

Abschlussworkshop eGoⁿ

Session: Datenmodell

Ilka Cußmann, Clara Büttner, Kilian Helfenbein

HSFL, EUF, RLI

02.06.2023





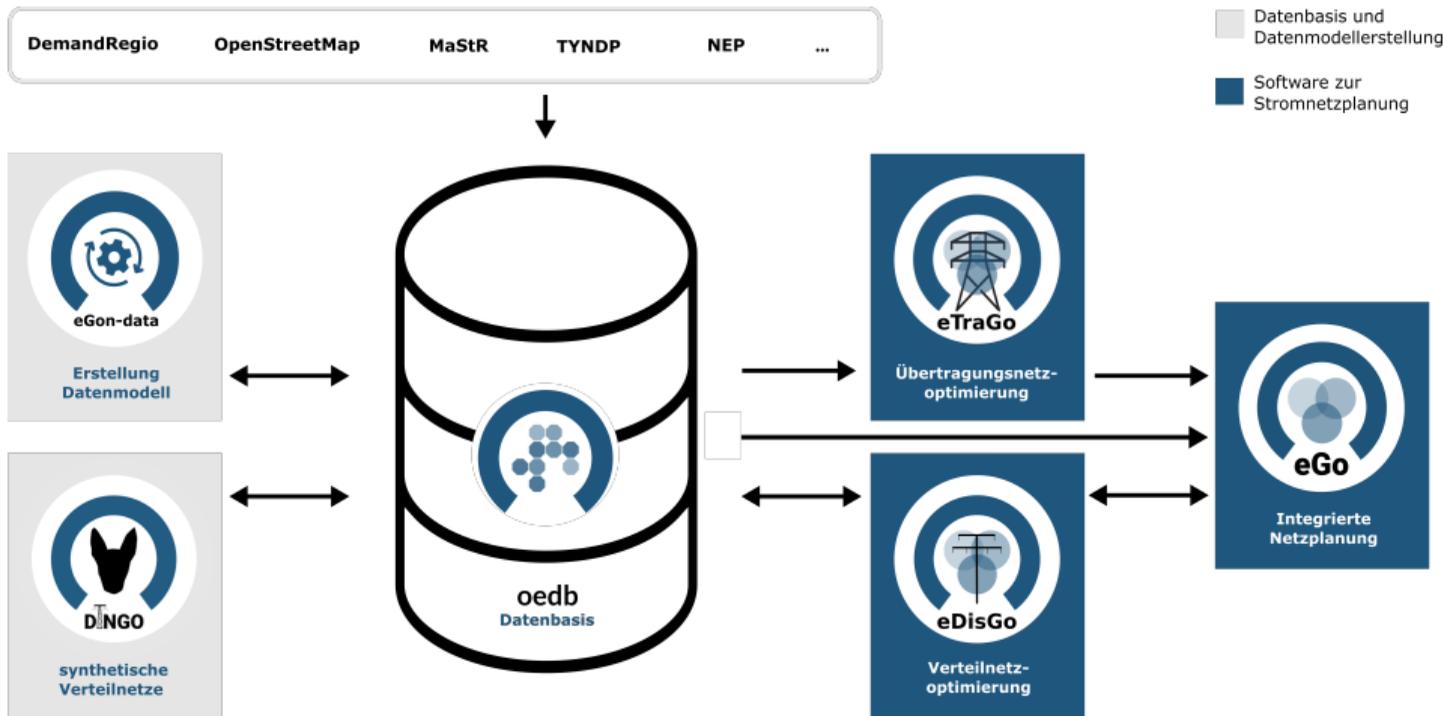
Ilka Cußmann
Hochschule
Flensburg

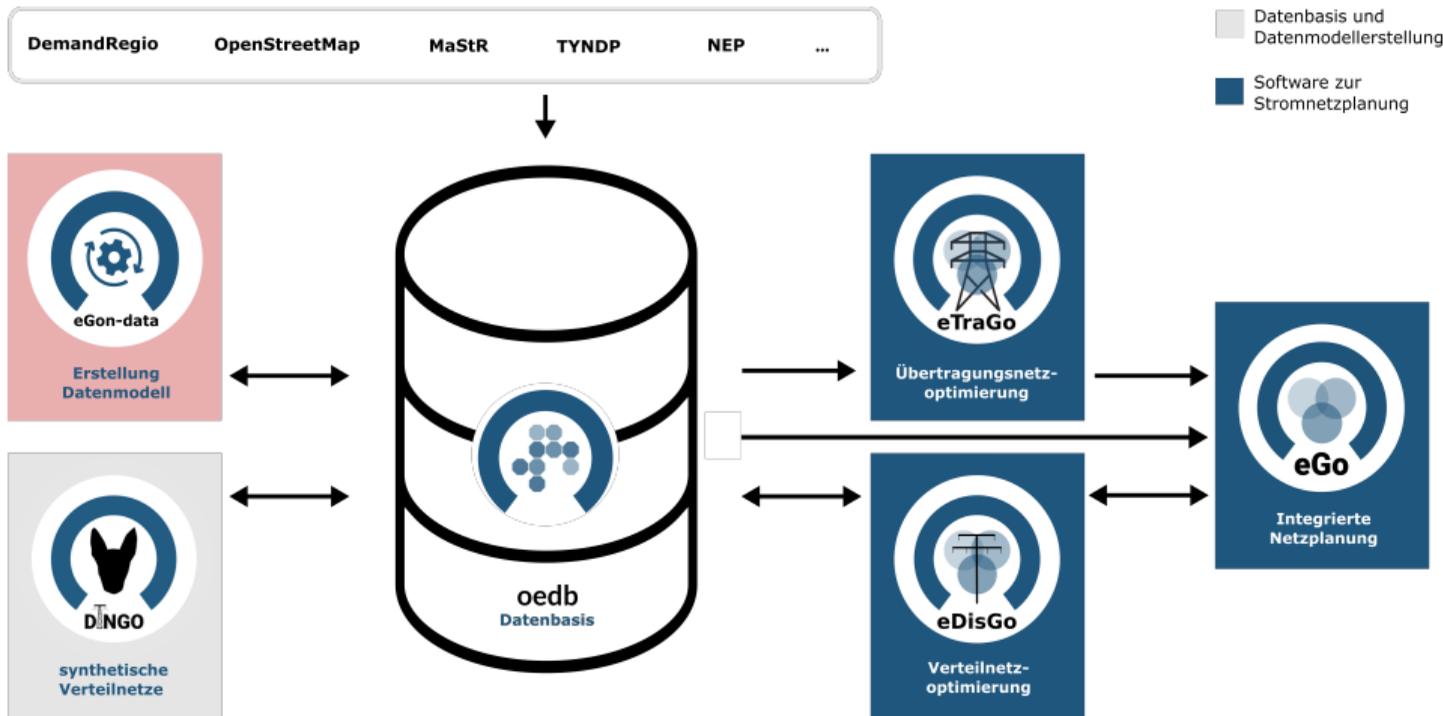


Clara Büttner
Europa-Universität &
Hochschule Flensburg



Kilian Helfenbein
Reiner Lemoine
Institut



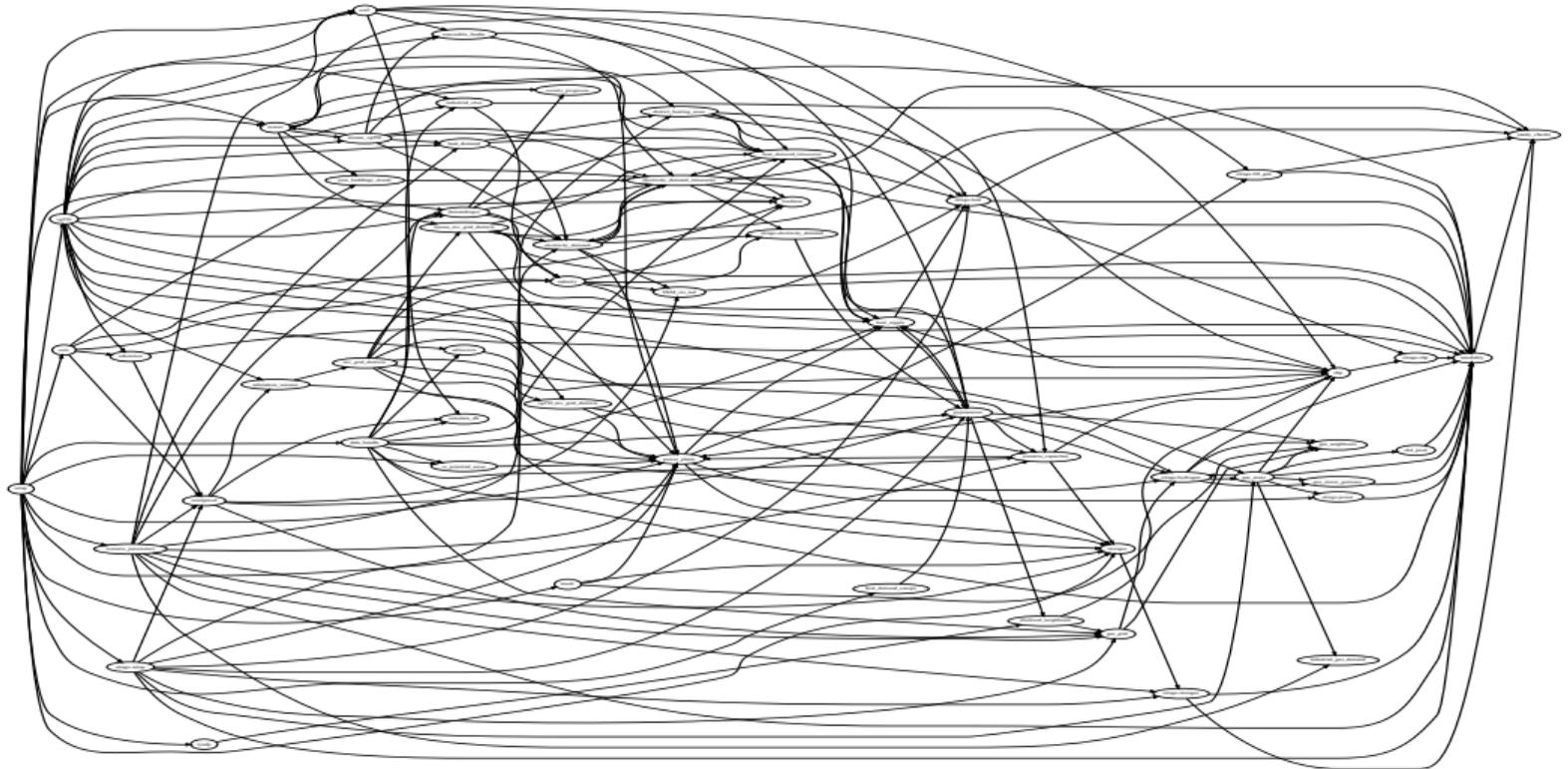


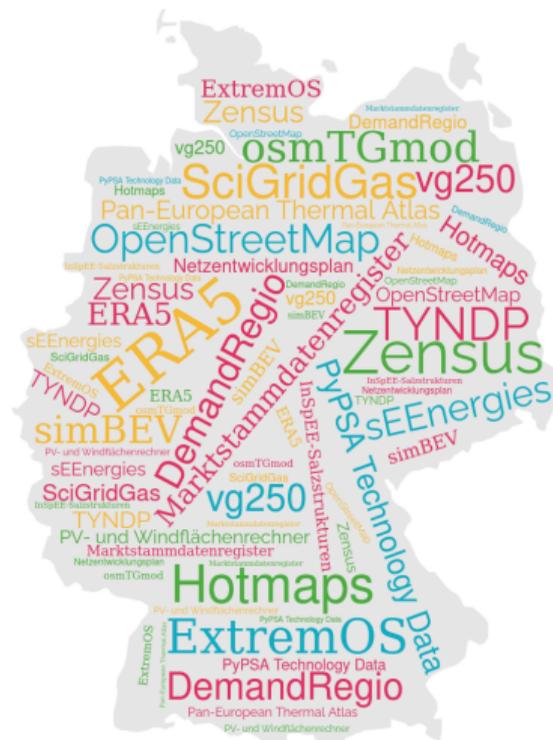
Erstellung eines über alle Spannungsebenen hinweg konsistenten und auf offenen Quellen basierenden Datensatzes zur sektoren- und netzebenenübergreifenden Energiesystemmodellierung.

- Pipeline zur Erstellung eines auf offenen Daten basierenden hochaufgelösten Datenmodells zur Energiesystemmodellierung
- Verwendung von Apache Airflow zum Workflow Management
- Codeentwicklung unter offenen Lizenzen auf Github



github.com/openego/eGon-data





- Verwendung von offenen Daten verschiedener Quellen als Input
- Veröffentlichung der Ergebnisdaten unter offenen Lizenzen
