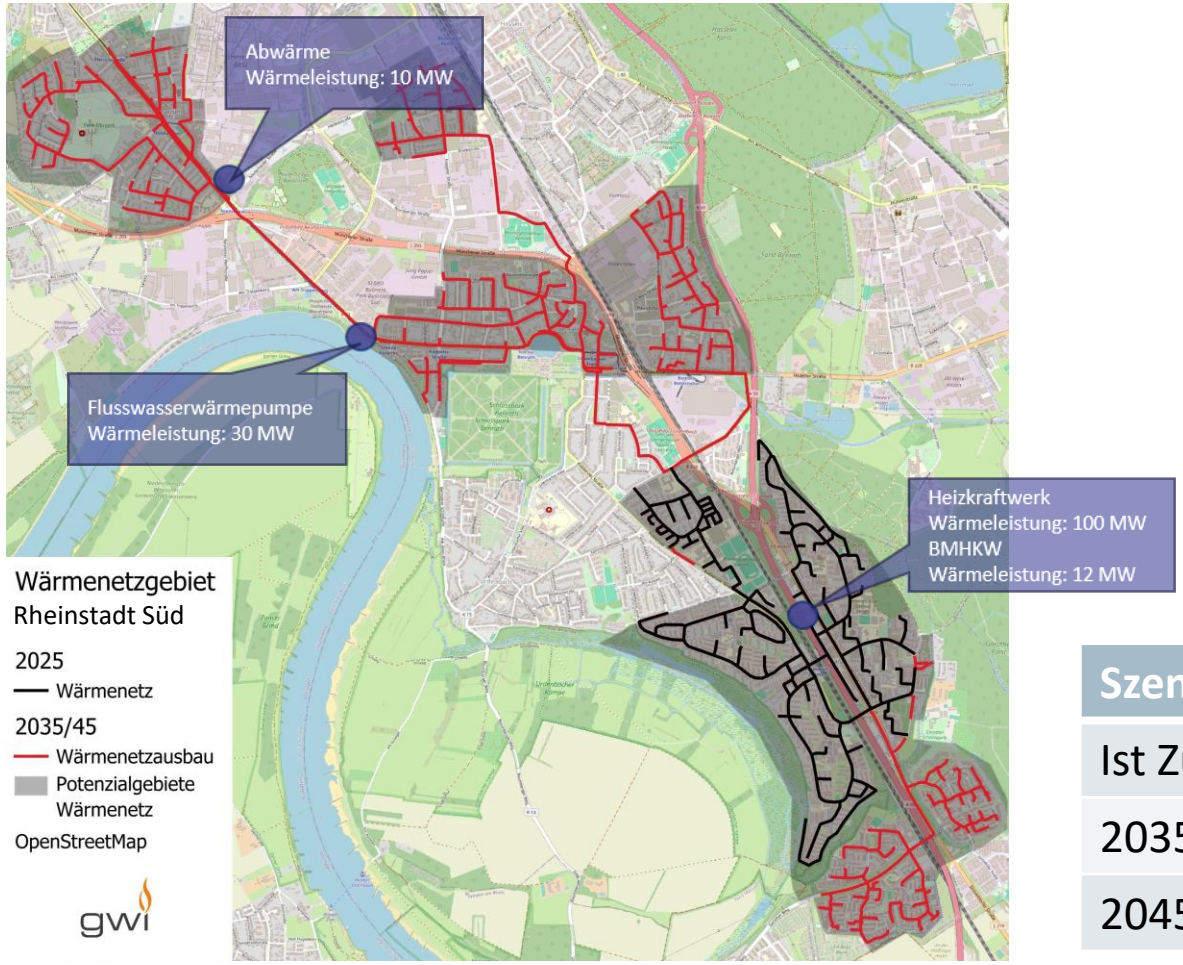


[1] Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.: Abschlussbericht GreenVEgaS

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Szenario Erzeuger Rheinstadt Süd



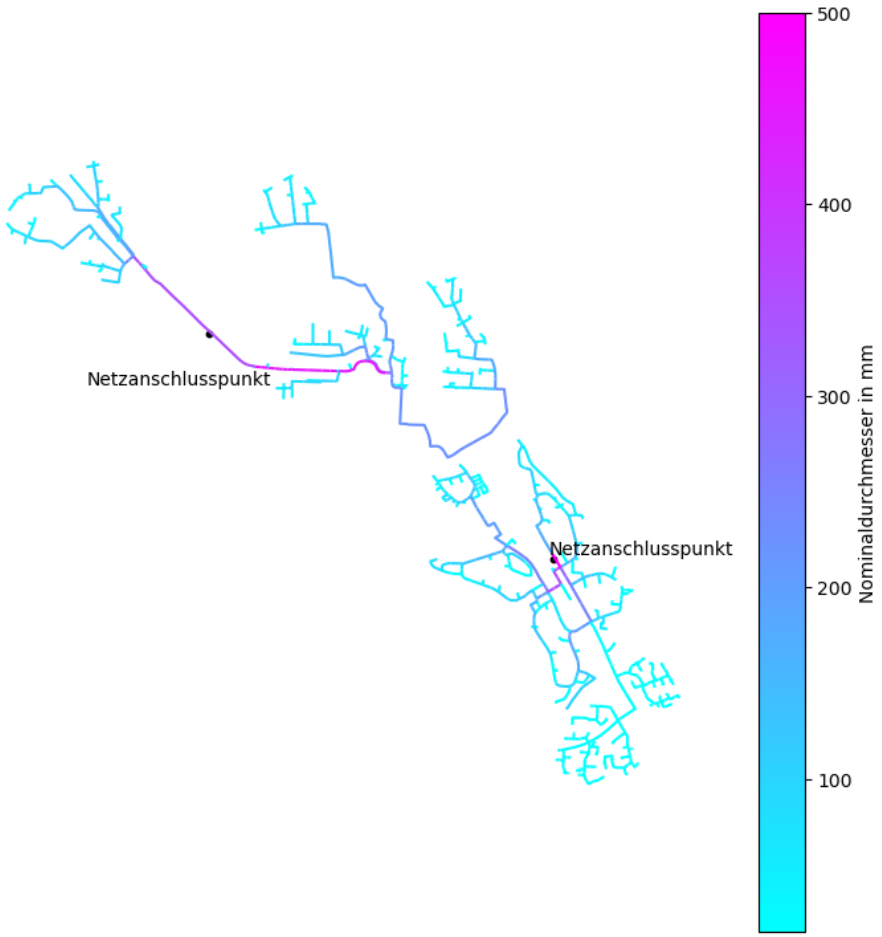
Priorisierung Erzeuger:

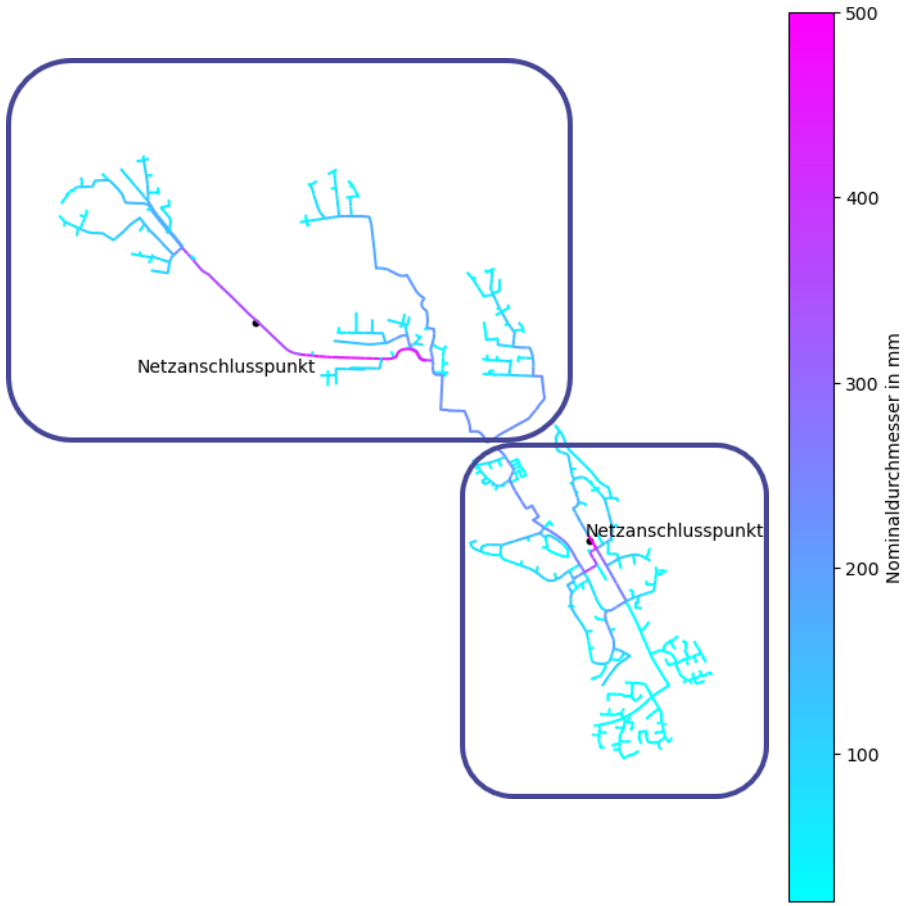
1. Abwärme 10 MW
2. Biomasseheizkraftwerk 12 MW
3. Flusswasserwärmepumpe 30 MW
4. Wasserstoffheizkraftwerk 100 MW

Szenario	Anzahl Anschlussknoten	Wärmebedarf in GWh
Ist Zustand	149	110
2035	455	196
2045	455	221

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Netzerweiterung Zukunftsszenarien Rheinstadt Süd

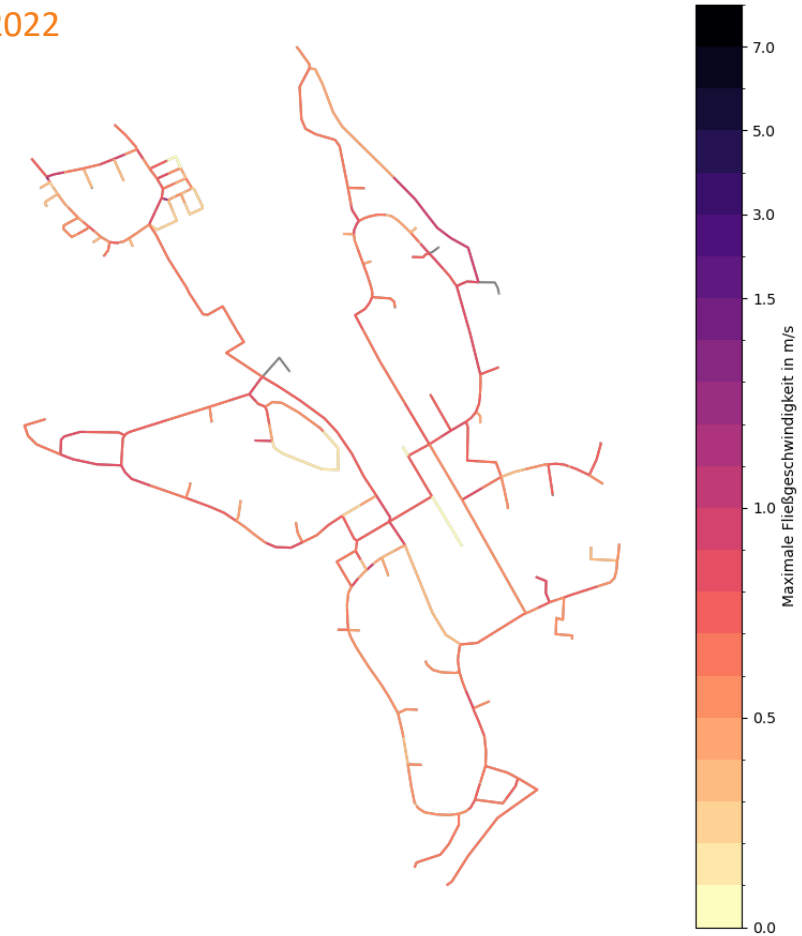




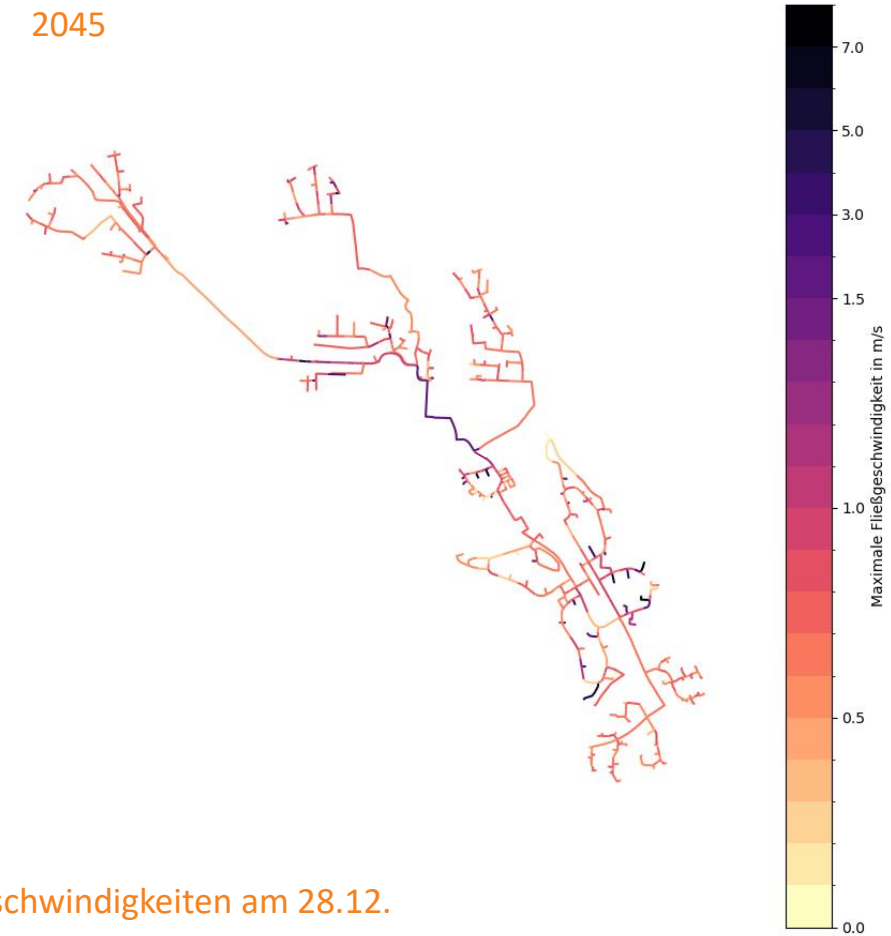
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Auswertung
2045

