



CENTRAL OFFICE 2030 – EFFEKTIVE, NACHHALTIGE UND RESILIENTE  
TELEKOMMUNIKATIONSNETZE IM ENERGIESYSTEM

# Meilensteinbericht MS 1

## Initiale Potentialbewertung für nachhaltige und resilien- te kombinierte Energie- und IKT-Standorte

Saskia Spiegelburg

Marius Tillmanns

Dr. Severin Beucker

Simon Hinterholzer

Julian Balkowski

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Aaron Praktijnjo

# IMPRESSUM

## KURZTITEL

Meilensteinbericht MS 1 Potentialkarten

## AUTORINNEN UND AUTOREN

Saskia Spiegelburg (Lehrstuhl für Energiesystemökonomik, RWTH Aachen)

Marius Tillmanns (Lehrstuhl für Energiesystemökonomik, RWTH Aachen)

Dr. Severin Beucker (Borderstep Institut)

Simon Hinterholzer (Borderstep Institut)

Julian Balkowski (Borderstep Institut)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Aaron Praktiknjo (Lehrstuhl für Energiesystemökonomik, RWTH Aachen)

## KONSORTIALFÜHRUNG

Deutsche Telekom AG

Dr. Andreas Gladisch

Winterfeldtstr. 21 | 10781 Berlin | [www.telekom.com](http://www.telekom.com)

## PROJEKTPARTNER

Deutsche Telekom AG

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen

Technische Universität Darmstadt

50Hertz Transmission GmbH

## ZITIERVORSCHLAG

Beucker, S., Hinterholzer, S., Balkowski, J., Praktiknjo, A., Spiegelburg, S. & Tillmanns, M. (2024). Meilensteinbericht MS 1 - Initiale Potentialbewertung für nachhaltige und resiliente kombinierte Energie- und IKT-Standorte. Berlin: CO 2030 Konsortium.

## FÖRDERMITTELGEBER

Das Projekt CO 2030 wird vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) sowie seinem Projektträger TÜV Rheinland Consulting GmbH gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# INHALTSVERZEICHNIS

Impressum.....	II
Inhaltsverzeichnis .....	III
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis .....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	V
<b>1 Hintergrund.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Potentialkarten für Abwärmenutzung in Wärmenetzen .....</b>	<b>5</b>
2.1 Gegenstand der Analyse.....	5
2.2 Methodische Vorgehensweise .....	5
2.3 Szenariorahmen und Daten.....	6
2.4 Ergebnisse und Diskussion .....	9
<b>3 Potentialkarten für den Anschluss an das Elektrizitätsversorgungssystem und netzbezogene Flexibilitätsbedarfe.....</b>	<b>11</b>
3.1 Gegenstand der Analyse.....	11
3.2 Methodische Vorgehensweise .....	12
3.3 Szenariorahmen und Daten.....	12
3.4 Ergebnisse und Diskussion .....	15
<b>4 Fazit .....</b>	<b>18</b>
4.1 Initiale Potentialwertung für kombinierte Energie- und IKT-Standorte.....	18
4.2 Ausblick.....	18
<b>Quellen.....</b>	<b>19</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>21</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Räumlich aufgelöste CO-Standorte ab 100 kW	7
Abbildung 2: Ergebnisse Distanzberechnung zwischen CO-Standorten und Kraftwerken	8
Abbildung 3: Central Offices und 110 kV Spannungsebene	13
Abbildung 4: Distanzbeispiel am CO-Standort Düsseldorf	15
Abbildung 5: Core-Standorte und Engpassregionen	16
Abbildung 6: Lokales Wärmenetz in Düsseldorf	22
Abbildung 7: Räumwärmebedarfsmodellierung nach Hausumring in kWh und Wärmelinien-dichte in kWh/m <sup>2</sup>	23
Abbildung 8: Distanzbeispiel am CO-Standort Düsseldorf	25
Abbildung 9: Core-Standorte und Engpassregionen	28
Abbildung 10: Beispiel einer Distanzanalyse vom Core-Standort zur Engpassregion	29