- Veröffentlichung der Daten auf der Open Energy Platform



Open Energy Platform

eGon2035

- Zieljahr 2035
- Orientierung am NEP 2021, Szenario C2035
- Alle Bedarfe Strom-, Gas- und Wärmesektor
- Mobilitätssektor: E-PKW und H₂ Schwerlastverkehr Bedarfe
- Netze: Strom (ÜN und VN), Methan (ÜN)
- Flexibilitätsoptionen: DSM, DLR, flex. Laden, Energiespeicher, PtX ...
- Szenariovariante eGon2035_lowflex

eGon100RE

- 100% erneuerbares Energiesystem
- Vorgelagerte Optimierung des Erzeugungsparks (pypsa-eur)
- Alle Bedarfe Strom-, Gas- und Wärmesektor
- Mobilitätssektor: E-PKW und H₂ Schwerlastverkehr Bedarfe
- Netze: Strom (ÜN und VN), Methan (ÜN), Wasserstoff (ÜN)

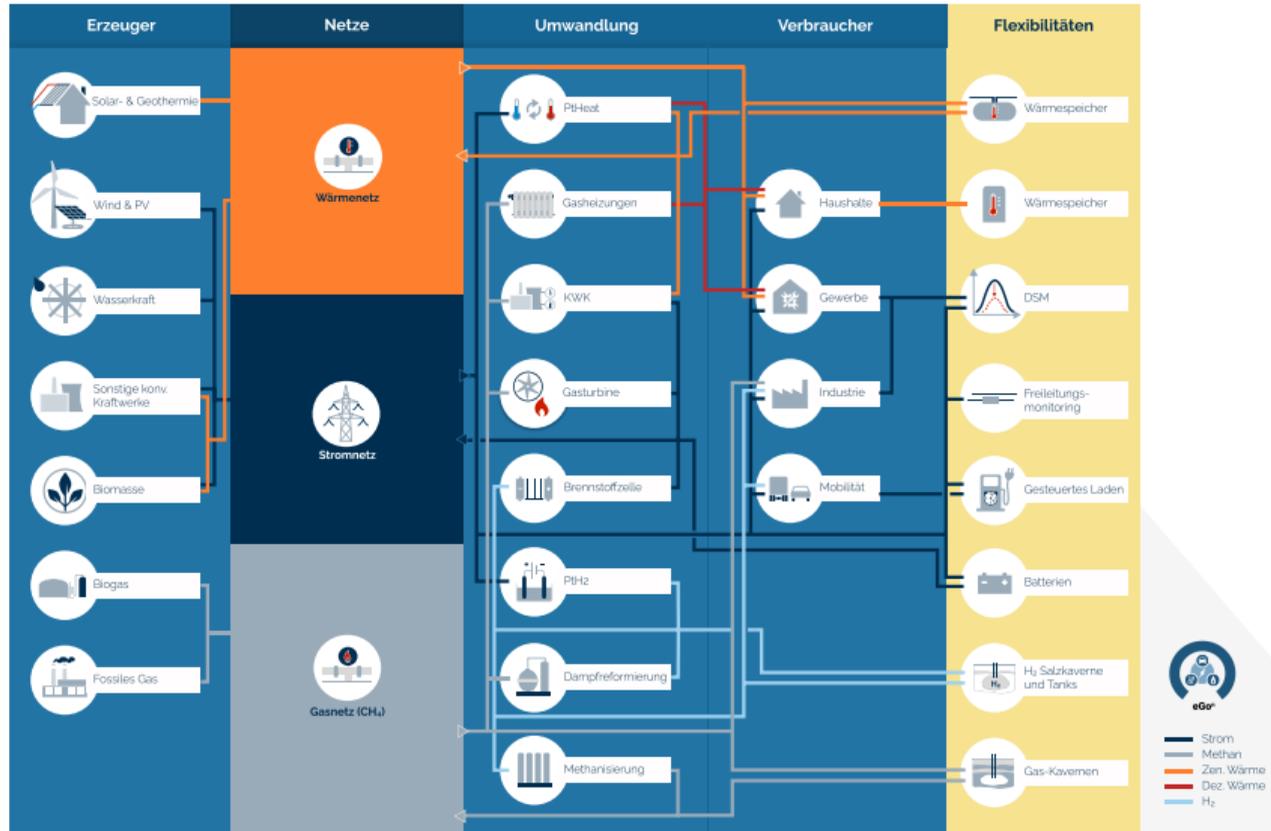
gas	46.7	GW
oil	1.3	GW
pumped hydro	10.2	GW
wind onshore	90.9	GW
wind offshore	34.0	GW
solar	120.1	GW
biomass	8.7	GW
others	5.1	GW

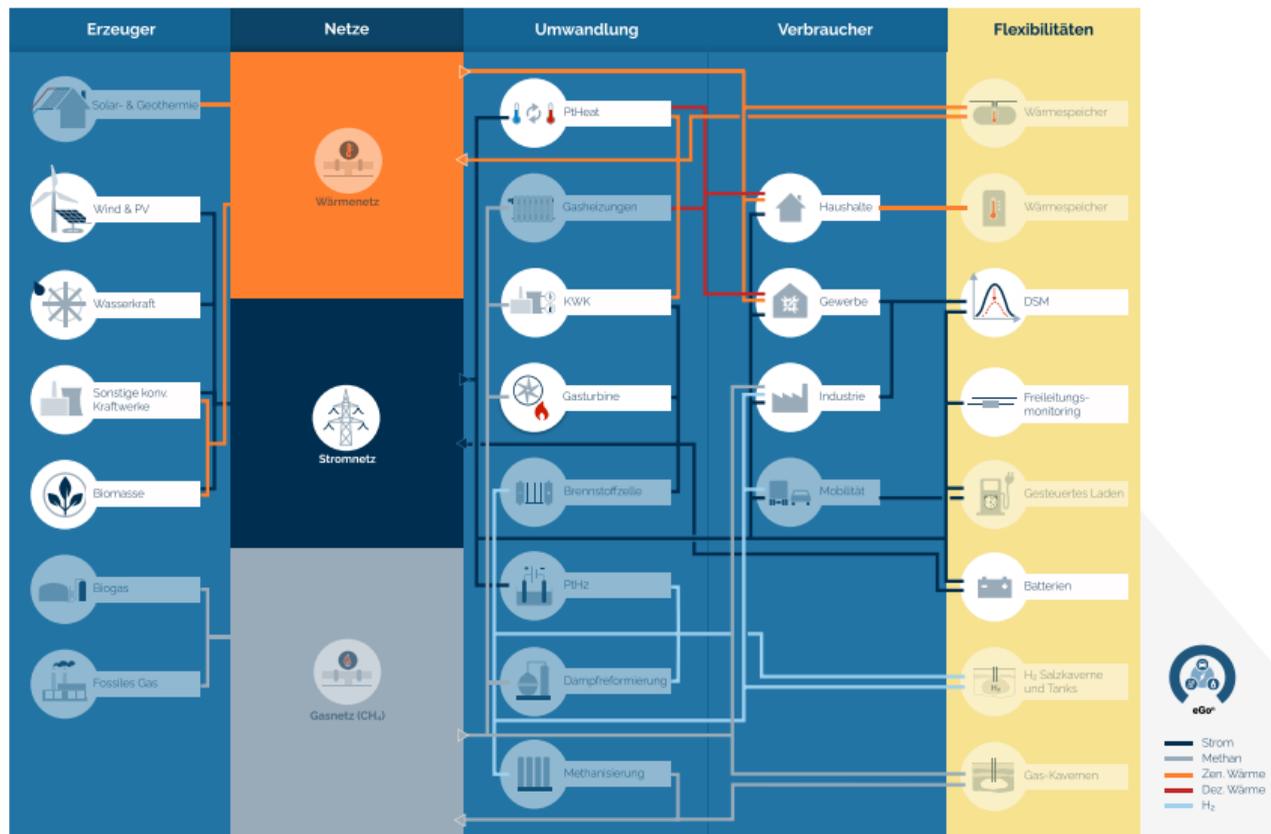
Table: Electricity generation capacities in Germany in 2035 [1]