2022



2045

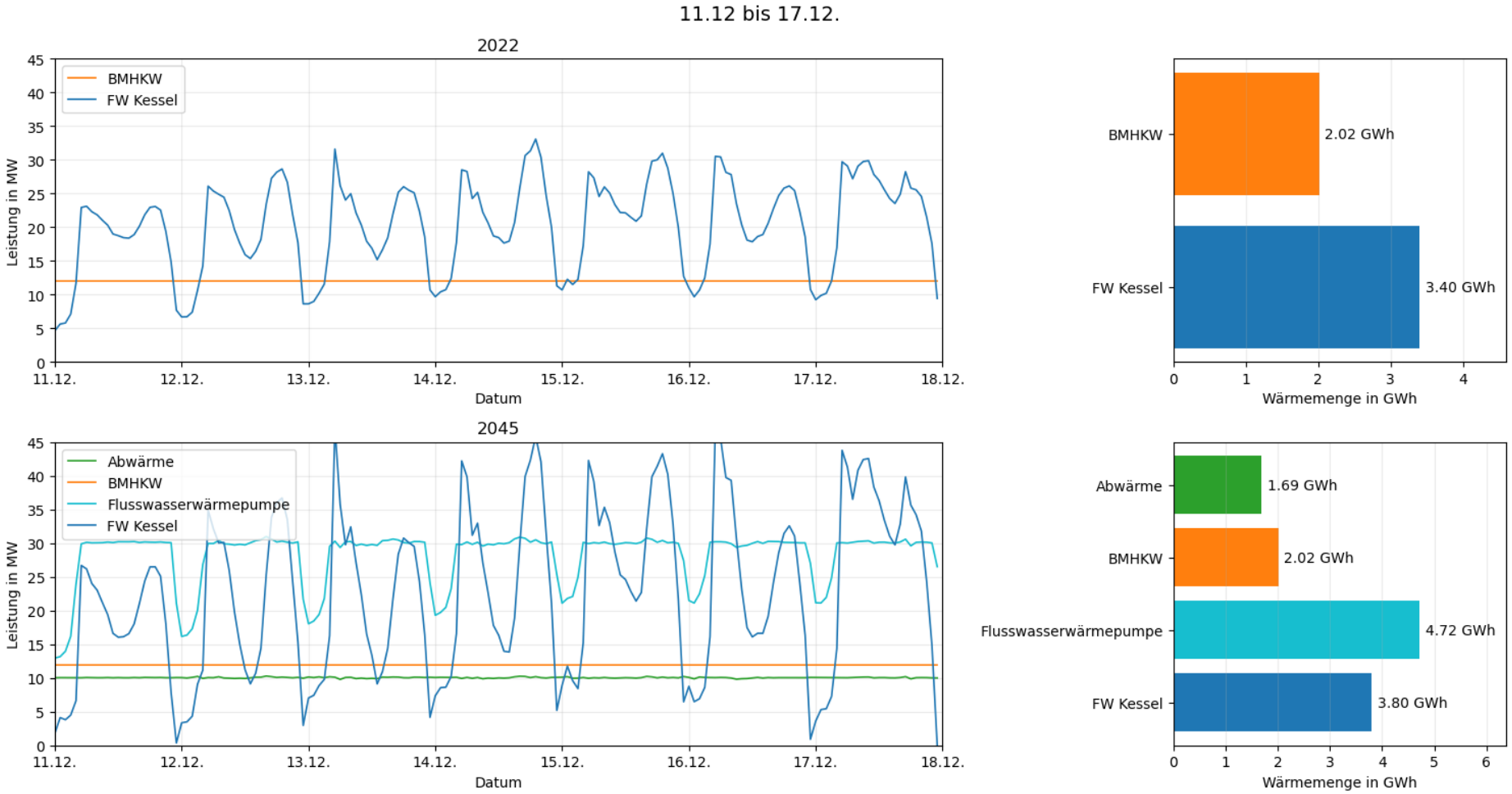


Maximale Fließgeschwindigkeiten am 28.12.

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Auswertung

2045



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Zusammenfassung Wärmenetze

- Für die beiden Referenznetze Rheinstadt Innenstadt und Süd wurde ein konsistenter Datensatz für die Wärmeerzeuger, -verbraucher und -netze für den Ist-Zustand und die beiden Szenarienjahre 2035 und 2045 erstellt
- Die Typologieverteilungen der beiden Referenzgebiete ergänzen sich und rahmen bei wesentlichen Stadtraumtypen den Bundesschnitt ein
- Die beiden Referenznetze wurden mit der vorgestellten Methodik in Dymola modelliert und simuliert
- Die Simulationen werden finalisiert und die Daten werden für die Veröffentlichung vorbereitet

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Gasnetz

(Tanja Clees, Svenja Enning, Malte Pfennig-Janowitz, Steffen Schedler, Barbara Schiffer)

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Übersicht

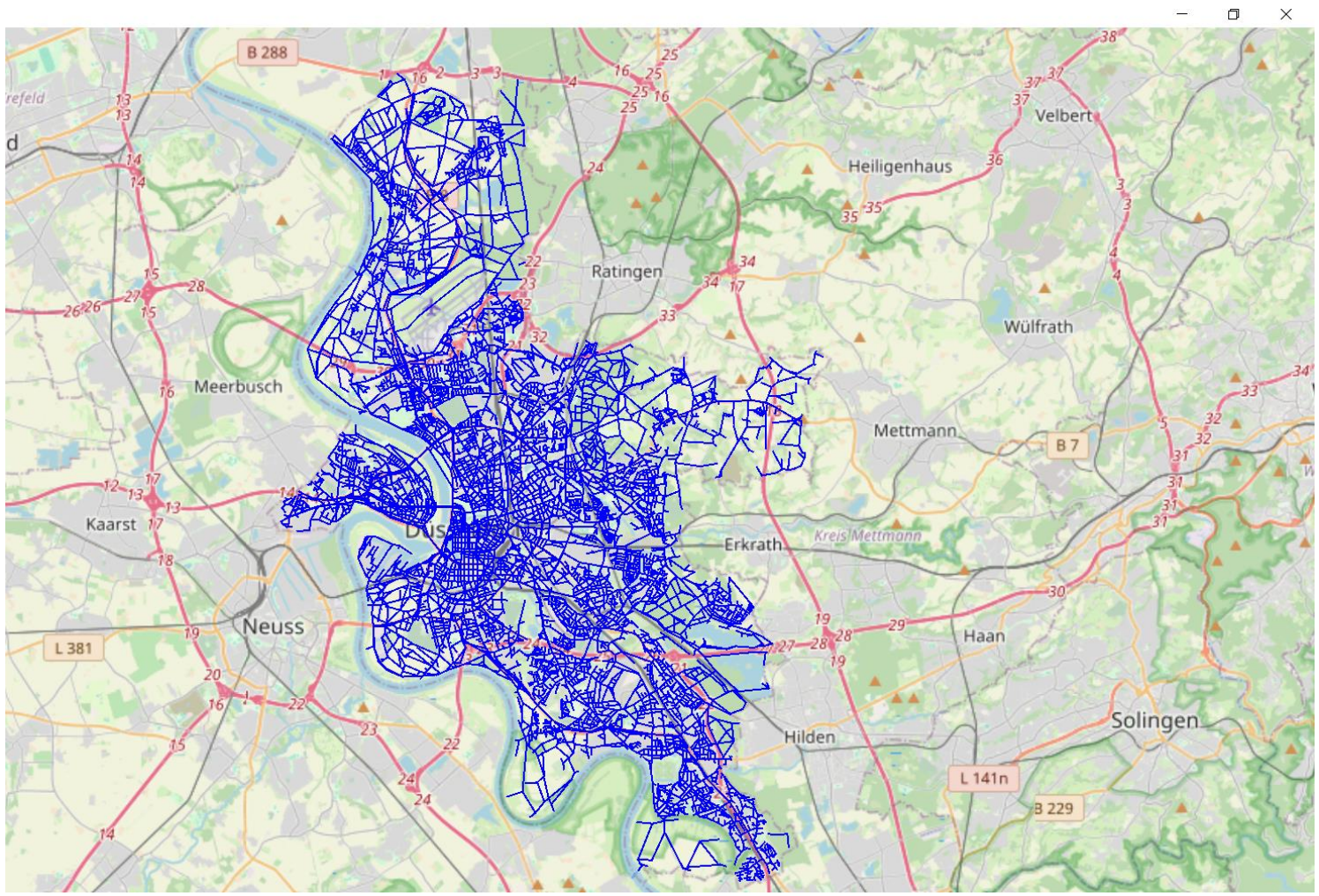
- Modell Rheinstadt
  - Methodenentwicklung
  - Szenarien und beispielhafte Ergebnisse
- Modell Rheinstadt-Residualnetz
  - beispielhafte Ergebnisse
- Modell Rheinstadt-H2
  - beispielhafte Ergebnisse
- Modell H2-Transport
  - Erstellung
  - Beispielszenario
- Ausblick

Modell Rheinstadt

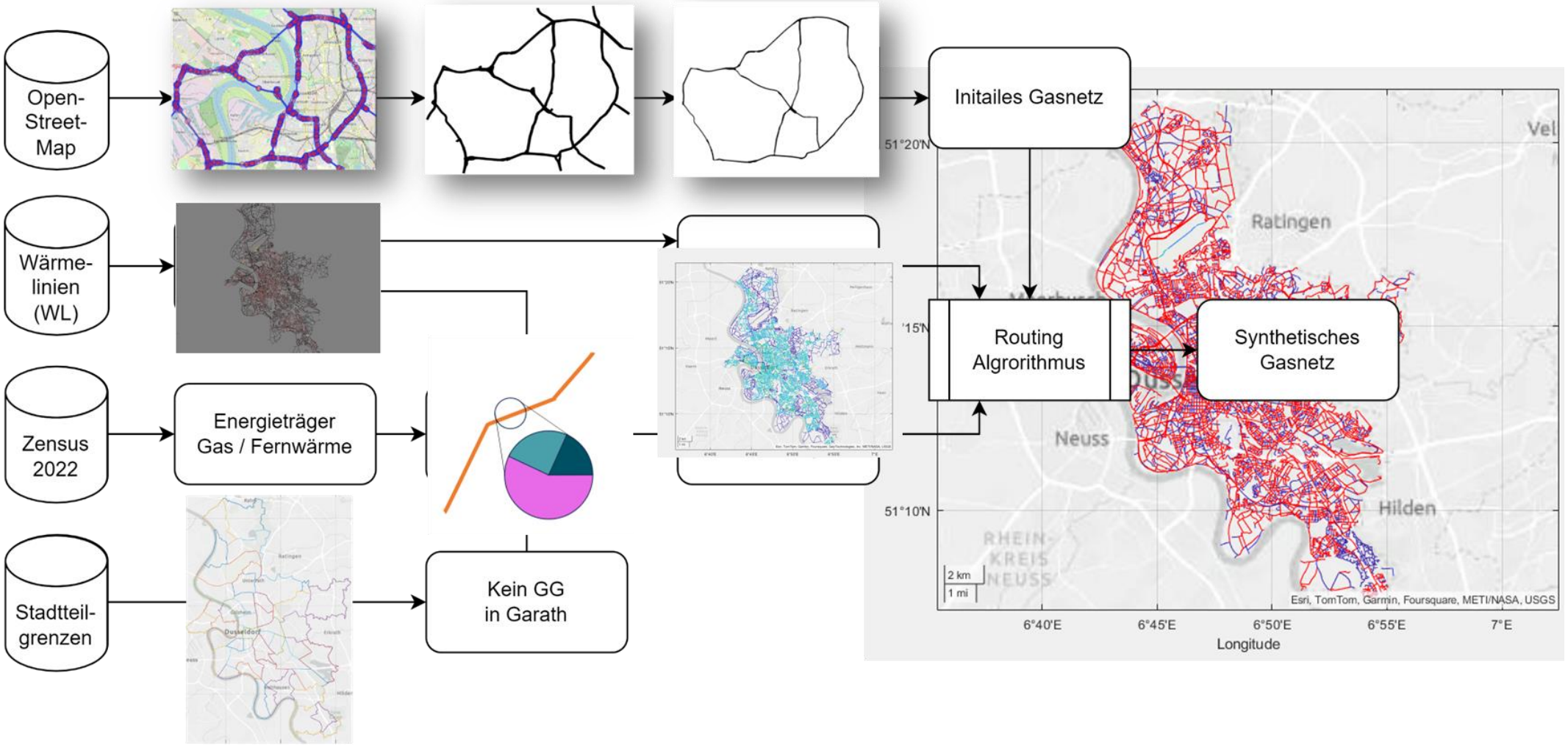
Rheinstadt: Visualisierung des MYNTS-G-Netzes auf OSM

- maximal 11 Einspeiseknoten
- ca. 3000 innere Knoten
- ca. 6700 Abnehmer

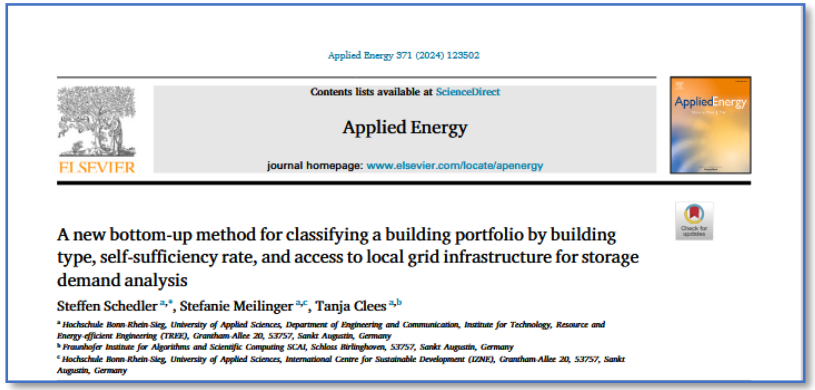
- ca. 12800 Rohre
- ca. 50 weitere Elemente