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht Distanzen zwischen CO-Standorten und nächstgelegenen Kraftwerken.....	9
Tabelle 2: Vergleich der Distanzanalyseergebnisse: .....	16
Tabelle 3: Vergleich der Distanzanalyseergebnisse .....	21
Tabelle 4: Übersicht Distanzen zwischen CO-Standorten und nächstgelegenen Kraftwerken.....	24
Tabelle 5: Ergebnisse Distanzanalyse der Core-Standorte zum 110kV-Netz .....	25
Tabelle 6: Geringste Distanz zum Hochspannungsnetz je Cluster .....	26
Tabelle 7: Sortierte Distanzanalyseergebnisse.....	27
Tabelle 8: Ergebnisse Distanzanalyse absteigend sortiert .....	29

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Langfassung
BNetzA	Bundesnetzagentur
CO 2030	Central Office 2030 (Hauptverteilstelle)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnEfG	Energieeffizienzgesetz
ERF	Energy Reuse Factor (Anteil an wiederverwendeter Energie)
EU	Europäische Union
Fraunhofer ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
GIS	Geoinformationssystem
IFAM	Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
km	Kilometer
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
m	Meter
MWh	Megawattstunden
NRW	Nordrhein-Westfalen
PPA	Power Purchase Agreements (Direktabnahmeverträge)
PUE	Power Usage Effectiveness (Energieverbrauchseffektivität)
PV	Photovoltaik

# 1 Hintergrund

## Forschungsprojekt Central Office 2030 – CO 2030

Im Forschungsprojekt Central Office 2030 (CO 2030) werden neue Konzepte und Lösungen für einen nachhaltigen und resilienten Betrieb der Telekommunikationsinfrastruktur am Beispiel der Deutschen Telekom entwickelt. Die zukünftige Infrastruktur soll eine Versorgung mit Erneuerbaren Energien bei wachsendem Datenverkehr und Stromverbrauch, einen sicheren Betrieb der Netze unter veränderten Klimabedingungen sowie einen Beitrag zu einem flexibleren Energiesystem leisten.

Die Infrastruktur der Deutschen Telekom besteht im Kern aus Central Offices (veraltet: Vermittlungsstellen des Festnetzes). Hinzu kommt ein wachsendes Mobilfunknetz, das zunächst parallel zum Festnetz entstand, heute jedoch technische und örtliche Überschneidungen mit den Central Offices besitzt. Insgesamt hat sich die Netzinfrastruktur für Telekommunikation durch den Technologiewandel der letzten Jahrzehnte stark verändert. Während sie ursprünglich für eine analoge Vermittlung ausgelegt war, so dient sie heute der Bereitstellung digitaler Dienste wie Voice-over-IP, Internetzugang, Streaming, usw. Dadurch hat sich nicht nur die eingesetzte Technik fundamental verändert, auch der Energiebedarf ist angestiegen.

Die Ergebnisse des Vorhabens sollen den Telekommunikationsnetzbetreibern ermöglichen, schrittweise ihre Infrastruktur den sich wandelnden umweltpolitischen und energietechnischen Erfordernissen anzupassen – mit den Central Offices als aktiven Elementen des Energiesystems. Hierfür soll das Vorhaben CO 2030 einen Beitrag leisten, indem Szenarien für die Kopplung von Telekommunikations- und Energieinfrastrukturen entwickelt und bewertet sowie Lösungsvorschläge für ihre Umsetzung erarbeitet werden. Anhand mehrerer Kriterien soll schrittweise ein geeigneter Standort bzw. ein repräsentatives CO des Konsortialpartners Telekom ausgewählt werden, um anhand standortgenauer Informationen die energetische Modernisierung zu evaluieren und notwendige Bedingungen zu erfassen.