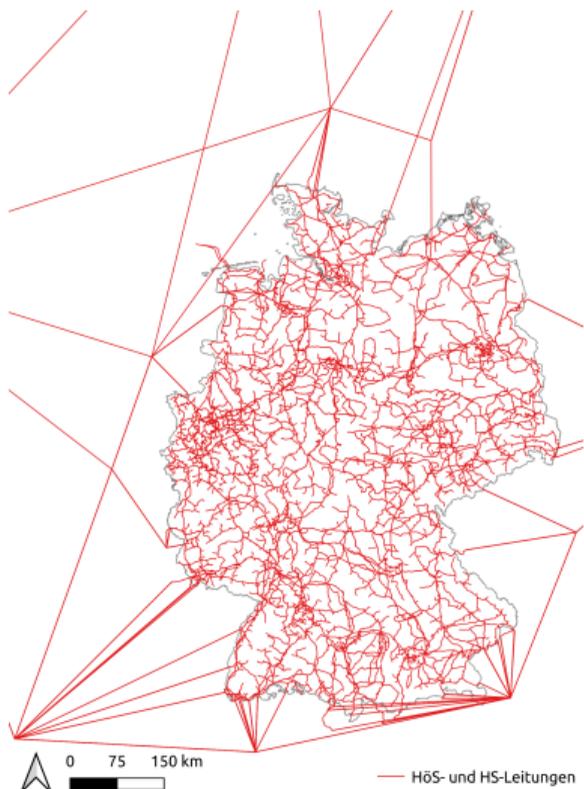
MIT transport	41.4	TWh _{el}	*
central heat	68.9	TWh _{th}	*
rural heat	423.2	TWh _{th}	*
electricity	498.1	TWh _{el}	[1]
CH ₄ industry	196.0	TWh _{CH₄}	[2]
H ₂ industry	16.1	TWh _{H₂}	[2]
H ₂ transport	26.5	TWh _{H₂}	*

Table: Energy demands in Germany,
* own calculation

Flexibilität	eGon2035	eGon2035_lowflex
Netzausbau	✓	✓
Ausbau von Batterien	✓	✓
Demand Side Management	✓	
Freileitungsmonitoring	✓	
Flexibles Laden von E-PKW	✓	
Wärmespeicher	✓	
Wasserstofftanks	✓	✓
Wasserstoffsaltkavernen	✓	
Brennstoffzellen	✓	
Methanisierung	✓	







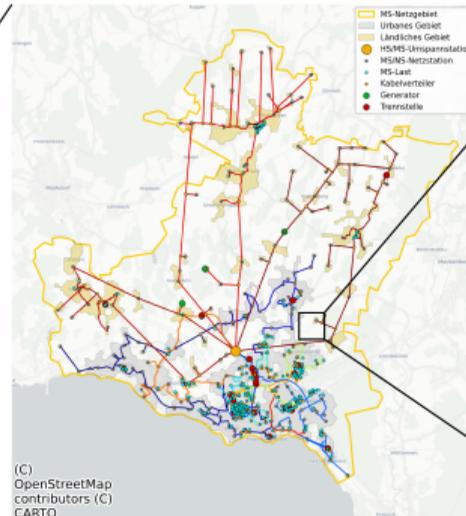
HöS/HS -Netz eGon2035

- Erstellung der HöS- und HS-Netztopologie mit dem Tool *osmTGmod* [3]
- Basierend auf OpenStreetMap Daten, Stand Januar 2022 [4]
- Aggregierte Abbildung der elektrischen und geographischen Nachbarländer
- Netzausbau im Rahmen der Optimierung möglich

	HöS-Leitungen	HS-Leitungen
Ausbaukosten	700 €/MVA/km	230 €/MVA/km



Extra high and high voltage grid



Medium voltage grid



Low voltage grid

- Erstellung von synthetischen Mittel- und Niederspannungsnetzen mit dem Tool *Ding0* [5] basierend auf Daten aus MaStR, OSM und Verbrauchsverteilung

Haushalte

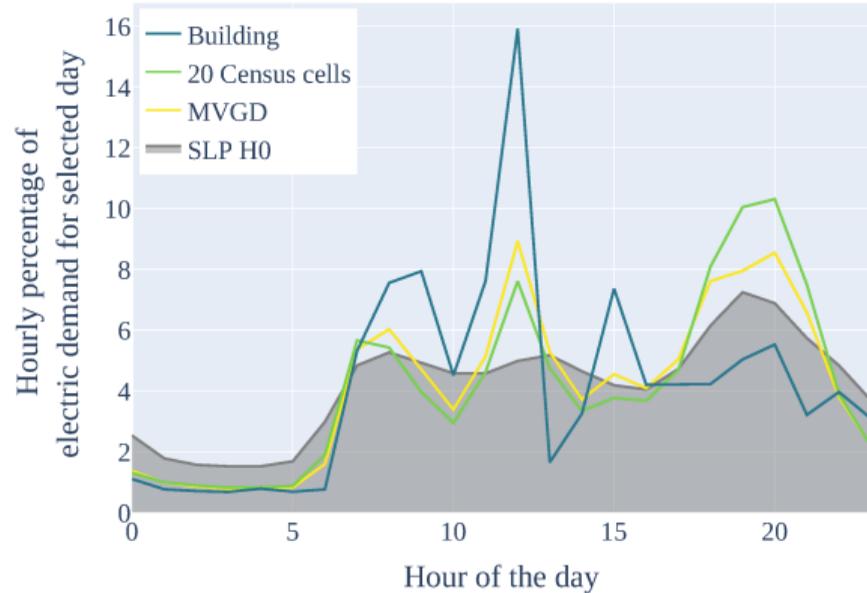
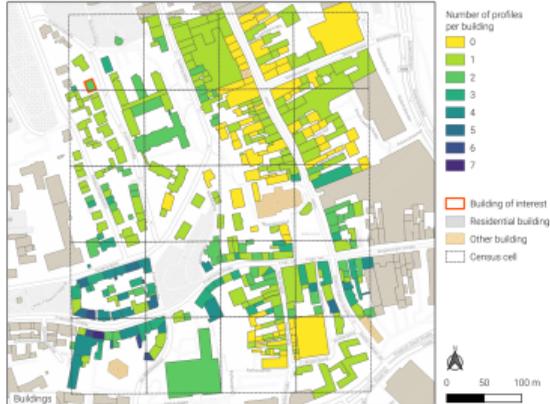
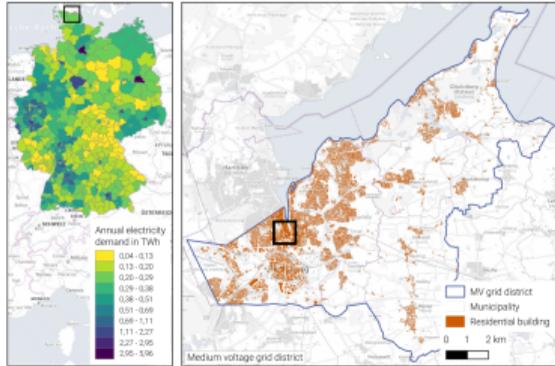
- Verbrauchverteilung auf NUTS3-Ebene von DemandRegio [6]
- Weiterverteilung basierend auf Zensus-Daten und OpenStreetMap Gebäudedaten [7]
- Zeitreihenerstellung aus einem Pool von synthetischen Lastprofilen

GHD

- Verbrauchverteilung auf NUTS3-Ebene von DemandRegio [6]
- Weiterverteilung basierend auf GHD-Wärmebedarfsverteilung nach Peta [8] und OSM Gebäudedaten [7]
- Zeitreihen basierend auf DemandRegio [6]

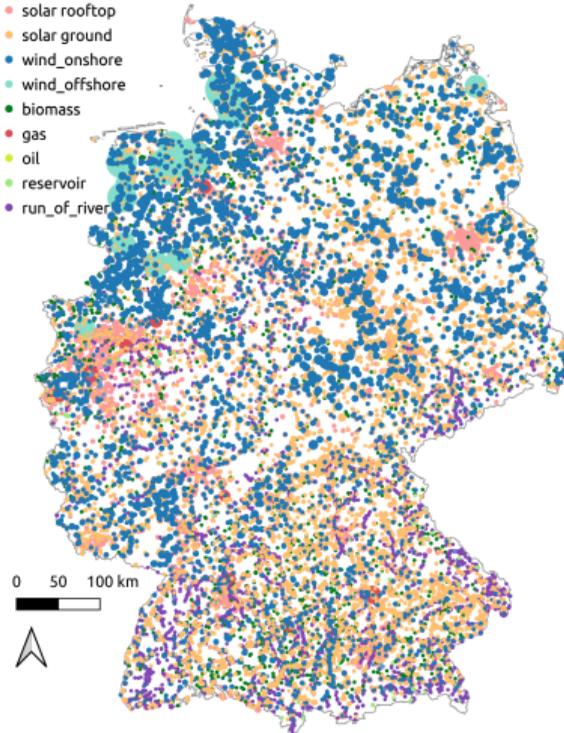
Industrie

- Unterscheidung verschiedener Wirtschaftszweige
- Verteilung auf Industriestandorte aus [9, 10, 11] und OSM Industrieflächen [4]
- Verwendung verschiedener industrieller Bedarfszeitreihen aus [6]