Methodik zur Erzeugung im Überblick



Methodik zur Erzeugung: Datenquellen

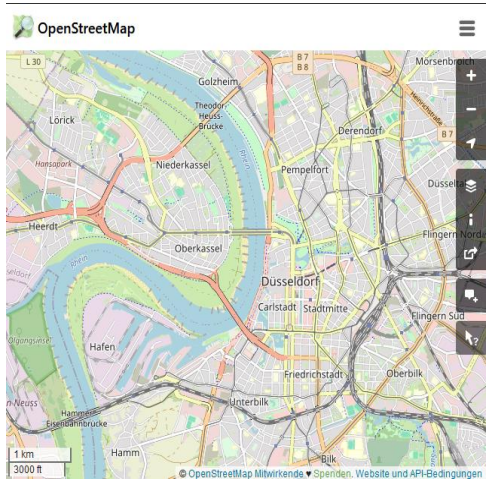


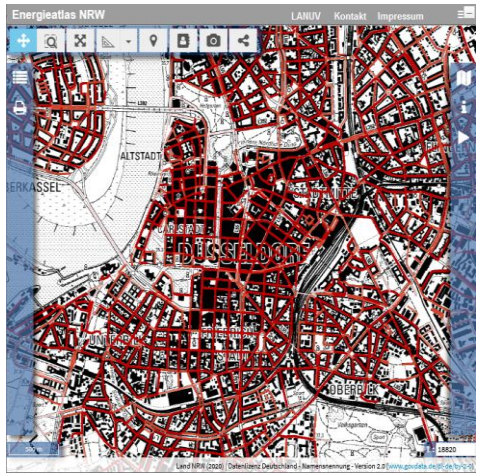
Open-Street-Map

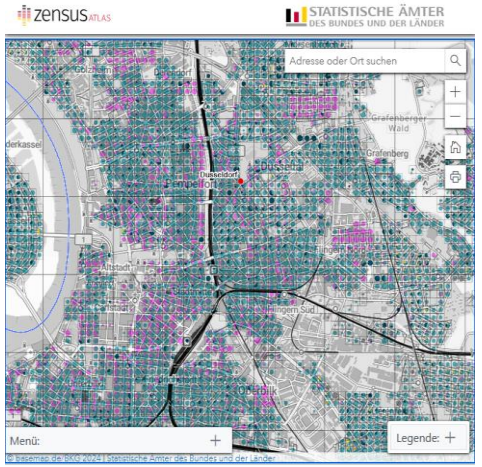
Wärme-linien (WL)

Zensus 2022

Stadtteil-grenzen

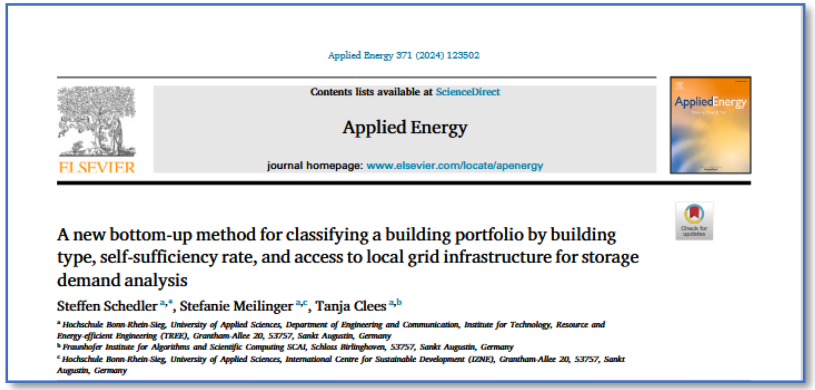








Methodik zur Erzeugung: Datenverarbeitung


Applied Energy 371 (2024) 123502

Contents lists available at ScienceDirect

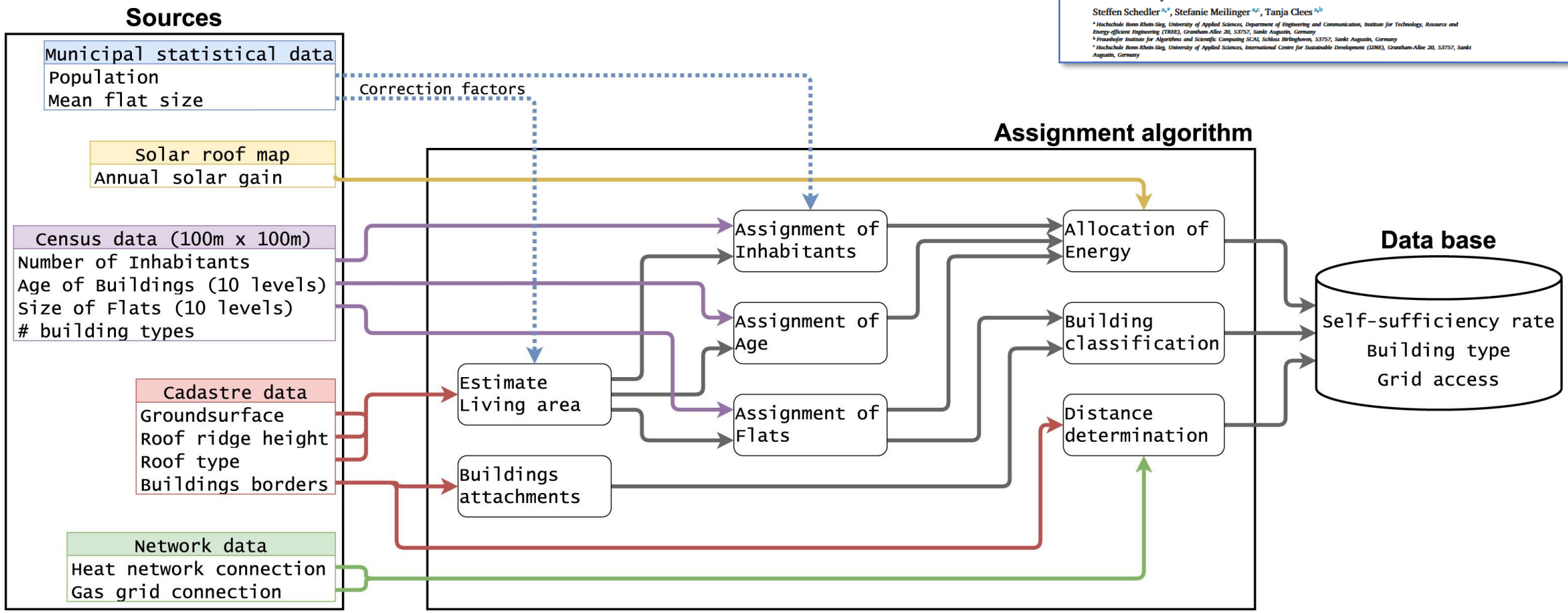
Applied Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apenergy

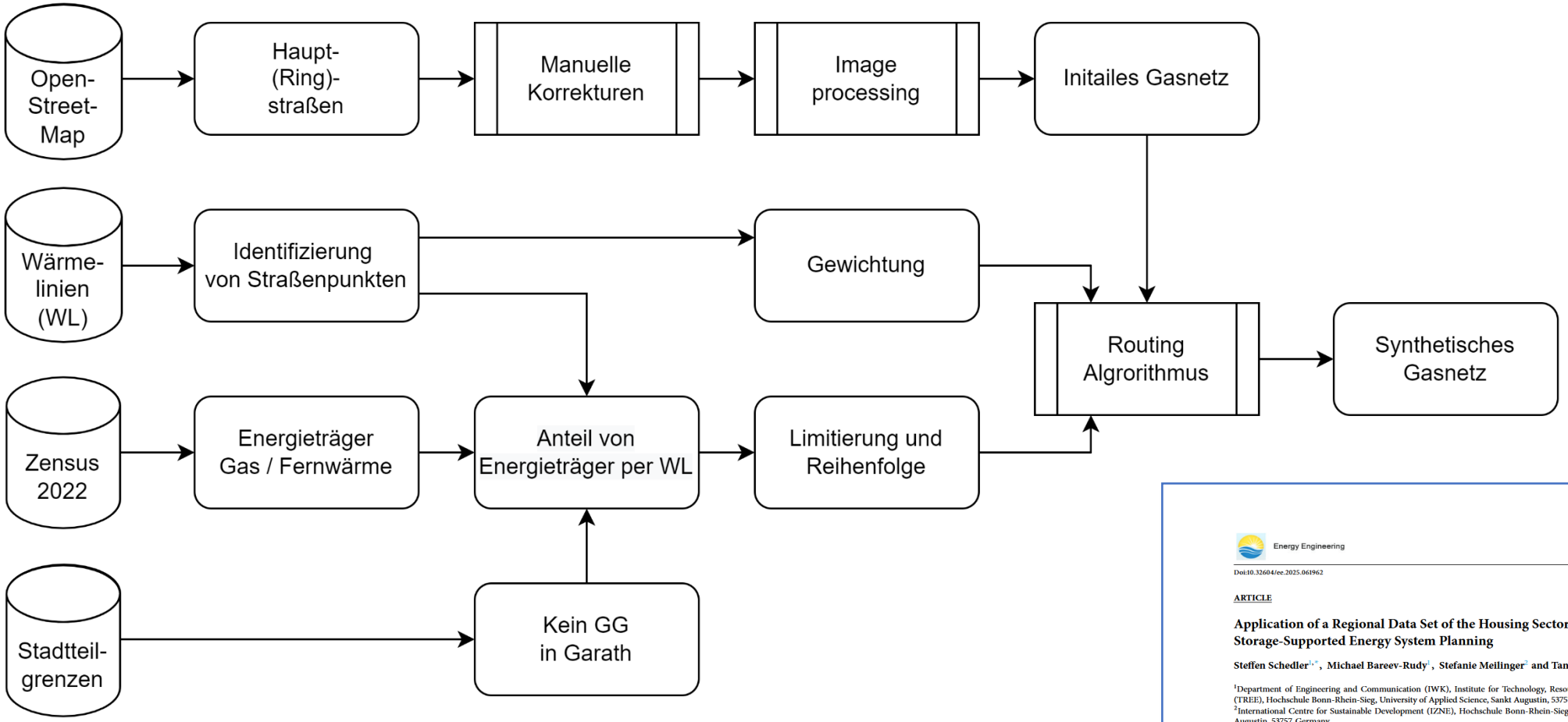
A new bottom-up method for classifying a building portfolio by building type, self-sufficiency rate, and access to local grid infrastructure for storage demand analysis

Steffen Schedler [a,*], Stefanie Meilinger [a,c], Tanja Clees [a,b]

[a] Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, University of Applied Sciences, Department of Engineering and Communication, Institute for Technology, Resource and Energy-efficient Engineering (TREE), Grantham Allee 20, 53757, Sankt Augustin, Germany
[b] Fraunhofer Institute for Algorithms and Scientific Computing SCAI, Schloss Birlinghoven, 53757, Sankt Augustin, Germany
[c] Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, University of Applied Sciences, International Centre for Sustainable Development (IZNE), Grantham Allee 20, 53757, Sankt Augustin, Germany



Methodik zur Erzeugung: Workflow



Energy Engineering

Tech Science Press

Doi:10.32604/ee.2025.061962

ARTICLE

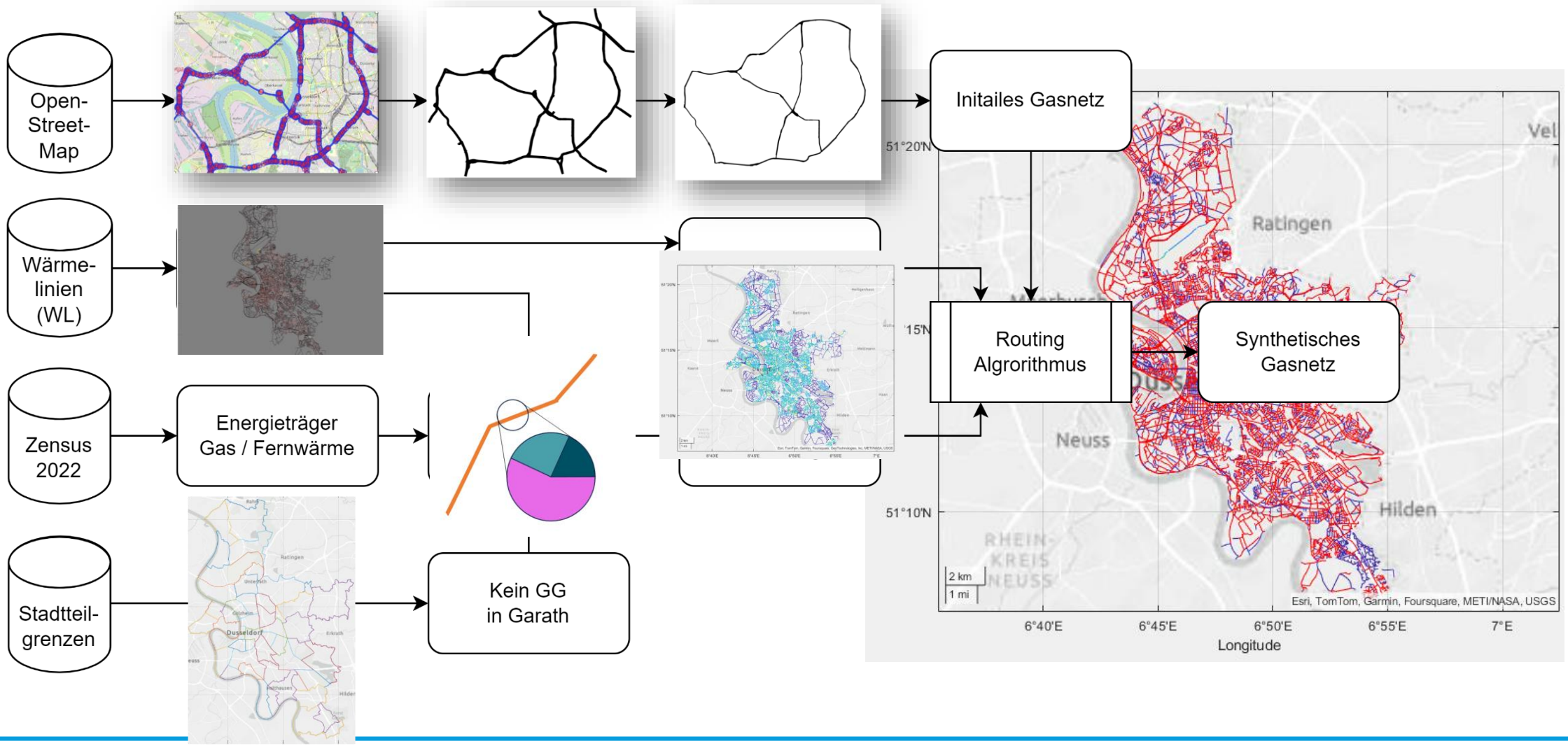
Application of a Regional Data Set of the Housing Sector for Hydrogen Storage-Supported Energy System Planning