Dabei werden sowohl der heutige als auch der zukünftige Energiebedarf der Standorte erfasst und unterschiedliche Versorgungsvarianten mit Erneuerbaren Energien modelliert. Außerdem werden Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme bewertet und die Rolle der Netzinfrastruktur in einem zukünftigen flexiblen Energiesystem neu gedacht. Dabei können die verteilten Telekomstandorte mit ihren Energieerzeugungs- und Speicheranlagen eine aktive Rolle im Smart Grid spielen, indem sie markt- und netzdienlich optimiert werden und Systemdienstleistungen für das Stromnetz (bspw. Netzengpassmanagement, Spannungs- und Frequenzhaltung oder Schwarzstartfähigkeit) erbringen; dies alles unter den Rahmenbedingungen von Klimaneutralität, (Ressourcen-)Effizienz und Ausfallsicherheit/Resilienz.

Das Vorhaben CO 2030 soll einen Beitrag zur Beschreibung der Herausforderung und zur Diskussion von entsprechenden Handlungsmöglichkeiten leisten. Die Untersuchungen werden in regionaler und zeitlicher Auflösung durchgeführt. Die regionale Dimension ermöglicht die Analyse von Standortfaktoren der Central Offices. Die zeitliche Dimension ist notwendig, um die zeitliche Volatilität der erneuerbaren Stromerzeugung und Gleichzeitigkeitseffekte mit der Stromnachfrage der Telekommunikationsstandorte zu berücksichtigen. Weiterhin bedarf es für eine effiziente Kopplung der Systeme sowie der Bereitstellung der Flexibilitäten der COs geeigneter Koordinationsmechanismen zwischen

Markt und Netzebenen des Stromsystems. Ausgehend vom Status quo werden Zukunftsszenarien abgeleitet.

## Rechtliche und marktliche Rahmenbedingungen auf EU- und nationaler Ebene

Um den Herausforderungen dynamisch steigender Energiebedarfe im Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)-Sektor im Kontext des Klimaschutzes zu begegnen, hat sich die Europäische Kommission das Ziel gesetzt, Rechenzentren und Telekommunikation bis 2030 klimaneutral zu gestalten. Demnach soll der Sektor energieeffizienter werden, Abwärme nutzen und stärker erneuerbare Energiequellen einbinden.

Neben der Verschärfung umweltpolitischer Ziele auf europäischer Ebene (siehe bspw. auch Green Deal der EU) hat der Deutsche Bundestag mit dem Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (sog. Energieeffizienzgesetz – EnEfG), welches am 18.11.2023 in Kraft getreten ist, verpflichtende Vorgaben für Betreibende von Rechenzentren auf nationaler Ebene festgeschrieben. Mit den sektorbezogenen Vorgaben des Energieeffizienzgesetzes werden neben Vorschriften zur Energieverbrauchseffektivität (engl. Power Usage Effectiveness, PUE) hohe Versorgungsquoten für erneuerbaren Strom sowie Pflichten hinsichtlich der Abwärmenutzung festgelegt.

Gemäß dem Energieeffizienzgesetz müssen Rechenzentren, die ab dem 01.07.2026 in Betrieb genommen werden, einen PUE-Wert von kleiner oder gleich 1,2 erreichen. Für Rechenzentren, die vor diesem Stichtag in Betrieb genommen wurden bzw. wurden, gilt ab dem 01.07.2027 ein PUE-Höchstwert von 1,5 und ab dem 01.07.2030 von 1,3.

Hinsichtlich der Energieversorgung von Rechenzentren muss der Stromverbrauch seit dem 01.01.2024 zu 50 % und ab dem 01.01.2027 zu 100 % bilanziell aus nicht gefördertem Strom aus Erneuerbaren Energien gedeckt werden. Demnach darf die beschaffte elektrische Energie nicht aus durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geförderten Strommengen stammen. Gleichwohl wird für die Versorgungsquoten nicht der physikalisch verbrauchte Strom angesetzt, sondern eine bilanzielle Betrachtung vorgenommen. Daher würde ein Erwerb entsprechender Zertifikate, sog. Green Power Purchase Agreements (PPAs) ausreichen.