Kraftwerkspark

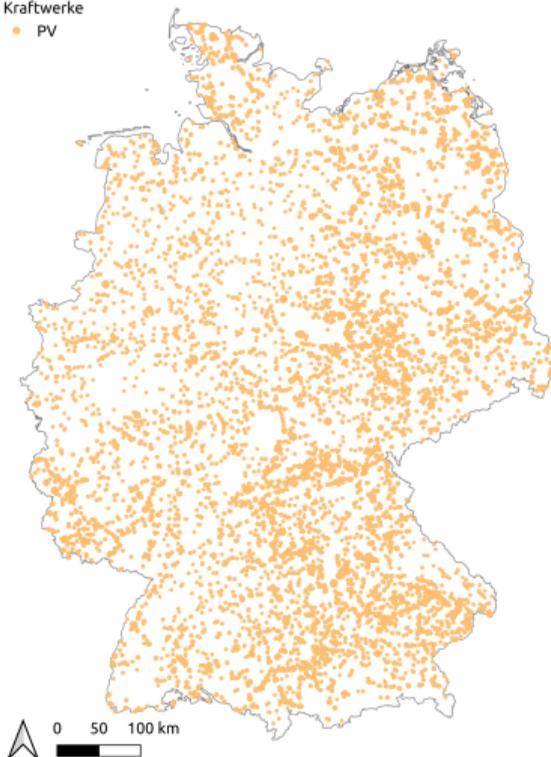
- solar rooftop
- solar ground
- wind_onshore
- wind_offshore
- biomass
- gas
- oil
- reservoir
- run_of_river



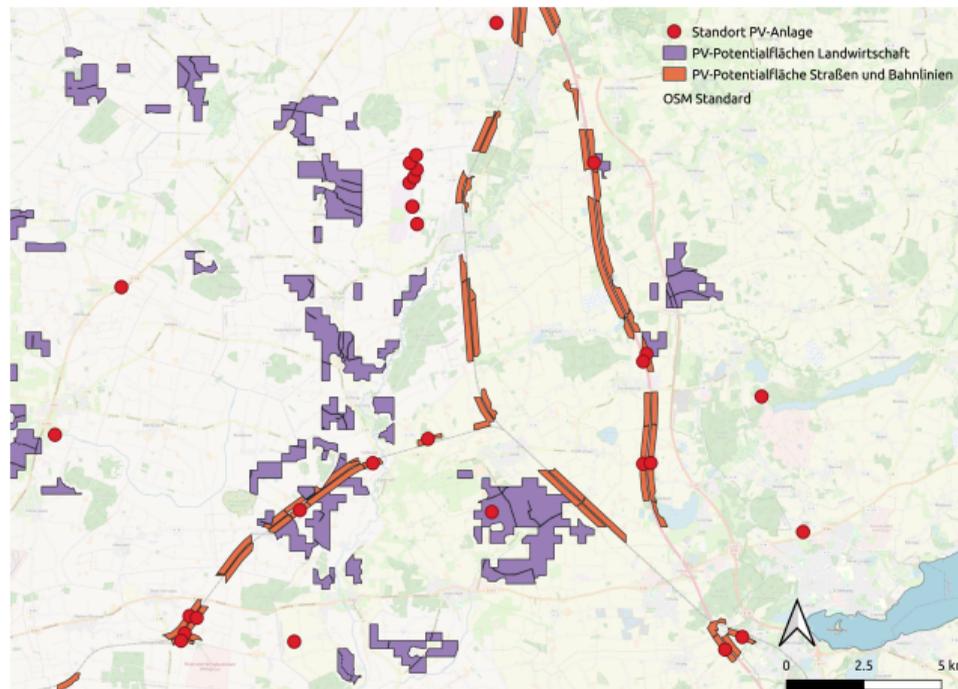
Stromerzeuger eGon2035

- Standortscharfe Verteilung von installierten Kapazitäten je Bundesland nach technologiespezifischen Methoden
- Wichtige Daten zur Verteilung: MaStR, OSM, EE-Potentialflächen
- Anschließende Erstellung von potentiellen Einspeisezeitreihen
- Zuordnung zu Netzebene und Einspeisepunkt
- Kraftwerkseinsatz ist Optimierungsergebnis
- Grenzkosten basierend auf Brennstoff-, CO₂- und Betriebskosten

Kraftwerke
● PV



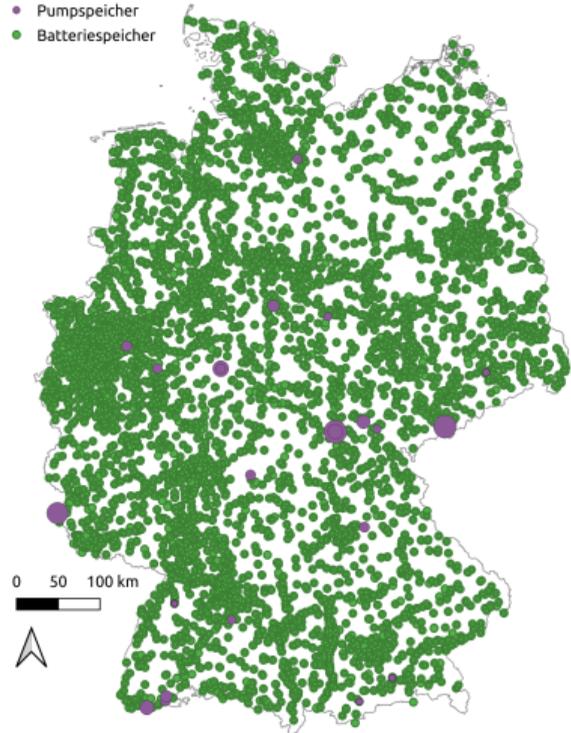
Verteilung PV-Freiflächenanlagen



Potentialflächen für PV-Freiflächenanlagen

Speicher

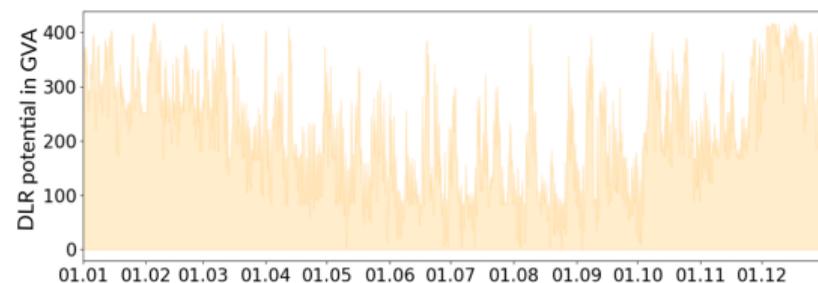
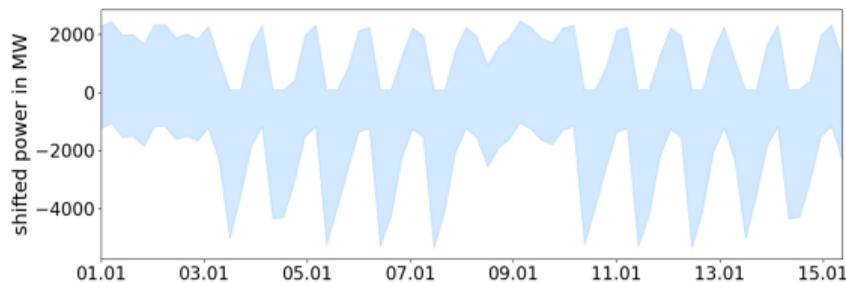
- Pumpspeicher
- Batteriespeicher



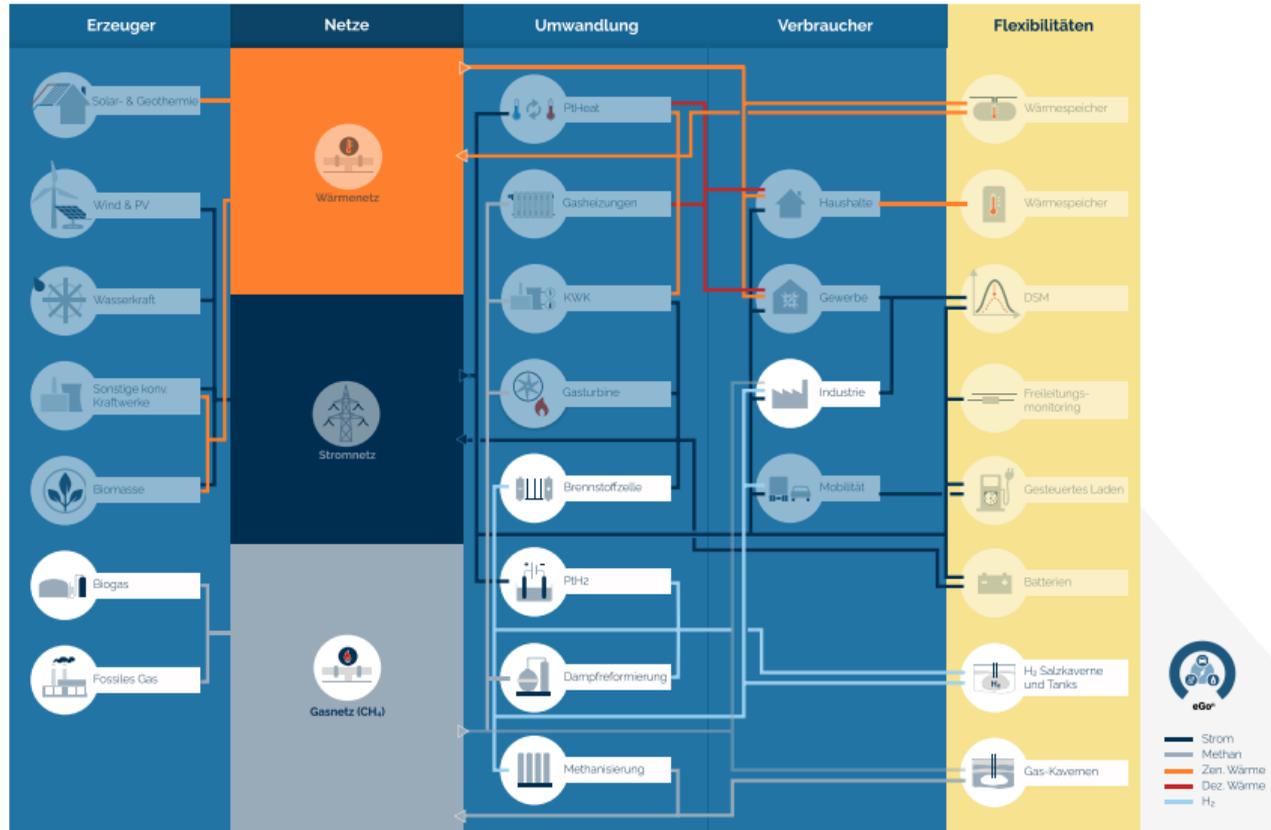
- Verteilung Pumpspeicher auf aktuellen Standorten nach MaStR
- Verteilung Batteriespeicher nach installierter Kapazität von PV-Aufdachanlagen
- Weiterer Zubau von Batteriespeichern an allen Netzknoten möglich