Steffen Schedler[1,*], Michael Bareev-Rudy[1], Stefanie Meilinger[2] and Tanja Clees[1,3]

[1]Department of Engineering and Communication (IWK), Institute for Technology, Resource and Energy-efficient Engineering (TREE), Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, University of Applied Science, Sankt Augustin, 53757, Germany
[2]International Centre for Sustainable Development (IZNE), Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, University of Applied Science, Sankt Augustin, 53757, Germany
[3]Fraunhofer Institute for Algorithms and Scientific Computing SCAI, Schloss Birlinghoven, Sankt Augustin, 53754, Germany
*Corresponding Author: Steffen Schedler. Email: steffen.schedler@smail.emt.h-brs.de

Received: 06 December 2024; Accepted: 10 March 2025; Published: 25 April 2025

Methodik zur Erzeugung: Ergebnisse

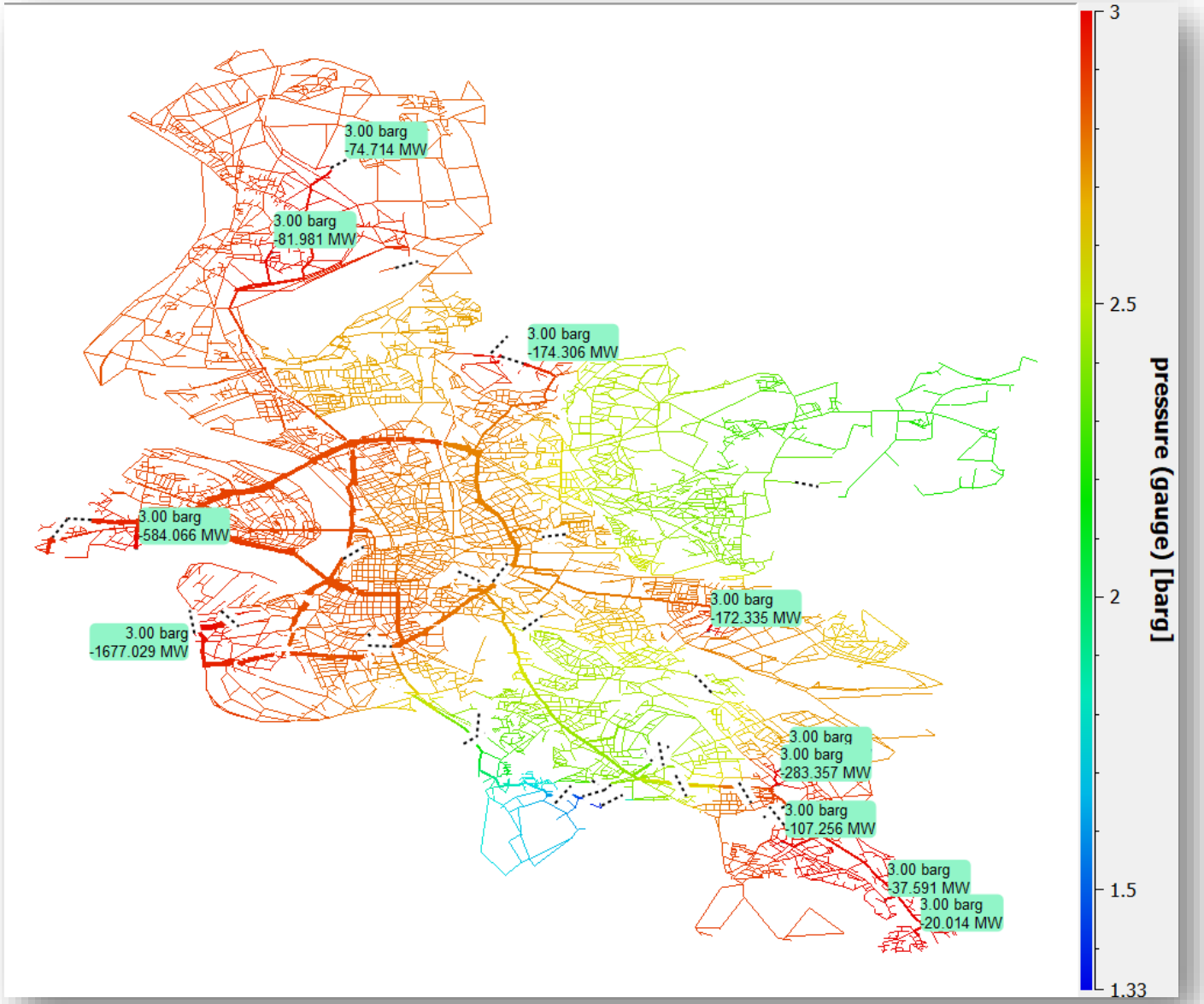


Methodik zur Erzeugung des Simulationsmodells

- Anpassungen des erzeugten Netzes:
  - Das Netz repräsentiert Hoch- und Mitteldruckanteile.
  - Für die Durchmesser wurden die Gas-Strukturmerkmale Düsseldorfs und zum Vergleich der RNG (Rheinnetz Köln) zugrunde gelegt.
  - Grunddurchmesser 150mm
  - zur Verstärkung 200mm bis 700mm (Hauptrouten, zu Industriekunden)
  - Beim Kraftwerk (Direktkunde des vorgelagerten Netzbetreibers) 900mm (kurzes Stück)
- Szenarienerzeugung:
  - Stützjahre 2022, 2035, 2045
  - Die prinzipielle Methodik zur Erzeugung der Abnahmeleistungen wurde vorhin erläutert. Von den erzeugten Daten wurden die „gas_boiler“-Daten (als „demands“) auf Modellknoten aggregiert.
  - Für Düsseldorf wurden relevante Industrie- und Gewerbestandorte recherchiert und mit fiktiven, aber realistischen Abnahmeleistungen im Modell (als „demands“) eingetragen.
  - Aus den Transparency-Veröffentlichungen der vorgelagerten Netzbetreiber (OGE und TG) wurden relevante GÜPs recherchiert und (angelehnt daran) als Einspeiser („supplies“) im Modell ergänzt.

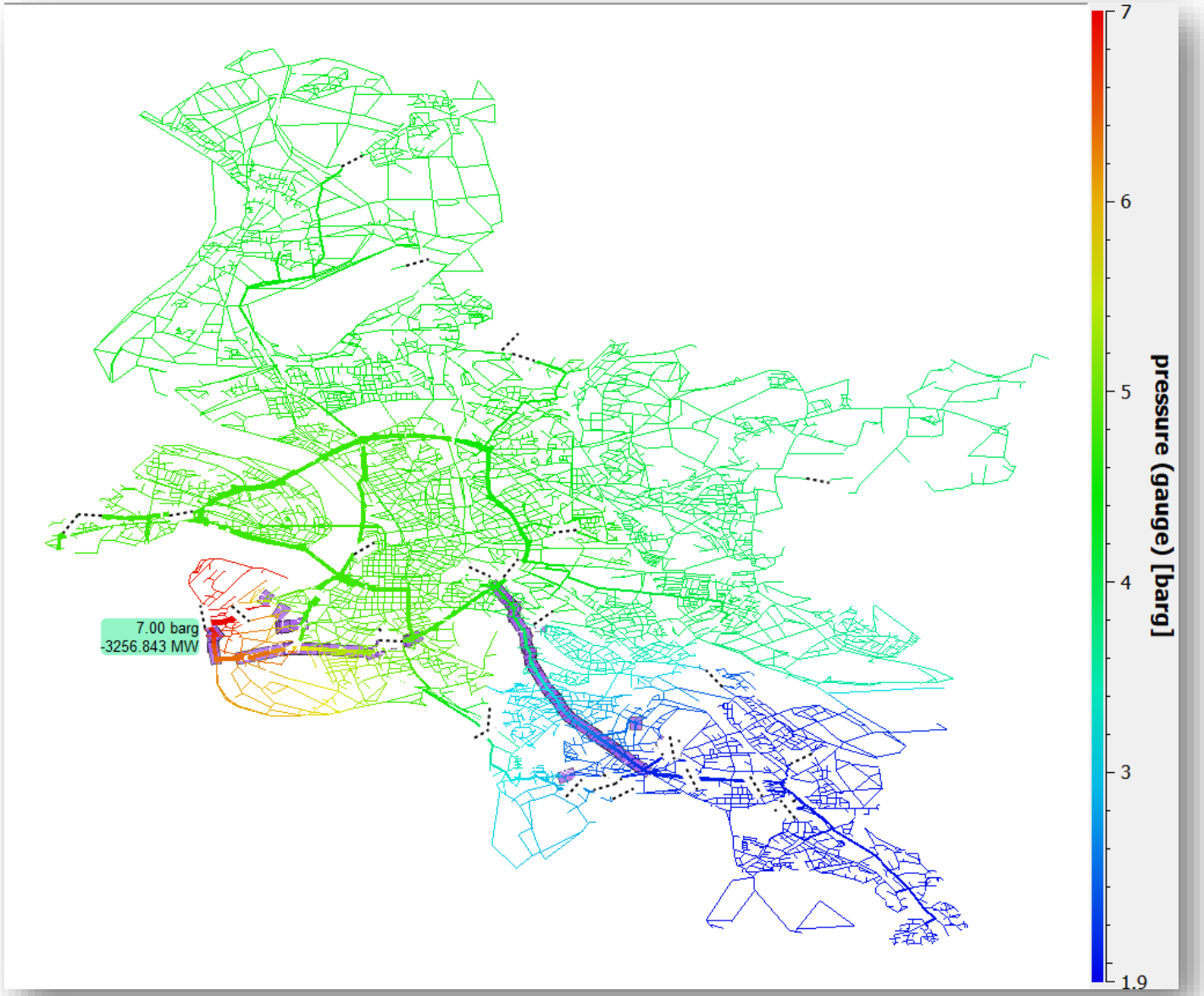
Ergebnisse 2022

- 7171 Abnehmer
- aber nur 6688 mit Abnahme>0
- 3257 MW in summa
- 11 Einspeiser
- Einspeisedruck 3 barg
- eine (existente) H-Gas-Qualität



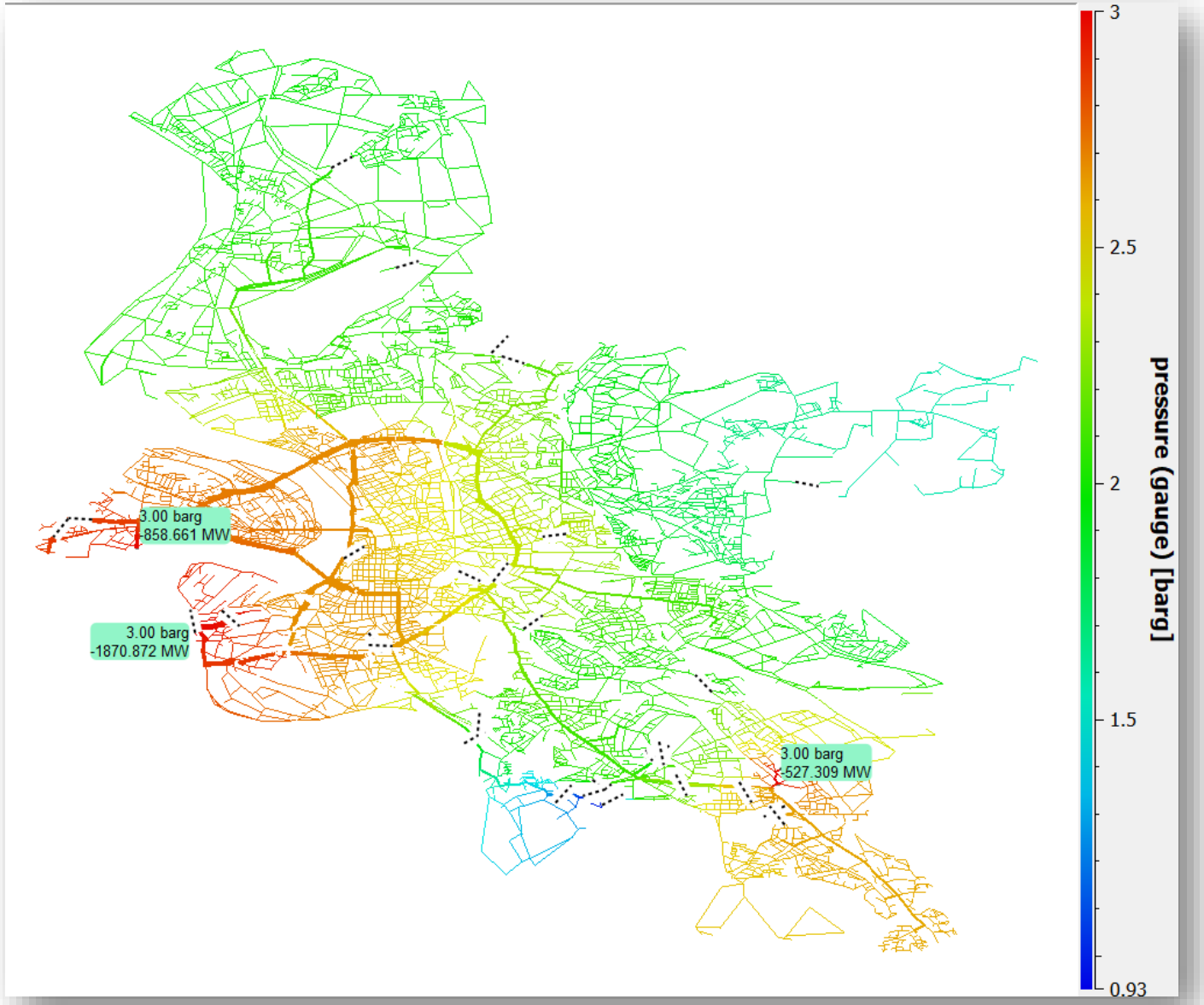
Ergebnisse 2022

- Reduzierung der 11 Einspeiser auf nur einen (in der Nähe des Kraftwerks)
- Eingangsdruck muss erhöht werden
- In den markierten Netzteilen gibt es erhöhte Geschwindigkeiten zwischen 20 und 27 m/s (ggf. Anlass zu kleinen Maßnahmen)