Mit Blick auf die Abwärmenutzung müssen Rechenzentren, die ab dem 01.07.2026 in Betrieb genommen werden, einen Anteil an wiederverwendeter Energie (engl. Energy Reuse Factor, ERF) von mindestens 10 % aufweisen. Dieser Wert steigt stufenweise an; auf 15 % bei Rechenzentren, die ab dem 01.07.2027 den Betrieb aufnehmen, sowie auf 20 % bei Betriebsaufnahme ab dem 01.07.2028. Darüber hinaus sind betreibende Unternehmen dazu verpflichtet, entstehende Abwärme gemäß dem jeweiligen Stand der Technik zu vermeiden bzw. auf den Anteil der technisch unvermeidbaren Abwärme zu reduzieren, soweit dies möglich und zumutbar ist. Im Rahmen der Zumutbarkeit werden dabei technische, wirtschaftliche und betriebliche Belange miteinbezogen.

Aufgrund der voranschreitenden Energiewende mit der vermehrten Integration dargebotsabhängiger Erneuerbarer Energien und dem gleichzeitigen Rückbau regelbarer Kraftwerksleistung steigt der Bedarf dezentraler lastseitiger Flexibilitäten, um einen stabilen und versorgungssicheren Betrieb des Elektrizitätsversorgungssystems zu gewährleisten. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass, getrieben durch größere Volatilität der Strompreise sowie weitere bestehende und neue marktliche und regulatorische Mechanismen, neue (Geschäfts-)Modelle für dezentrale Speicherung und dezentrale Optimierung von Verbrauch entstehen werden. Damit werden perspektivisch neue Anwendungen der Sektorenkopplung (bspw. Power-to-Data, Data-to-Heat) im IKT-Sektor denkbar. Der IKT-Sektor bietet mit seiner dezentralen Infrastruktur Möglichkeiten zur nachhaltigen Energieerzeugung.

gung und Speicherung und kann darüber hinaus Systemdienstleistungen erbringen und damit zur Stabilisierung von Stromnetzen sowie zu Systemsicherheit beitragen.

Auf kommunaler Ebene ist, abseits der ersten kommunalen Veröffentlichung über bestehende Wärmenetze, eine bundesweite Darstellung aller Wärmenetze für die beschriebene Standortwahl wünschenswert. Der Entwurf des Gesetzes für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze, wurde am 17. November 2023 vom Bundestag angenommen<sup>1</sup> und soll in Ergänzung zum Gebäudeenergiegesetz ab dem 01.01.2024 in Kraft treten. Mit dem Ziel, die Versorgung mit Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme auf kommunaler Ebene bis 2045 treibhausgasneutral zu gestalten, soll öffentlichen und privaten Investitionen, die sich auf die Wärmeversorgung vor Ort auswirken, eine Planungssicherheit und eine Orientierung gegeben werden, in welchem Teil der jeweiligen Gemeinde welche Art der Wärmeversorgung eingesetzt werden soll.<sup>2</sup> In Kombination mit der Bekanntmachung, dass durch das Ministerium des Innern und Heimat ein neues Dateninstitut entstehen soll, das den Zugang zu Datenbanken verbessern soll, kann davon ausgegangen werden, dass in naher Zukunft auch Informationen zu Wärmenetzen zunehmend verfügbar gemacht werden und sich diese möglicherweise an ersten Plattformen wie dem Energieatlas NRW und Bayern bei der Veröffentlichung orientieren.<sup>34</sup>

## Ebenen/Layer der Potentialkarten

Für die Untersuchung und Bewertung der Potentiale für nachhaltige und resiliente kombinierte Energie- und IKT-Standorte werden räumlich aufgelöste Potentialkarten entwickelt, die beliebig überlagert werden können. Die Auswahl der Ebenen bzw. Layer der Potentialkarten erfolgt basierend auf einer initialen Analyse der rechtlichen und marktlichen Rahmenbedingungen für IKT-Standorte. Dabei sind für jede Ebene spezifische Einflussfaktoren mit quantifizierbaren Indikatoren zu definieren.