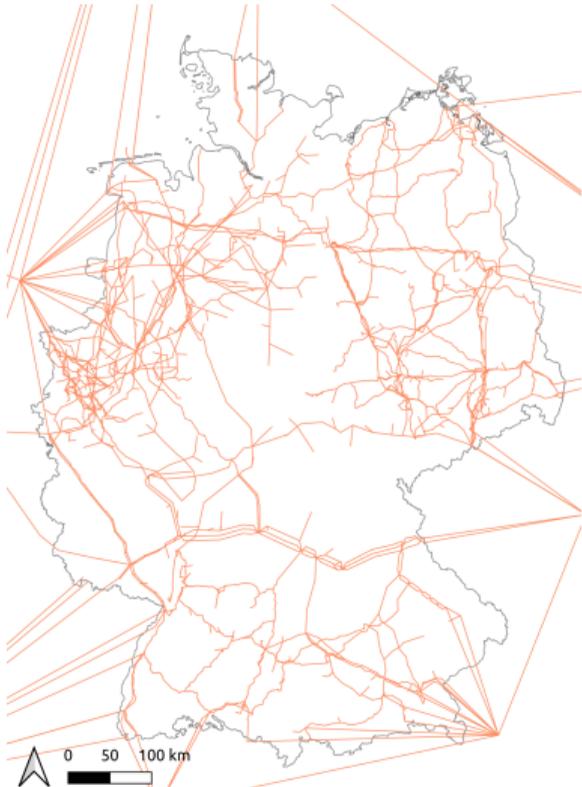
	Batteriespeicher	Pumpspeicher
Install. Leistung	16,8 GW	6,8 GW
E/P ratio	6	6
Ausbaukosten	838 €/kW	
Lebensdauer	27,5 a	

Verteilung Pump- und Batteriespeicher



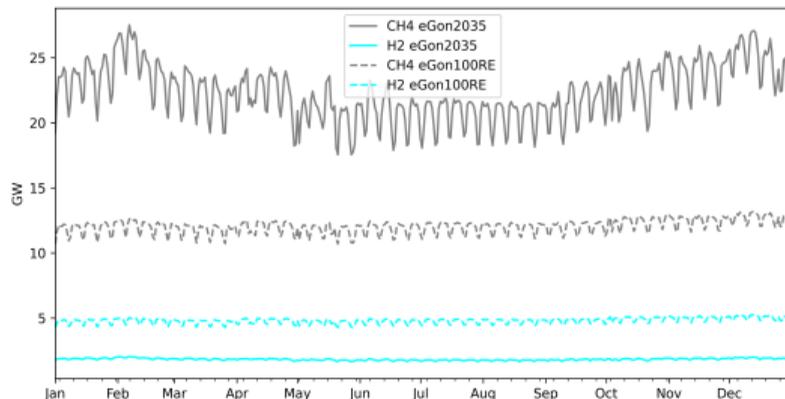
- **Demand Side Management** in GHD und Industrie
- Potentiale durch Lüftung, Kühlung und spezifische Prozesse in Zement- und Papierherstellung
- Flexibilitätspotentiale durch **Freileitungsmonitoring** (DLR)
- Methodik nach NEP [1]
- Verwendung von Wetterdaten zur Bestimmung der zusätzlichen Leitungskapazitäten





Methannetz eGon2035

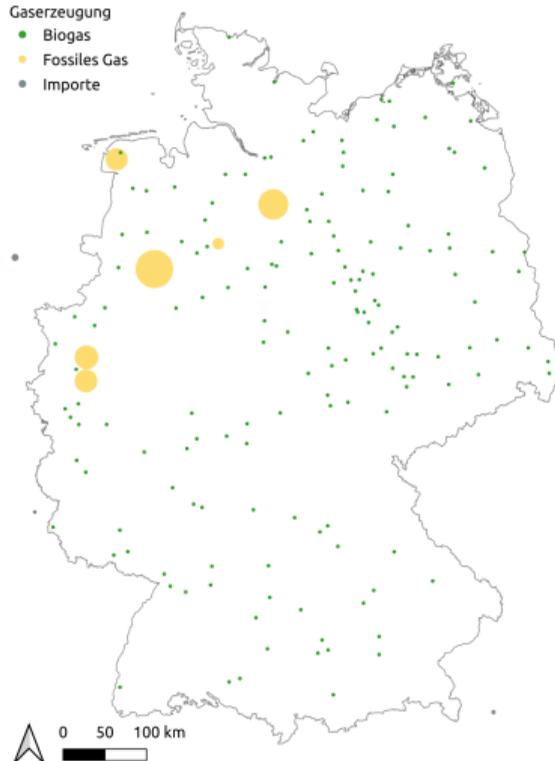
- Modellierung des Methan Transportnetzes
- Feste Kapazität und Topologie (Status quo)
- Quelle: SciGRID_gas [12]
- Kein Wasserstoffnetz



Industrielle Methan- und Wasserstoffverbräuche

- Methan- und Wasserstoffbedarfe
- NUTS-3 Auflösung
- Angeschlossen an nächstgelegenen Netzknoten
- Quelle: eXtremOS Projekt [2]

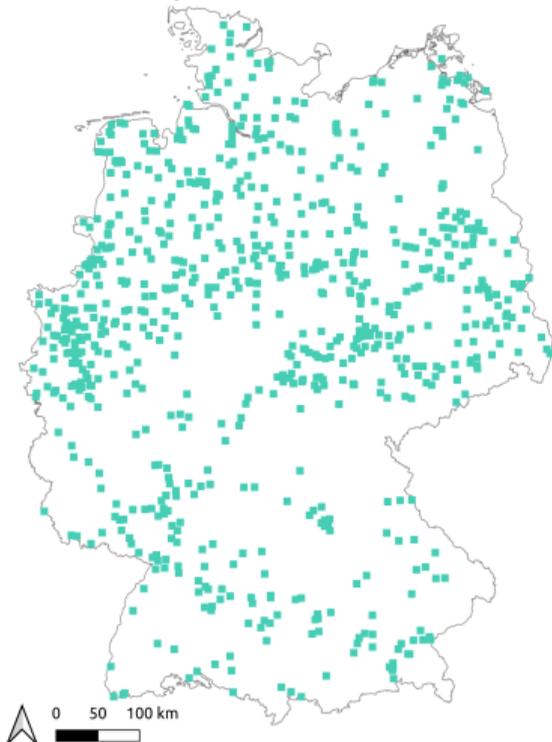
	CH ₄	H ₂
eGon2035	195 TWh	16 TWh
eGon100RE	105 TWh	42 TWh



Gaseinspeisung eGon2035

- National Einteilung in
 - Biogas
 - Fossiles Gas
- Importe von Gas aus anderen Ländern
- Begrenzung von Leistung und max. Jahresenergie nach [13]

■ Potentielle Elektrolyseur-Standorte



Potentielle Elektrolyse-Standorte

- Ausbau von:
 - Elektrolyseuren
 - Brennstoffzellen
 - Methanisierung
 - Dampfreformierung (SMR)
- Potentielle Standorte
- technische und ökonomische Parameter, z.B:

	Elektrolyseur	Brennstoffzelle
Ausbaukosten	375 EUR/kW	1025 EUR/kW
Wirkungsgrad	70 %	50 %