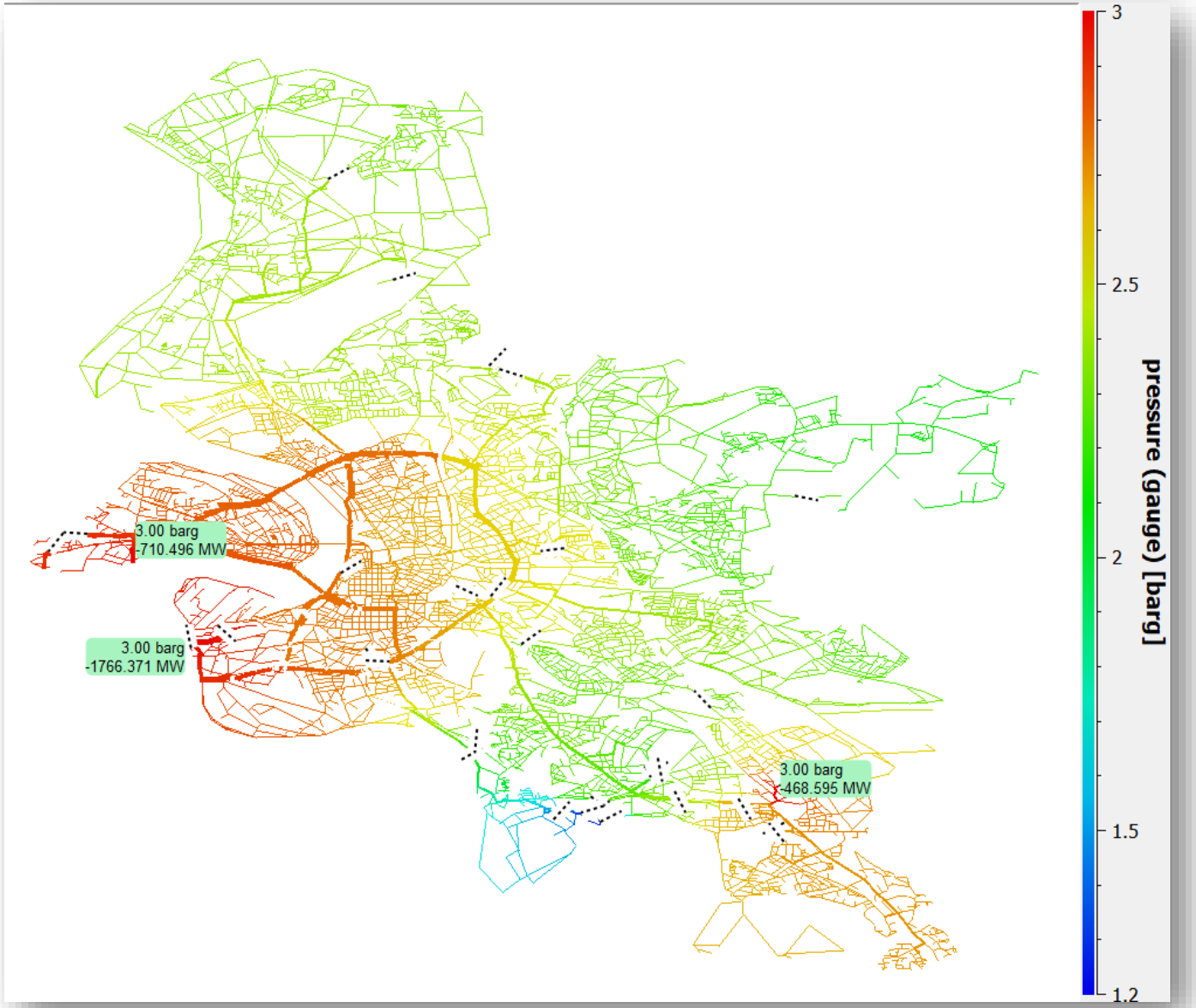
Ergebnisse 2022

- Reduzierung der 11 Einspeiser auf die drei größten
- Einspeisedruck bleibt bei 3 barg
- Sehr wenige Geschwindigkeiten über 20 m/s (max. 44 m/s, wäre Anlass zu kleinen Maßnahmen)



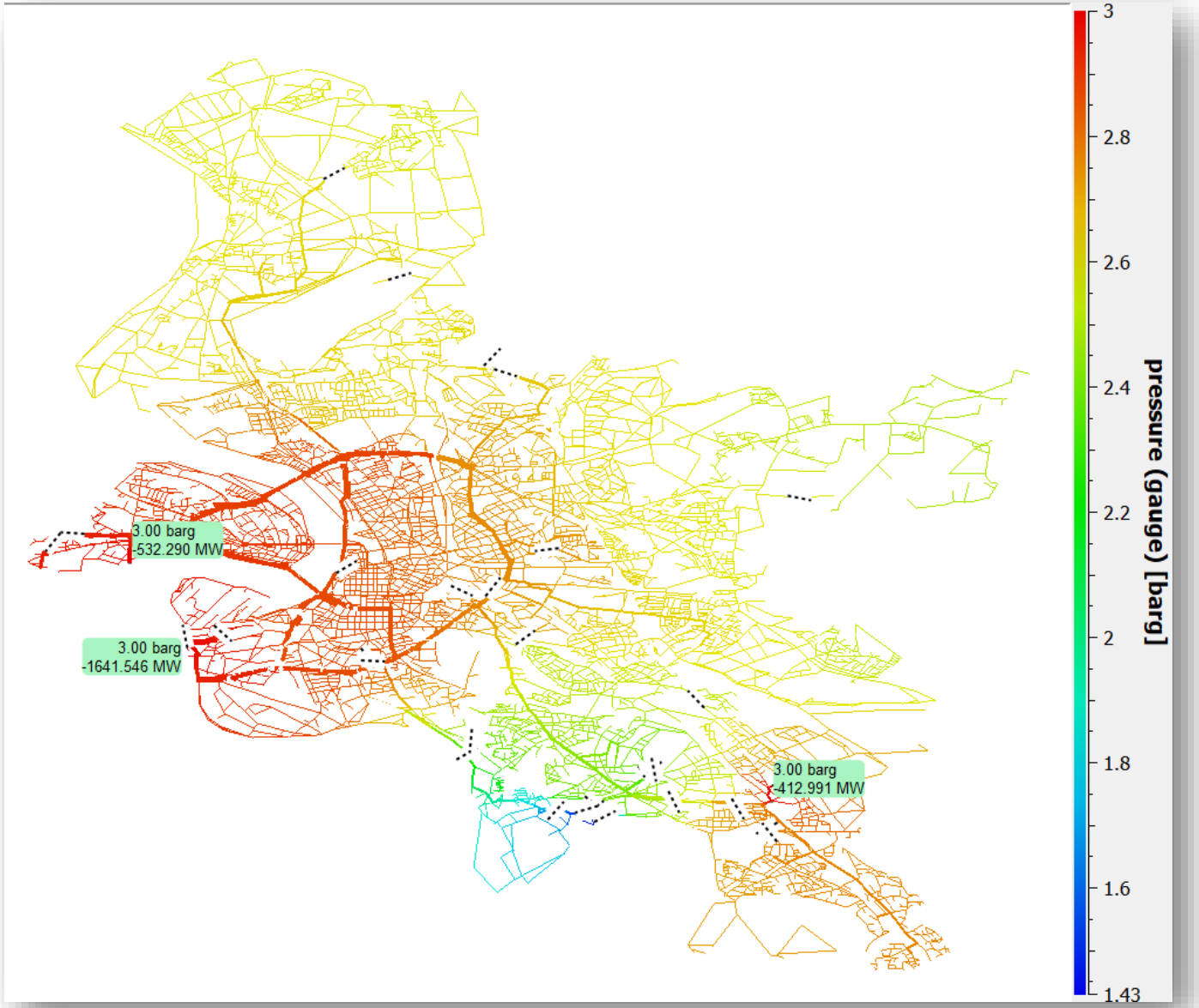
Ergebnisse 2035

- Gesunkener Erdgasbedarf:
  - 6334 Abnehmer nur noch
  - 2945 MW
- gleiche drei Einspeiser und –druck
- Sehr wenige Geschwindigkeiten über 20 m/s (max. 37 m/s, wäre ggf. Anlass zu kleinen Maßnahmen)
- Netz etwas weniger ausgelastet



Ergebnisse 2045

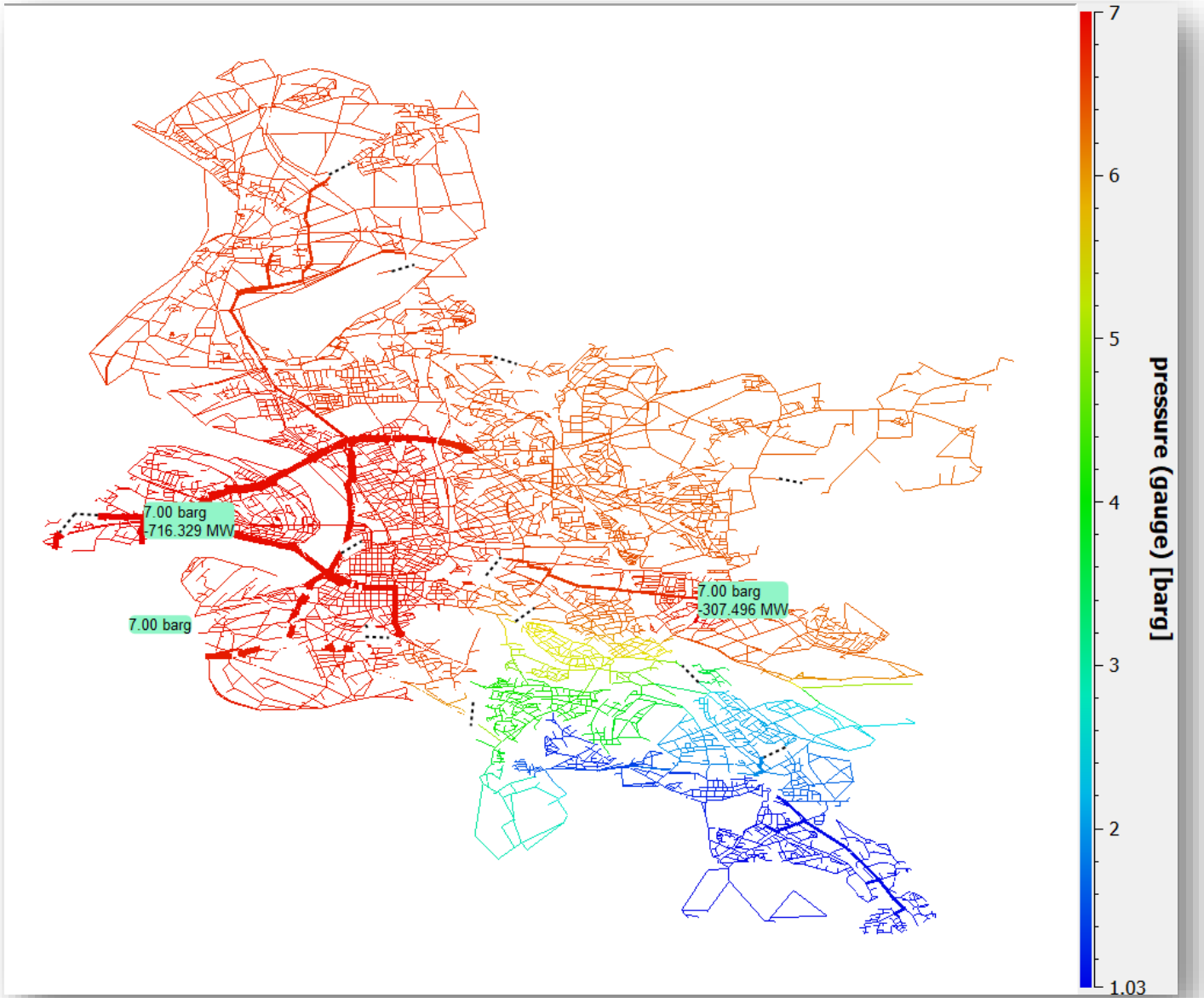
- Erdgasbedarf quasi gleich
  - 5925 Abnehmer nur noch
  - 2587 MW MW
- gleiche drei Einspeiser und –druck
- Sehr wenige Geschwindigkeiten über 20 m/s (max. 33 m/s, wäre ok)
- Aber Netz in weiten Teilen zu wenig ausgelastet, Stilllegungen dringend angeraten