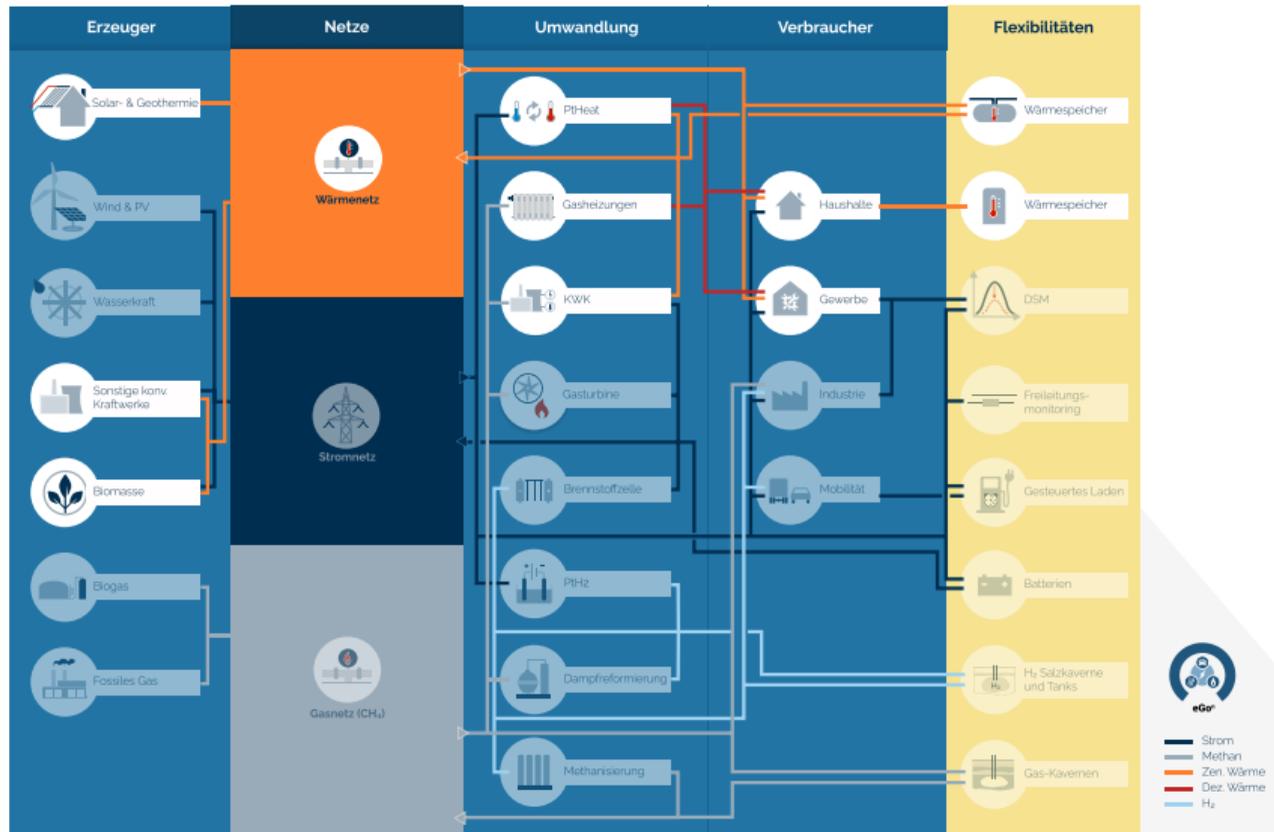
Potentielle H₂-Salzkavernenspeicher

Vorhandene Speicher

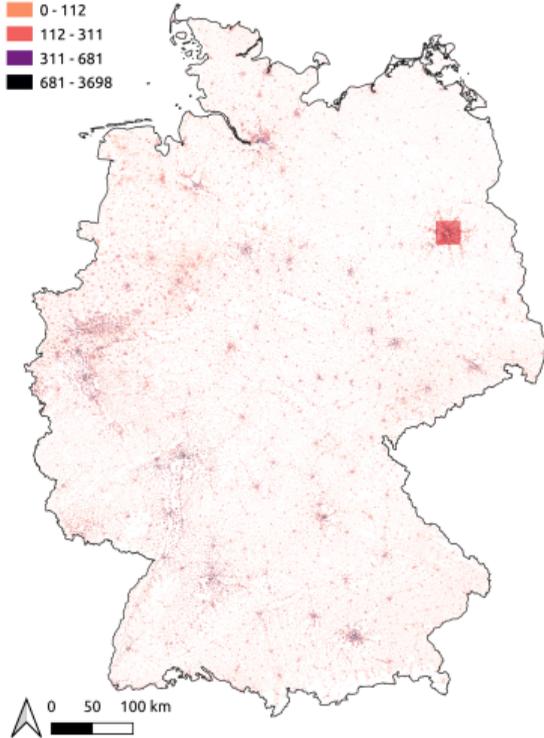
- Methannetz
- Methan-Kavernen

Neue Speichermöglichkeiten

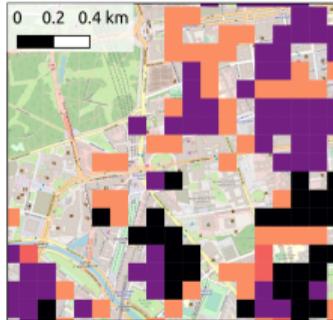
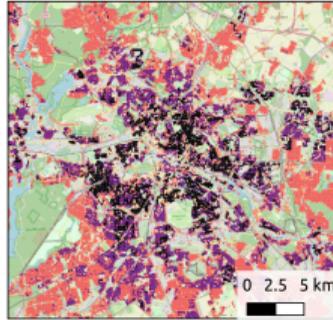
- Wasserstoff in Tanks
- Wasserstoff in Salzkavernen



Wärmebedarfe in Haushalten



Wärmebedarf in Haushalten



- Haushalte und GHD
- Industrie als Brennstoffbedarfe
- Verteilung auf Hektarzellen nach Peta 5.0.1 [8]
- Höchste Auflösung: Gebäude
- Bedarfe eGon2035:

Sektor	Bedarf
Haushalte	379 TWh
GHD	122 TWh

Methoden für große Systeme

- Nationale Ebene, NUTS 3
- z.B. Standardlastprofile Gas
- Lastspitzen ausgeglichen durch Aggregation

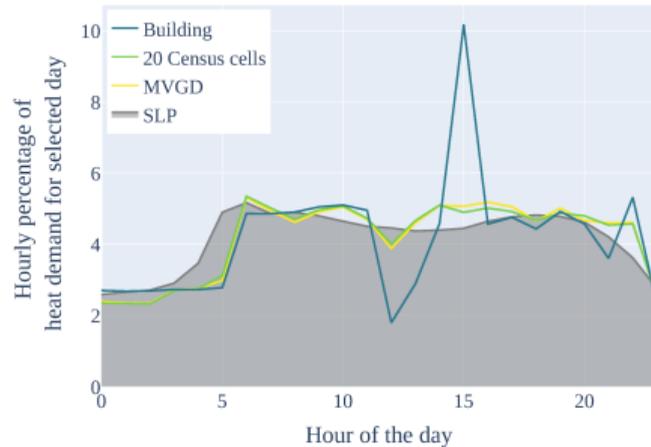
Methoden für kleine Systeme

- Einzelne Gebäude
- z.B. Messdaten, Lastprofilgeneratoren
- < 1000 Profile verfügbar

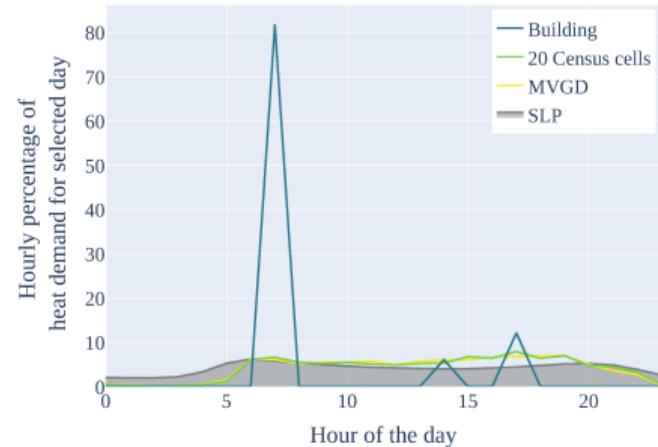
Unsere Herausforderung:

- Übertragungsnetz: ganz Deutschland (ca. 20 Millionen Gebäude)
- Verteilnetze: hohe Auflösung, einzelne Gebäude

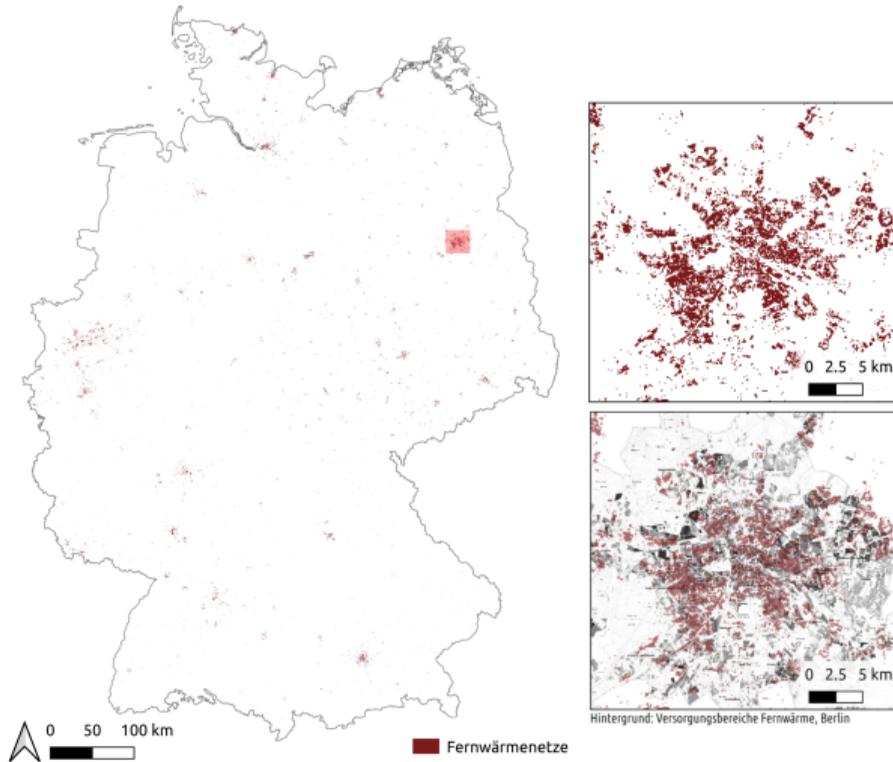
→ Paper: *Open modeling of electricity and heat demand curves for all residential buildings in Germany*, [14]



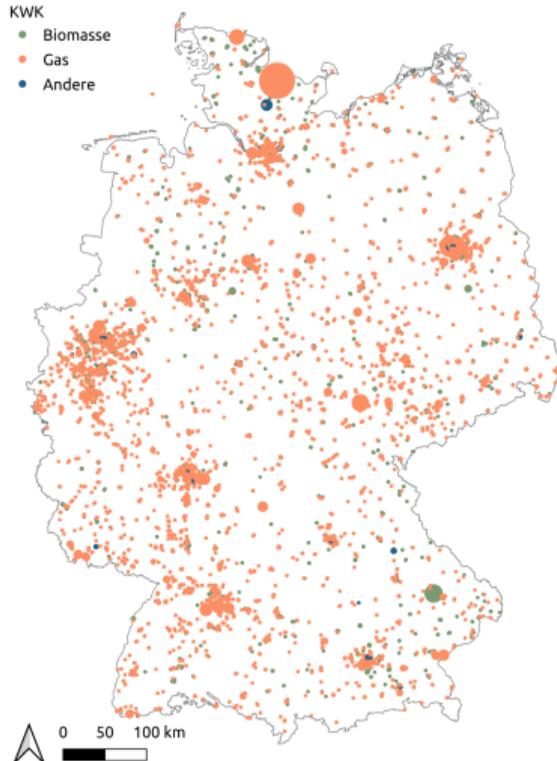
Tag im Winter



Tag im Sommer



- Vorgegebener Fernwärmeanteil nach Szenario
 - eGon2035: 13,75%
- Basierend auf Status Quo Netzen nach Zensus 2011
- Ausbau nach Wärmebedarfsdichte



KWK in Fernwärmenetzen eGon2035

Eingangsdaten: Installierte Leistungen je Technologie in Deutschland [1]

Ziel: Installierte Leistung je Technologie und Fernwärmenetz

Kaskadierte Verteilung:

1. KWK Anlagen (nach MaStr)
2. Geothermie (nach Potential)
3. Wärmepumpen, Elektroheizungen
4. Gas als Backup

Wärmepumpen

- Installierte Leistung nach NEP [?]
- Auswahl von Gebäuden mit Wärmepumpe
- Berücksichtigung von Gebäudedaten (z.B. PV-Anlage)
- Auslegung nach Lastkurve

Gasheizungen

- Gebäude ohne Fernwärme und indiv. Wärmepumpe
- Aggregation je Gasknoten

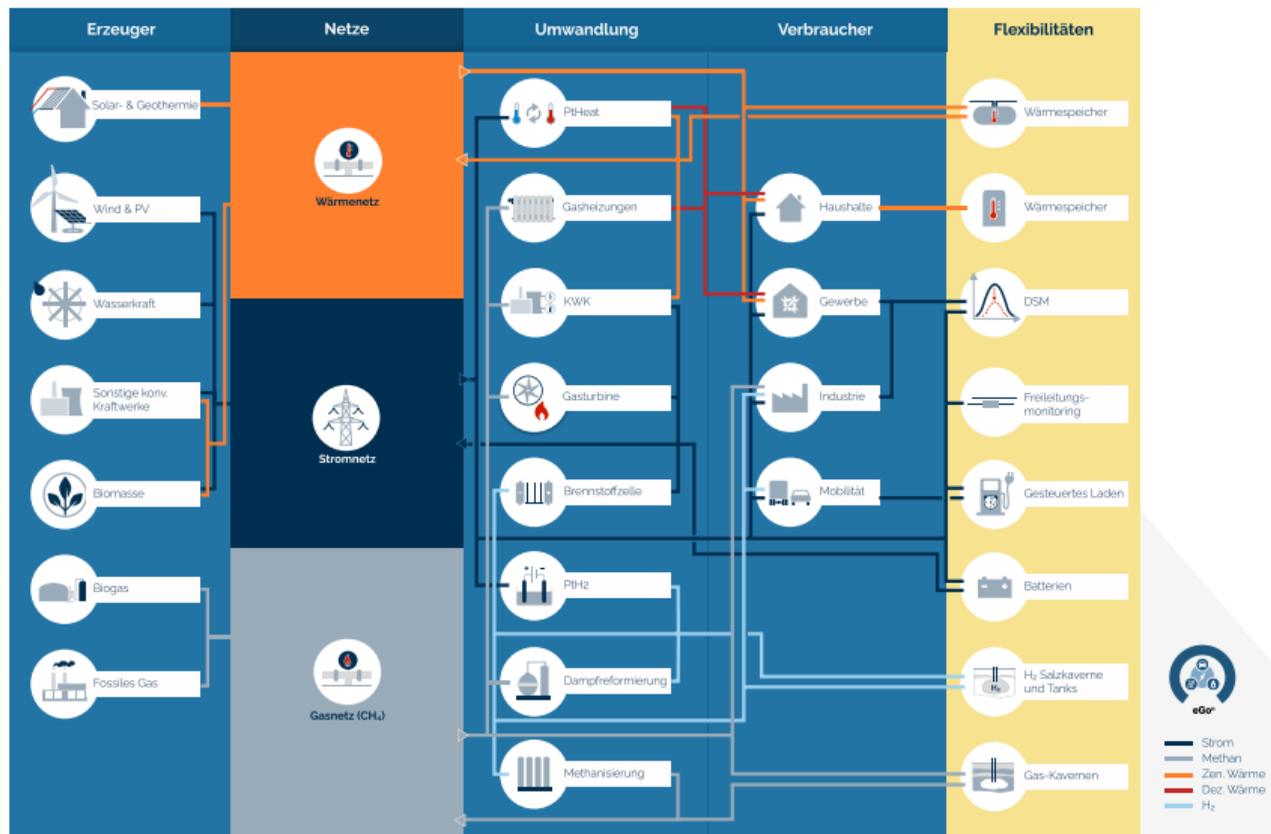
Potentielle Standorte von Wärmespeichern

- Fernwärme
- individuell



- Zeitliche Verschiebung des Wärmebedarfs
- Unterteilt in Fernwärme und private Häuser mit WP
- Leistung und Energie Optimierungsziel
- Technische und ökonomische Parameter, z.B.:

	Fernwärme	individuell
Kosten je kWh	0.51 EUR	1.84 EUR
Wirkungsgrad	70 %	70 %

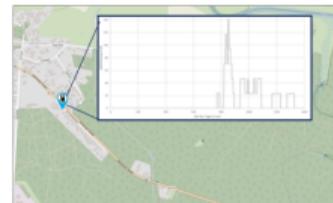
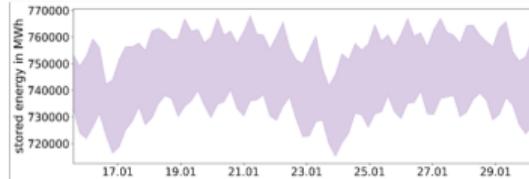


- Abbildung im **Übertragungsnetz**:
 - **Aggregierte Zeitreihen und Flexibilitätspotentiale**
- Abbildung im **Verteilnetz**
 - **Dezidierte Lastzeitreihen je georeferenzierten LIS-Standort**
 - Ladevorgänge unter Beachtung von Netzrestriktionen im VN und Einhaltung der Vorgaben aus dem ÜN

Fahrtprofile

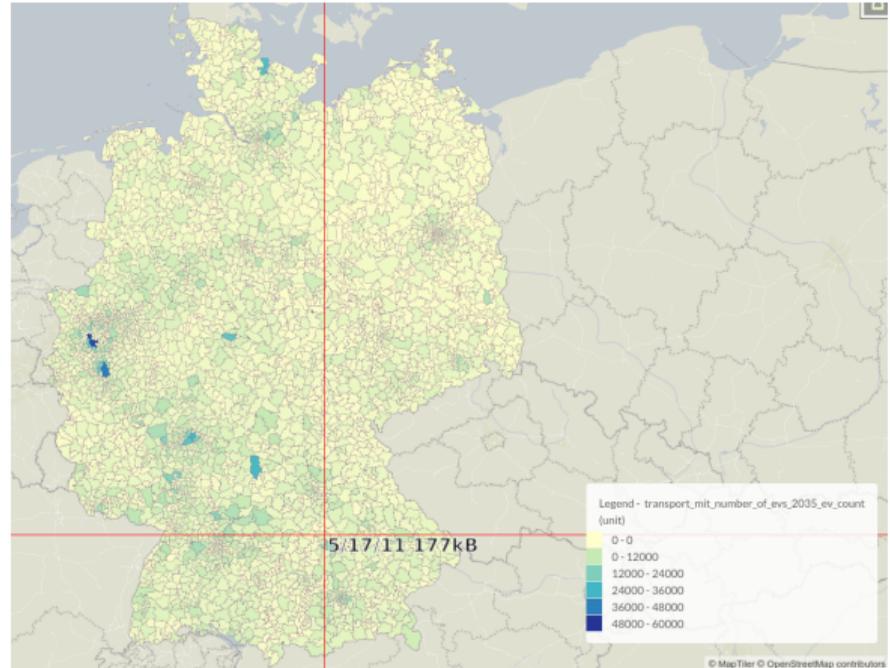
car_type	bat_exp	location	netto_charge	SoC_start	SoC_end	chargingtime	charge_time	park_start	park_end	drive_start	drive_end	consumption
0	bev, January	90 g_home	0	0	1	0	24	1	24	0	0	0
1	bev, January	90 driving	0	1	0,78107849	0	0	0	0	25	38	15,621936
2	bev, January	90 5_interve	0	0,78107849	0,78107849	0	0	39	56	0	0	0
3	bev, January	90 driving	0	0,78107849	0,77702064	0	0	0	0	17	58	0,760000
4	bev, January	90 g_home	11	0,77702064	0,00000018	13,75	5	59	64	0	0	0
5	bev, January	90 driving	0	0,00000018	0,99994329	0	0	0	0	40	47	1,37148
6	bev, January	90 g_work	11	0,99994329	1	8,204104	14	66	85	0	0	0
7	bev, January	90 driving	0	1	0,97854542	0	0	0	0	86	87	1,939912
8	bev, January	90 g_home	11	0,97854542	0,97854542	0	0	88	120	0	0	0
9	bev, January	90 driving	0	0,97854542	0,95905963	0	0	0	0	127	128	1,7537336
10	bev, January	90 g_work	11	0,95905963	0,95905963	0	0	129	167	0	0	0
11	bev, January	90 driving	0	0,95905963	0,94038245	0	0	0	0	168	177	1,6827456
12	bev, January	90 4_private/hc	22	0,94038245	0,94038245	0	0	178	184	0	0	0
13	bev, January	90 driving	0	0,94038245	0,93543379	0	0	0	0	185	191	1,34368

Aggregierte Zeitreihe je ÜN-Knoten



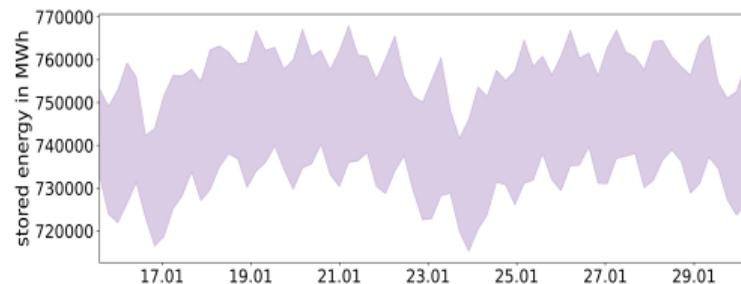
Zeitreihen je LIS-Standort

- Ermittlung der Anzahl an EVs je Netzknoten anhand **aktueller Zulassungs- und Bevölkerungszahlen**
 - 15,1 Mio. EVs in eGon2035 in DE
 - 25,0 Mio. EVs in eGon100RE in DE
- **Randomisierte Auswahl** einer entsprechenden Anzahl an Fahrtprofilen aus dem Pool