Modell Rheinstadt-Residualnetz

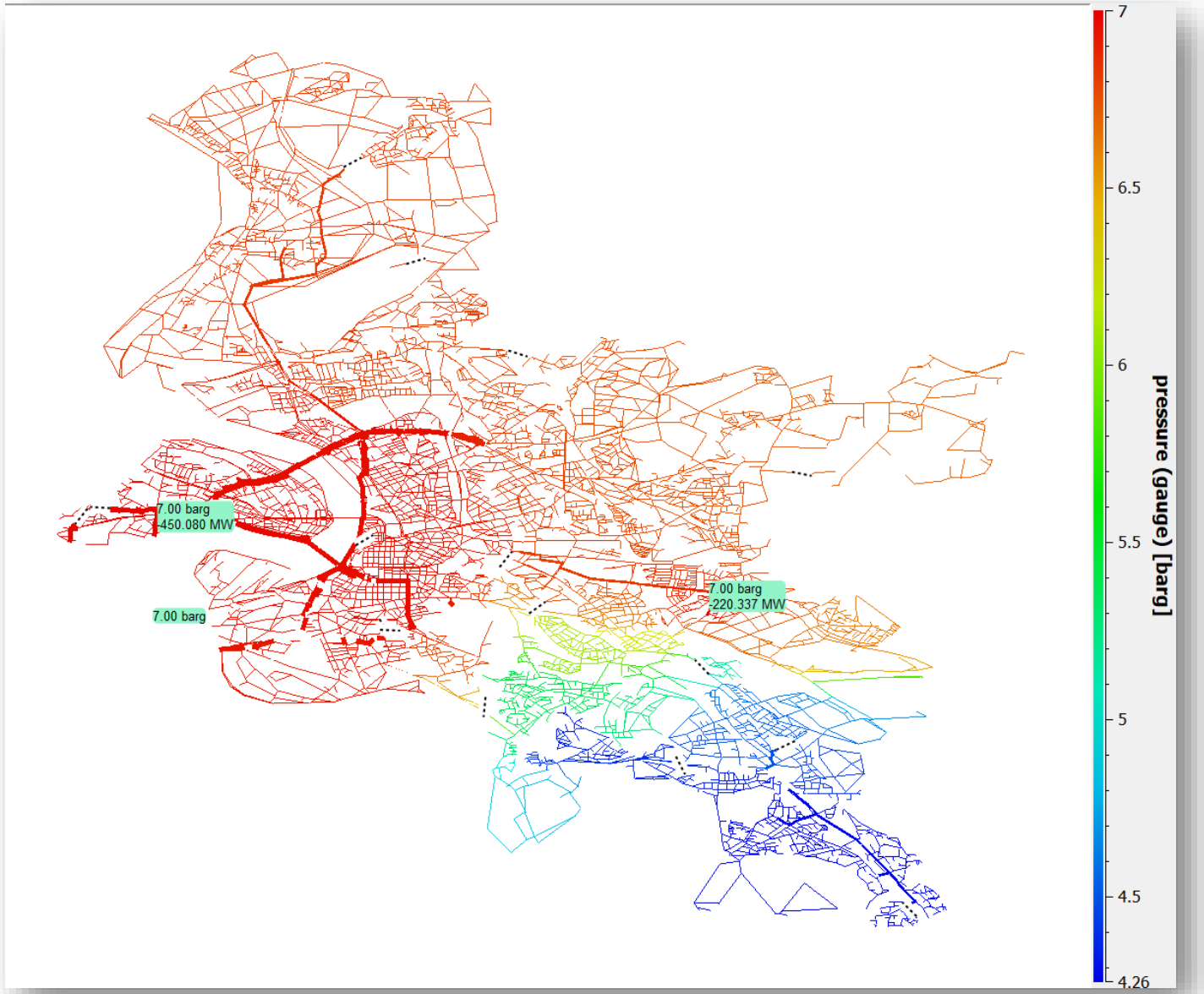
Ergebnisse 2035

- Aufspaltung des Netzes unter Abtrennung eines reinen Wasserstoffnetzes für die Industrieabnehmer (und ggf. Beifang)
- Ansonsten gleiche Annehmer und Abnahmeleistungen wie oben (2035)
- Damit nur noch übrig:
  - 6217 Abnehmer (117 weniger als Rheinstadt-2035)
  - 1024 MW



Ergebnisse 2045

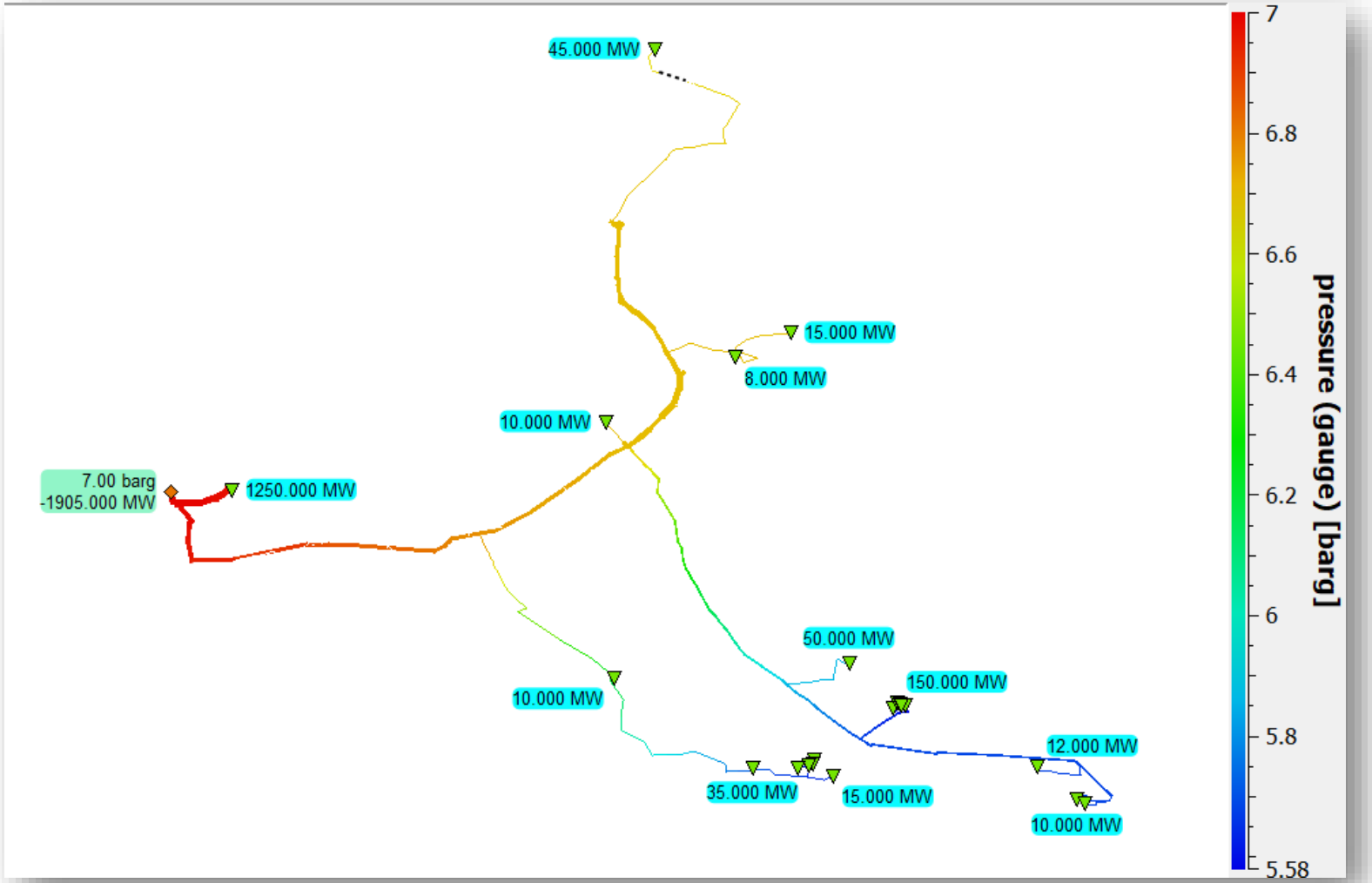
- Aufspaltung des Netzes unter Abtrennung eines reinen Wasserstoffnetzes für die Industrieabnehmer (und ggf. Beifang)
- Ansonsten gleiche Annehmer und Abnahmeleistungen wie oben (2045)
- Damit nur noch übrig:
  - 5812 Abnehmer (113 weniger als Rheinstadt-2045)
  - 670 MW



Modell Rheinstadt-H2

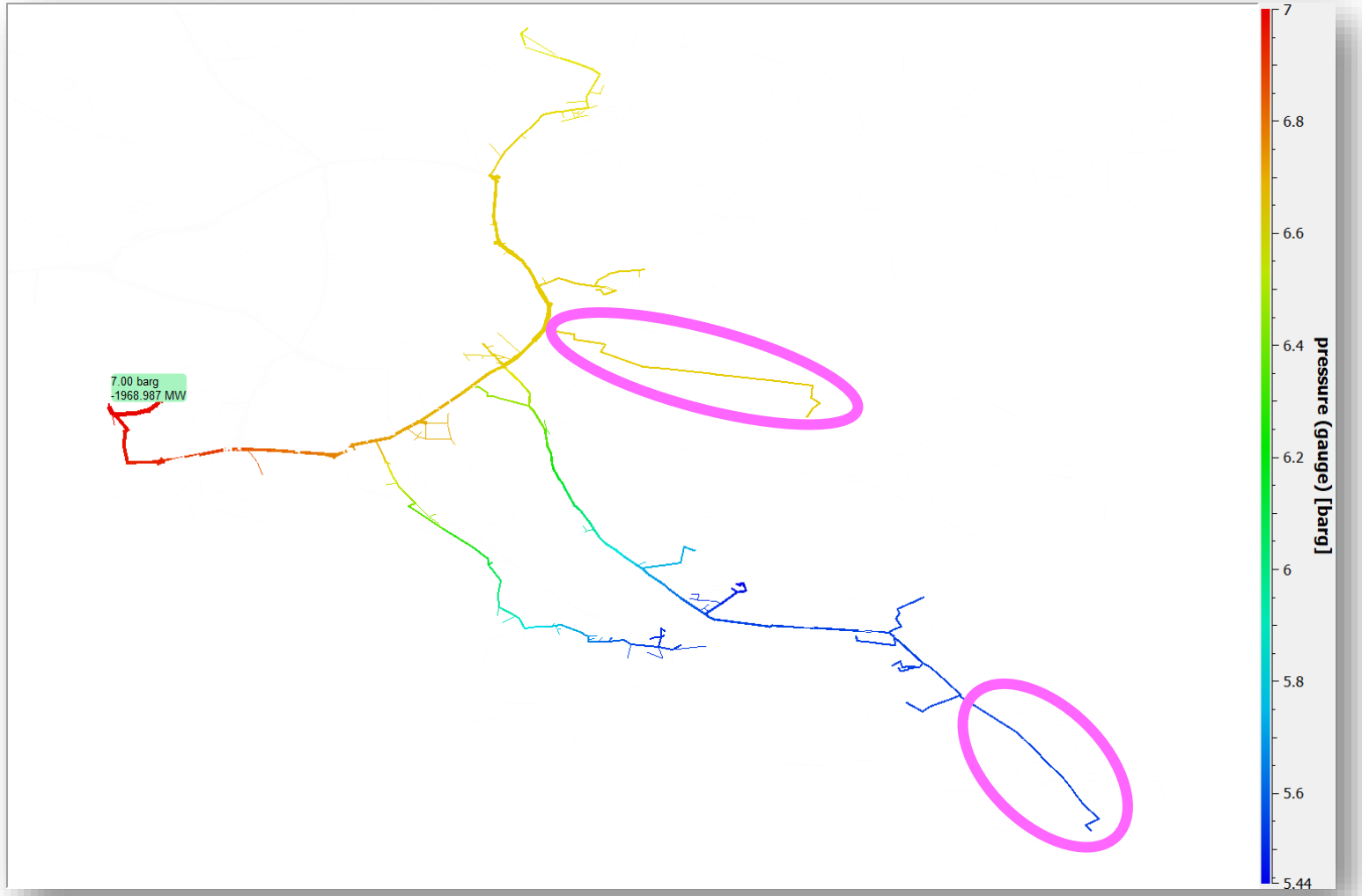
Rheinstadt-H2-Industrie: Wasserstoffnetz für Industrieabnehmer

- Nur 1 Einspeiser (in Kraftwerksnähe)
- Gleicher Einspeiser und Einspeisedruck wie bei Rheinstadt
- Jetzt aber nur ein Teil des Netzes für alle großen Abnehmer außer demjenigen am oberen Ringabschnitt
- Geschwindigkeiten bei Wasserstoff höher erlaubt, hier max. 37 m/s (sonst müssten Teilabschnitte (in den Süden) verstärkt werden).



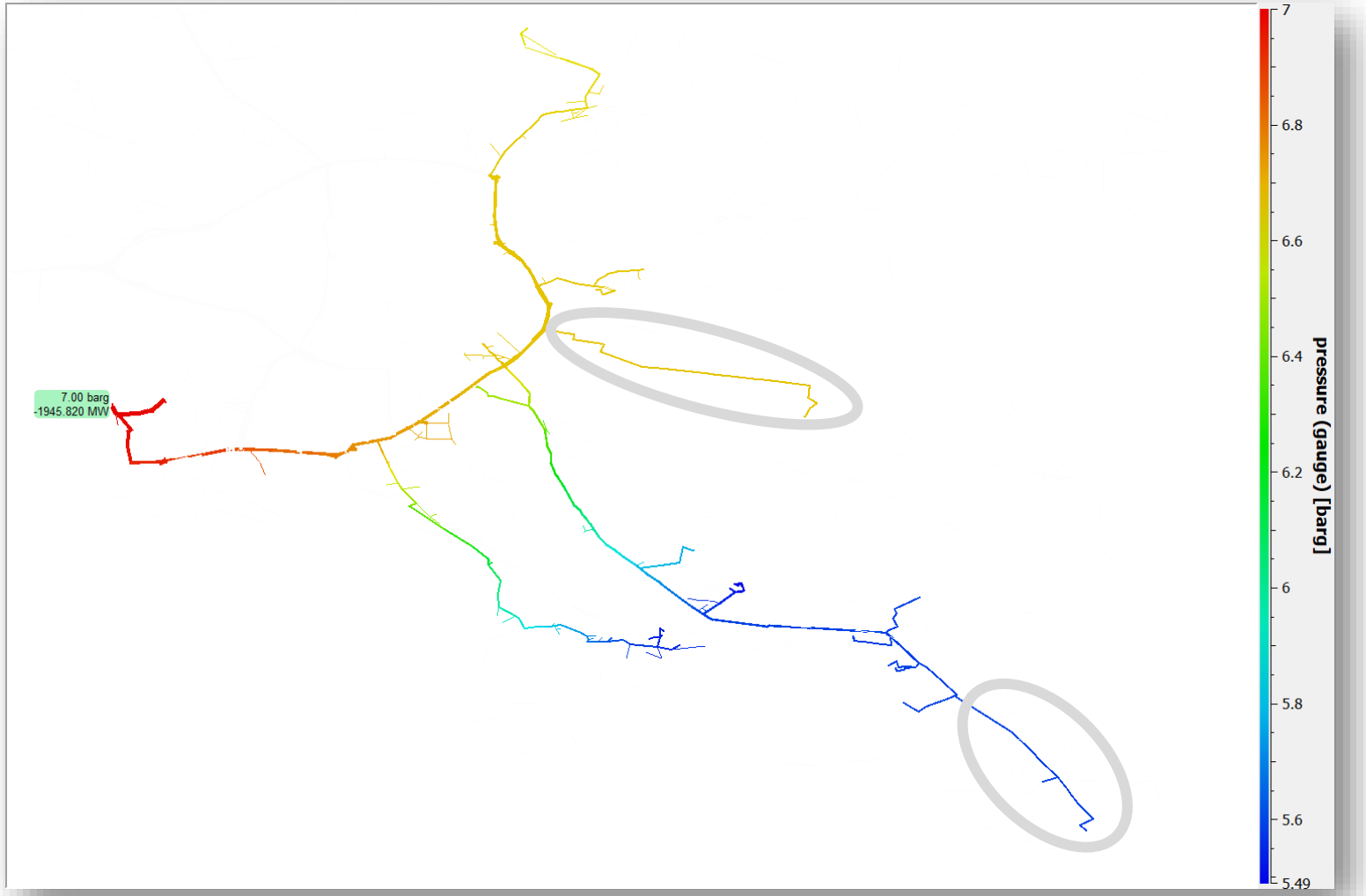
Rheinstadt-H2: Wasserstoff-Netz plus Beifang 2035