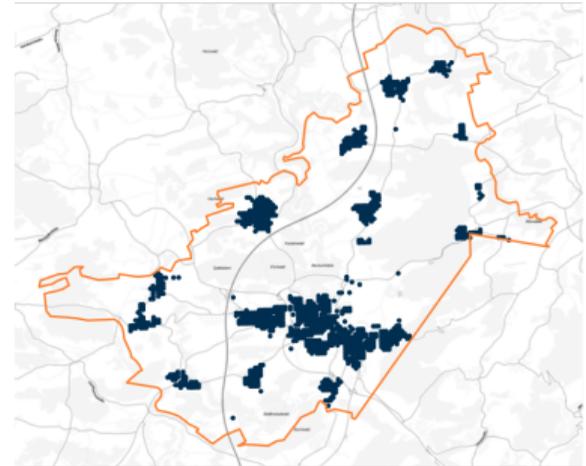
EVs je MS-Netzgebiet

- Erstellung **stündlicher aggregierter Zeitreihen** anhand der Fahrtpprofile
 - Statische Last
 - Min. und Max. SoC-Grenzen
 - Flexibilität
- Flexibler Anteil wird durch verschiedene **Bedingungen begrenzt**:
 - EVs müssen an das Stromnetz angeschlossen sein
 - Nur Ladevorgänge zu Hause und am Arbeitsplatz sind flexibilisierbar



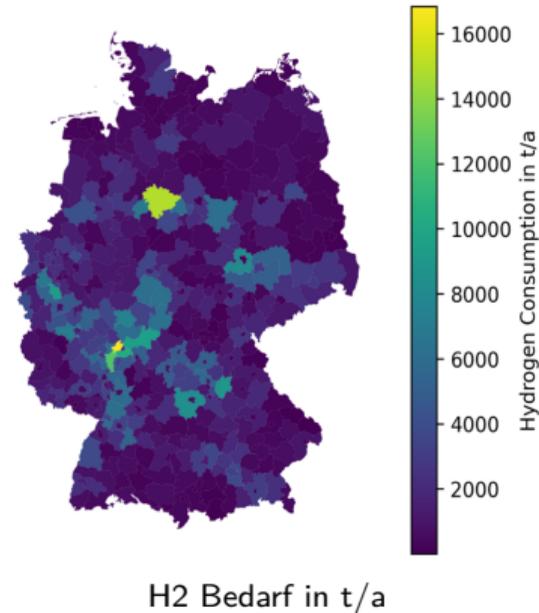
Aggregierte Zeitreihe je ÜN-Netzknotten

- Verwendung der selben Fahrprofile wie im ÜN
- Ermittlung von möglichen LIS-Standorten mithilfe von **TracBEV** [17]
 - Lade Use Cases zu Hause, Firmenparkplatz, Öffentlich und HPC
 - Basierend auf der OSM [18] und dem Zensus 2011 [19]
- **Zufällige und gewichtete Zuordnung** der Ladevorgänge auf die möglichen LIS-Standorte



Integrierte Anschlusspunkte des Lade Use Case zu Hause in einem beispielhaften Netzgebiet

- Schwerlastverkehr in eGon ist **ausschließlich H2-basiert**
 - 100.000 Fahrzeuge in eGon2035
 - 400.000 Fahrzeuge in eGon100RE
- Verteilung des H2-Bedarfs erfolgt mithilfe einer geographischen **Voronoi-Verteilung** auf NUTS3-Ebene anhand von **Daten zum Verkehrsaufkommen** [20]
- Konstante H2-Bedarfszeitreihen





github.com/openego/eGon-data

Wo finde ich die Daten?



Open Energy Platform

pgAdmin 4

egon/postgres@local_oeedb

```
1 SELECT * FROM grid.egon_etrage_line
2 ORDER BY scn_name DESC, line_id DESC LIMIT 100
3
```

scn_name	line_id	bus0	bus1	type	carrier	x	y	g	b
[PK] character varying	[PK] bigint	bigint	bigint	text	text	numeric	numeric	numeric	numeric
eGon2035_lowflex	29302	578	43959	[null]	AC	60.09342530181425	20.84989670205121	0.0	0.000007045
eGon2035_lowflex	29301	578	43959	[null]	AC	60.09342530181425	20.84989670205121	0.0	0.000007045
eGon2035_lowflex	29300	7297	43785	[null]	AC	34.59159238785122	3.853794061806069	0.0	0.000000522
eGon2035_lowflex	29299	7297	43785	[null]	AC	34.59159238785122	3.853794061806069	0.0	0.000000522
eGon2035_lowflex	29298	23707	43940	[null]	AC	31.308074382064817	9.052165888759783	0.0	0.0000010395
eGon2035_lowflex	29297	1484	43778	[null]	AC	44.7370678719497	4.984088073411291	0.0	0.000024695
eGon2035_lowflex	29296	1484	43778	[null]	AC	44.7370678719497	4.984088073411291	0.0	0.000024695
eGon2035_lowflex	29295	12851	43787	[null]	AC	70.46338982686204	7.8724948224655025	0.0	0.00000000750
eGon2035_lowflex	29294	12851	43787	[null]	AC	70.46338982686204	7.8724948224655025	0.0	0.00000000750
eGon2035_lowflex	29293	27491	43967	[null]	AC	108.30424633340813	31.314123444629114	0.0	0.00000022630



openenergy-platform.org





Ilka Cußmann

Hochschule Flensburg

ilka.cussmann@hs-flensburg.de

ilka.cussmann@uni-flensburg.de

Clara Büttner

Europa-Universität und

Hochschule Flensburg

clara.buettner@hs-flensburg.de

Kilian Helfenbein

Reiner Lemoine Institut

Kilian.Helfenbein@rl-institut.de

Julian Bartels

DLR Institut für Vernetzte

Energiesysteme

julian.bartels@dlr.de

- [1] Übertragungsnetzbetreiber. Netzentwicklungsplan Strom 2035, Version 2021, 1. Entwurf, 2021.
- [2] Andrej Guminski, Claudia Fiedler, Stephan Kigle, Christoph Pellinger, Patrick Dossow, Kirstin Ganz, Fabian Jetter, Timo Kern, Timo Limmer, Alexander Murmann, Janis Reinhard, Tobias Schmid, Tapio Schmidt-Achert, and Serafin von Roon. eXtremOS Summary Report, 2021.
- [3] Malte Scharf, Arjuna Nebel, and Lukas Wienholt. osmTGmod. URL <https://github.com/openego/osmTGmod>.
- [4] Geofabrik GmbH and OpenStreetMap-Mitwirkende. OpenStreetMap Data Extracts, Stand 01.01.2022, 2022. URL <https://download.geofabrik.de/europe/germany-220101.osm.pbf>.
- [5]

- [6] Fabian Gotzens, Bastian Gillessen, Simon Burges, Wilfried Hennings, Joachim Müller-Kirchenbauer, Stephan Seim, Paul Verwiebe, Schmid Tobias, Fabian Jetter, and Timo Limmer. DemandRegio - Harmonisierung und Entwicklung von Verfahren zur regionalen und zeitlichen Auflösung von Energienachfragen . 2020. URL <https://openaccess.ffe.de/10.34805/ffe-119-20>.
- [7] OpenStreetMap Contributors. Openstreetmap taginfo – chronology of key: building, 2022. URL <https://taginfo.openstreetmap.org/keys/building#chronology>.
- [8] Europa-Universität Flensburg, Halmstad University and Aalborg University. Pan-european thermal atlas - residential heat demand, 2021. URL <https://s-eenergies-open-data-euf.hub.arcgis.com/maps/d7d18b63250240a49eb81db972aa573e/about>.
- [9]

- [10]
- [11] Danielle Schmidt. Supplementary material to the masters thesis: Nuts-3 regionalization of industrial load shifting potential in germany using a time-resolved model, 2019. URL <https://zenodo.org/record/3613767>.
- [12] Adam Pluta, Wided Medjroubi, Jan C. Diettrich, Jan Dasenbrock, Hendrik-Pieter Tetens, Javier E. Sandoval, and Ontje Lünsdorf. Scigrid_gas - data model of the european gas transport network. In 2022 Open Source Modelling and Simulation of Energy Systems (OSMSES), pages 1–7, 2022. doi: [10.1109/OSMSES54027.2022.9769122](https://doi.org/10.1109/OSMSES54027.2022.9769122).
- [13] Deutsche Energie-Agentur. Biogaspartner Einspeiseatlas Deutschland, 2021. URL <https://www.biogaspartner.de/einspeiseatlas/>.

- [14] Clara Büttner, Jonathan Amme, Julian Endres, Aadit Malla, Birgit Schachler, and Ilka Cußmann. Open modeling of electricity and heat demand curves for all residential buildings in Germany. Energy Informatics, 5(1):21, September 2022. ISSN 2520-8942. doi: 10.1186/s42162-022-00201-y. URL <https://doi.org/10.1186/s42162-022-00201-y>.
- [15] Mobilität in deutschland (im auftrag des BMVI), 2018. URL <https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/publikationen2017.html>.
- [16] simBEV, 2022. URL <https://github.com/rl-institut/simbev>.
- [17] TracBEV, 2022. URL <https://github.com/rl-institut/tracbev>.
- [18] OpenStreetMap, 2012. URL <https://www.openstreetmap.de/>.
- [19] Zensus, 2011. URL https://www.zensus2011.de/DE/Home/home_node.html.

- [20] Bundesanstalt für Straßenwesen. Automatische zählstellen 2019, 2019. URL https://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/Daten/2019_1/Jawe2019.html;jsessionid=B33E6D9221B9EB7D6B2596E14BFE5EFD.live11293?nn=1819490.