- Einzelne Teiläste bewusst doppelt zum Erdgasnetz, z.B. für alternative Versorgung aus (Süd)Osten
- Über Schieber abtrennbar
- 344 Abnehmer
- 1969 MW



Rheinstadt-H2: Wasserstoff-Netz plus Beifang 2045

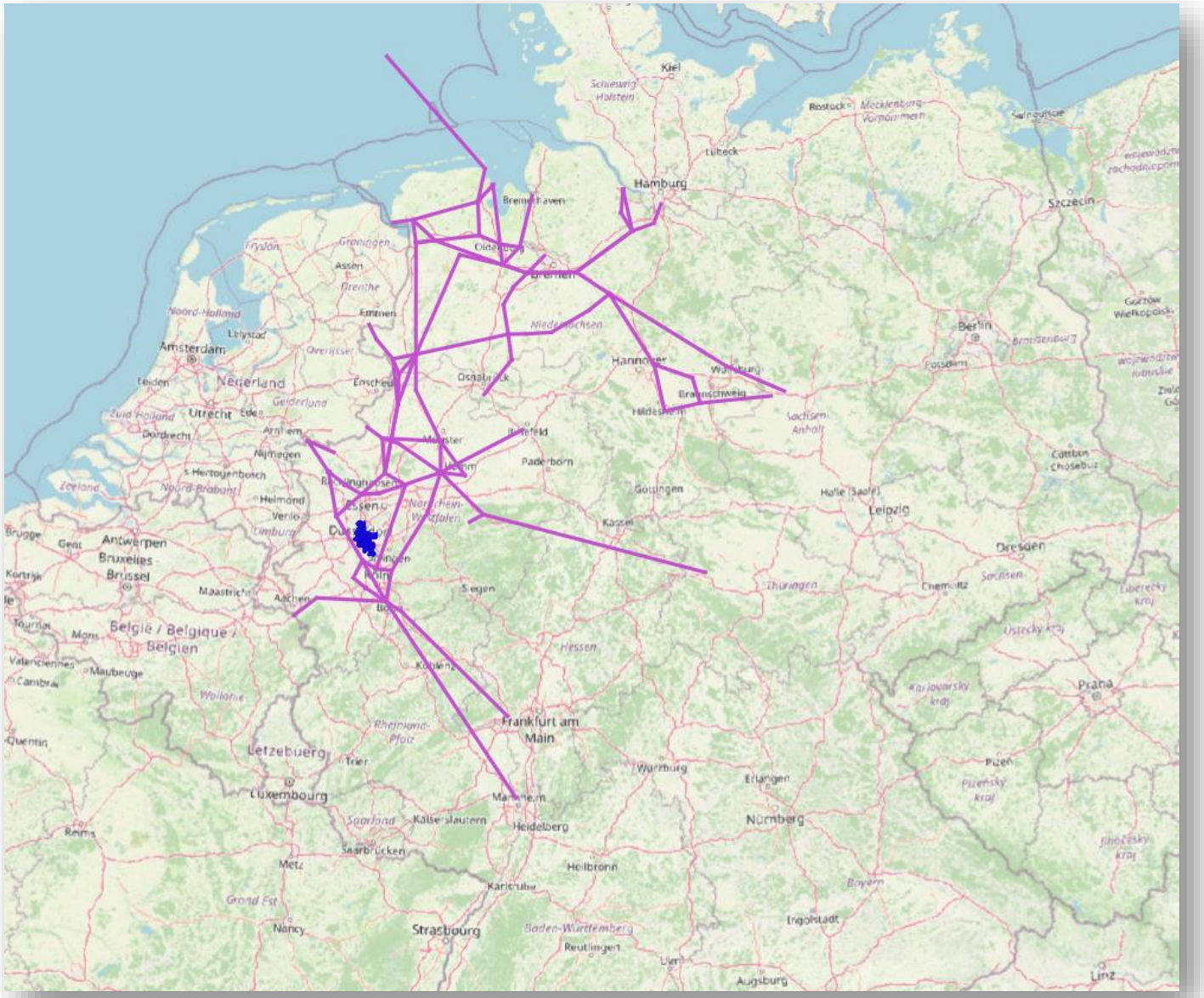
- Einzelne Teiläste bewusst doppelt zum Erdgasnetz, z.B. für alternative Versorgung aus (Süd)Osten
- Über Schieber abtrennbar
- 319 Abnehmer
- 1946 MW



Modell H2-Transport

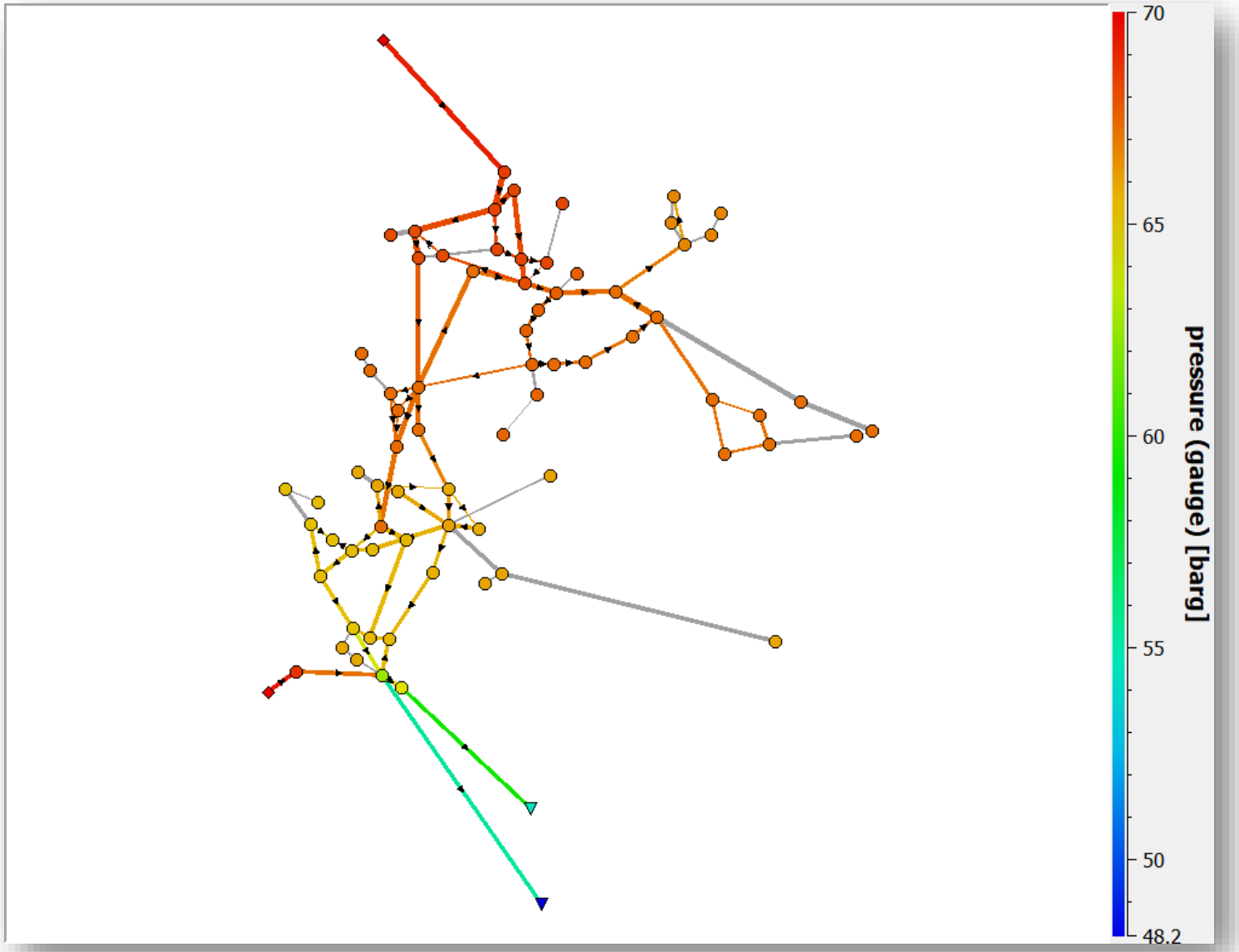
H2-Transport

- Es handelt sich um ein (bewusst sehr reduziertes) Modell des Wasserstoff-Kernnetzes aus Veröffentlichungen der FNBs
- Für Rheinstadt-H2 ist es das vorgelagerte Netz
- Abbildung: Wasserstofftransportnetz und Lage von Rheinstadt im Vergleich dazu in QGIS



H2-Transport

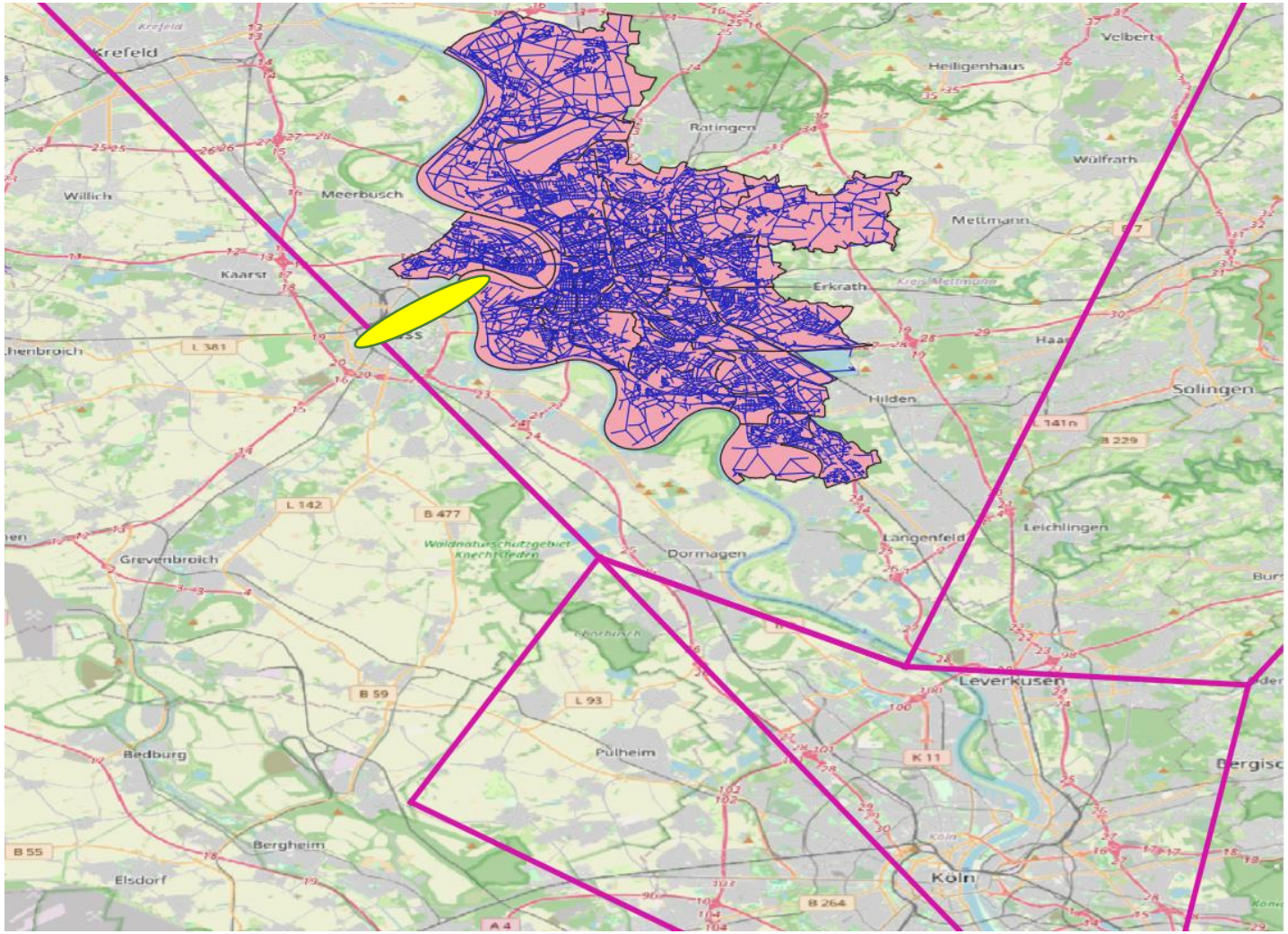
- MYNTS-Simulationsmodell:
  - Geometrie fertig
  - Szenarien in Fertigstellung
- Enthaltene Elemente:
  - Verdichter
  - Elektrolyseure
  - Kraftwerke
  - Speicher
  - weitere Einspeiser und Abnehmer



Ausblick

Ausblick – H2-Transport und Rheinstadt-H2 gekoppelt

- Zum Anschluss von Rheinstadt ans H2-Transport wurde das Kraftwerk an eine passende Station im WKN („Glehn“) angeschlossen
- und zwar über eine fiktive 20km lange Neubauleitung und Regelstation
- Geometrie fertig, Simulationsszenarien in Bälde fertiggestellt (entsprechend H2-Transport)



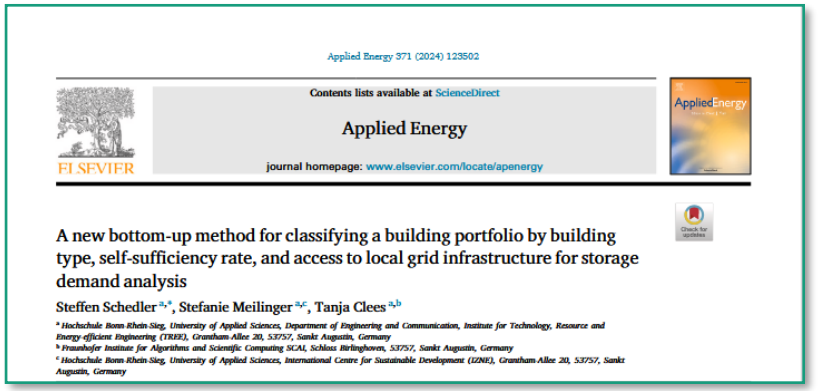
SimBench Sektor

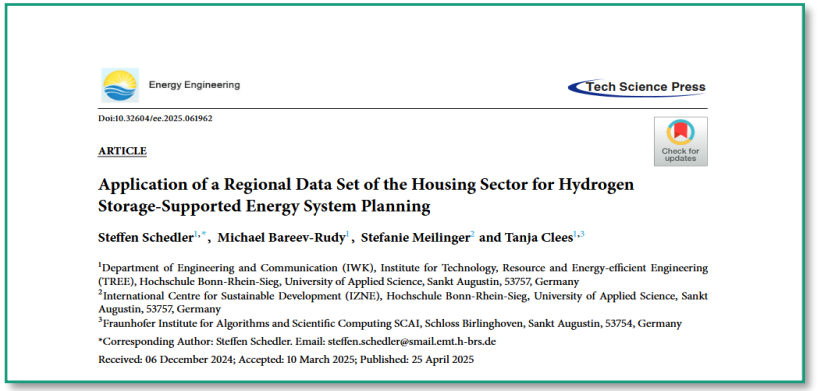
Projektergebnisse / Projektabschluss
(Tobias Banze)

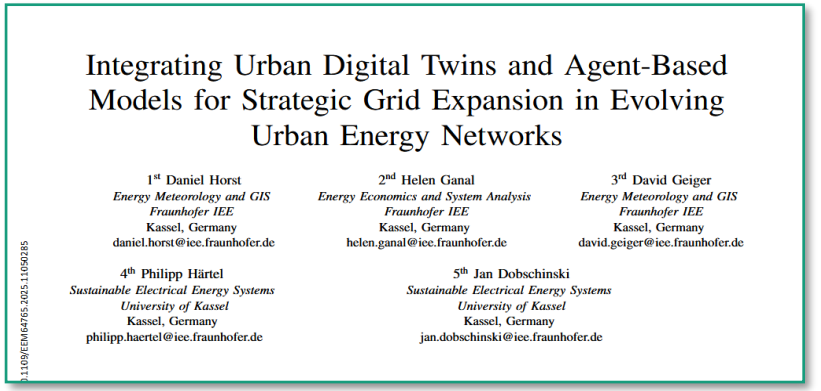
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Veröffentlichung - Paper







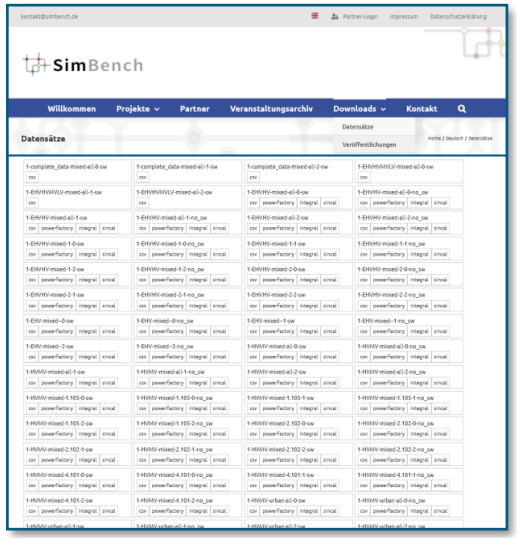
Veröffentlichungen:

- 2024, Applied Energy:
  - "A new bottom-up method for classifying a building portfolio by building type, self-sufficiency rate, and access to local grid infrastructure for storage demand analysis"
- 2025, Energy Engineering:
  - "Application of a Regional Data Set of the Housing Sector for Hydrogen Storage-Supported Energy System Planning"
- 2025, IEEE Explore: 21st International Conference on the European Energy Market (EEM)
  - "Integrating Urban Digital Twins and Agent-Based Models for Strategic Grid Expansion in Evolving Urban Energy Networks"
- 2026, Fraunhofer Publica
  - Poster für das Jahrestreffen Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Veröffentlichung - Daten

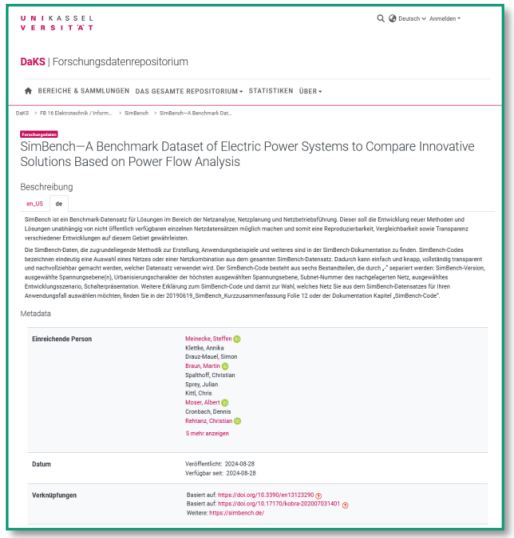


Homepage

simbench.de/de/datensaetze/

Formate:

- Json
- csv

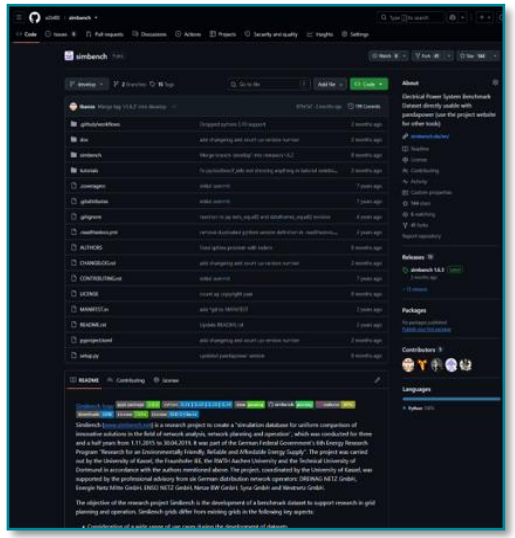


DAKS

simbench.de/de/datensaetze/

Formate:

- Json
- csv



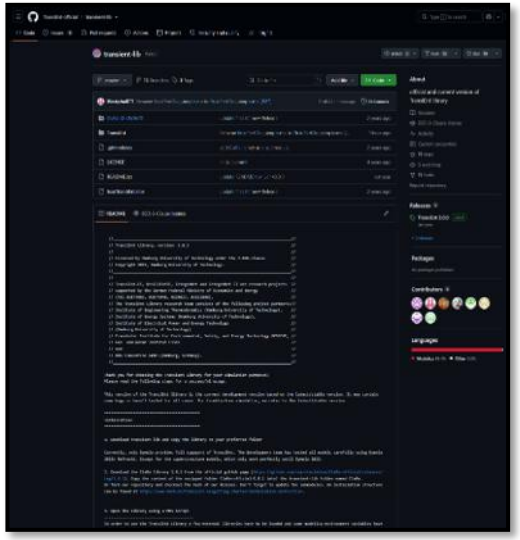
Github

github.com/e2nIEE/simbench

Formate:

- Python-package

➔ Update des Packages



Github

github.com/TransiEnt-official/transient-lib

Wärmenetz

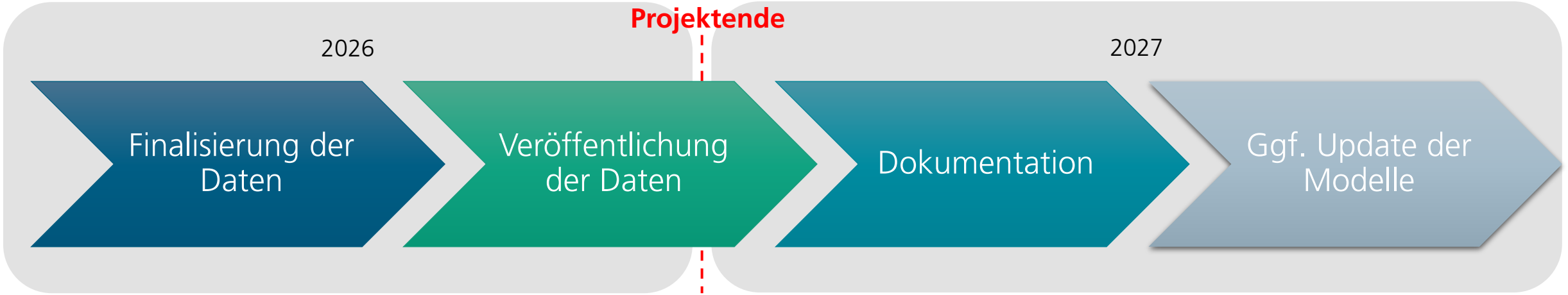
Formate:

- Modellica

© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Projektabschluss - Roadmap



- Abschließende Verbesserungen und Anpassungen
- Vereinheitlichung von z.b Parameternamen

- Upload der Daten in Datenrepos
- Verlinkung auf SimBench Homepage
- Update der Git Repos und neues Package-Release

- Abschlussbericht
- Dokumentation
- Paper

- Auswertung von Kontaktanfragen
- Reaktion auf Fehler und Anmerkungen
- Ggf. Anpassen der Daten

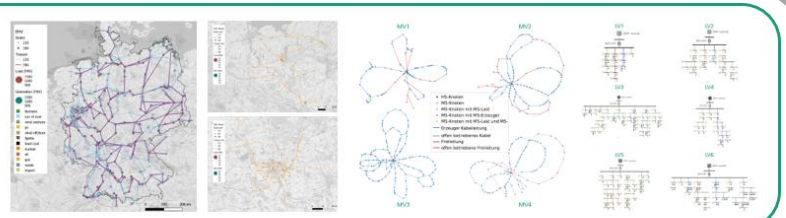
© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor Expert Session

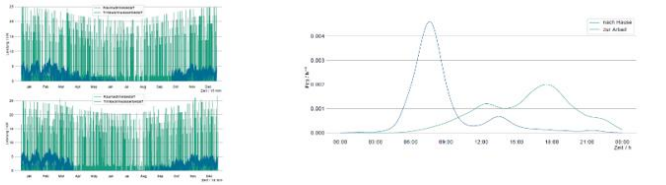
Abschluss

SimBench

Topologie



Komponenten



Szenarien

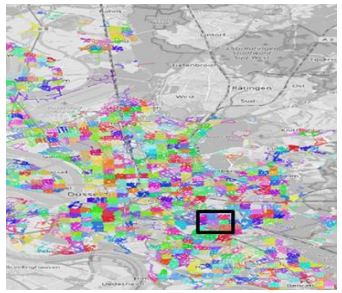
Heute (2016)

Morgen (2024)

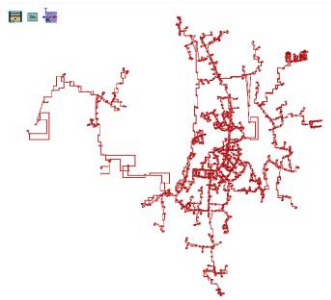
Übermorgen (2034)

SimBench Sektor

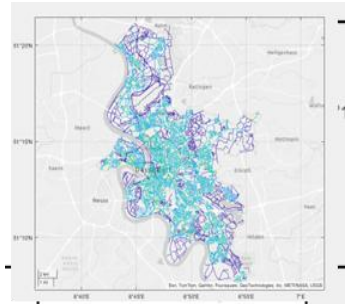
Stromnetzmodell



Wärmenetzmodell



Gasnetzmodell

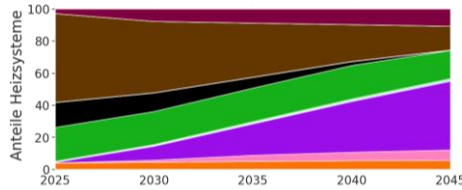


Szenarien

2022

2035

2045



© Fraunhofer IEE, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

SimBench Sektor

Kontakte



SimBench Allgemein
SimBench Sektor Stromnetz
M.Sc. Tobias Banze
Fraunhofer IEE
tobias.banze@iee.fraunhofer.de



SimBench Sektor Gasnetz
Prof. Dr. Tanja Clees
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
tanja.clees@h-brs.de



SimBench Sektor Wärmenetz
Dipl.-Ing. Annika Heyer
GWI Essen e.V.
annika.heyer@gwi-essen.de



SimBench Sektor Wärmenetz
M.Sc. Stefanie Douve
GWI Essen e.V.
stefanie.douve@gwi-essen.de

SimBench Sektor Szenarien
M.Sc. Daniel Horst
Fraunhofer IEE
daniel.horst@iee.fraunhofer.de



SimBench Sektor Stromnetz
M.Sc. Erik Prade
Fraunhofer IEE
erik.prade@iee.fraunhofer.de



Anwendungsbeispiel 1: Niederspannung
M.Sc. Tabea Katerbau
Reiner-Lemoine Institut
Tabea.Katerbau@rl-institut.de



Anwendungsbeispiel 2: Übertragungsnetz
M.Sc. Leah Albrecht
Fraunhofer IEE
leah.albrecht@iee.fraunhofer.de



Anwendungsbeispiel 3: Lastfluss
M.Sc. Pawel Lytaev
Universität Kassel
pawel.lytaev@uni-kassel.de

SimBench Sektor Szenarien
Dr. phil. nat. Sarah Becker
Fraunhofer IEE
sarah.becker@iee.fraunhofer.de