Für die initiale Potentialbewertung nachhaltiger und resilienter kombinierter Energie- und IKT-Standorte werden die folgenden drei Kartenebenen für einen definierten Szenariorahmen anhand geeigneter Indikatoren quantifiziert und in räumlicher Auflösung visualisiert:

- Potentiale für Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien
- Potentiale für Abwärmenutzung in Wärmenetzen
- Potentiale für Anschluss an das Elektrizitätsversorgungssystem und netzbezogene Flexibilitätsbedarfe

In diesem Zwischenbericht wird ein Ansatz zur Bestimmung des Potentials für die Abwärmenutzung in Wärmenetzen beschrieben. Die Kartenebenen zu den weiteren Potentialen werden in weiteren Abschlussberichten des Forschungsvorhabens folgen.

---

<sup>1</sup> Bundestag billigt Gesetz zur kommunale Wärmeplanung, Deutscher Bundestag, <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2023/kw41-de-waermeplanung-968842> (Zugriff am 27.11.2023)

<sup>2</sup> Ökozentrum NRW, Kommunale Wärmeplanung, <https://oekozentrum.nrw/aktuelles/detail/news/kommunale-waermeplanung/>, Veröffentlichungsdatum: 23.08.2023 (Zugriff am 27.11.2023)

<sup>3</sup> Energieatlas Bayern, Bayerische Staatsregierung/Bayerisches Landesamt für Umwelt, <https://www.karten.energieatlas.bayern.de/start/?c=677751,5422939&z=7&l=atkis,10a6776f-da70-4c61-93d7-9733570f781c&t=abwaerme>, Auswertung der Baufertigstellungsstatistik in 2023 (Zugriff am 27.11.2023)

<sup>4</sup> Energieatlas NRW, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, [https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarte\\_waerme](https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarte_waerme), Letzte Aktualisierung am 24.09.2021 (Zugriff am 27.11.2023)

### Allgemeines zur Kartendarstellung

Die Potentiale werden in Form räumlich aufgelöster Vektorkarten dargestellt. Vektorkarten bieten den Vorteil, dass verschiedene Kartenlayer übereinander gelagert werden können und die Detaildichte mit der Zoomstufe angepasst wird. Ein Layer beinhaltet neben den Geodaten jeweils weitere sogenannte Attribute, in denen die darzustellenden Informationen gespeichert sind. Die verschiedenen Kartenlayer sollten dabei zur Vergleichbarkeit, wenn möglich über dieselbe räumliche Auflösung verfügen. Für die vorliegenden Potentialkarten wurden die Postleitzahlengebiete als räumliche Auflösung gewählt.

## 2 Potentialkarten für Abwärmenutzung in Wärmenetzen

Im Sinne des überliegenden Forschungsvorhabens, die Central Offices (CO) energetisch neuzufassen, wird neben dem in Kapitel 2 beschriebenen zeitlich und regional aufgelöstem Potential für erneuerbare Energie im Sinne möglicher Eigenstromerzeugung der Telekom auch das Potential zur Energieeffizienzsteigerung untersucht. Neben Maßnahmen zur effizienteren Nutzung der bezogenen Energie wird auch die Rückkopplung von entstehender Abwärme durch IT-Komponenten für die Auswahl eines repräsentativen Standortes betrachtet. Der folgende Abschnitt beschreibt den Forschungsgegenstand, Verfügbarkeit und Nutzbarmachung von Datenquellen, Auflistung erster Zwischenergebnisse und offene Fragestellungen für weitere Diskussionen.

### 2.1 Gegenstand der Analyse

Damit ein Standort als Referenzmodell fungieren kann, werden solche Standortfaktoren betrachtet, die eine energetische Modernisierung begünstigen oder notwendig machen. Neben dem in Kapitel 1 bereits aufgezählten Potential für erneuerbar erzeugten Strom innerhalb der Regionen der Standorte als eine tragende Säule der energetischen Modernisierungsszenarien der CO, ist auch die Nutzung von emittierter Abwärme interessant für die Auswahl eines für das Forschungsziel relevanten CO-Standortes.

Der Einbezug des Abwärmepotentials als Kriterium für die Standortauswahl liegt darin begründet, dass die Rückkopplung und damit Wiederverwertung von emittierter Wärme aus den genutzten Anlagen die Energieeffizienz des jeweiligen Standortes steigert und folglich auf die abgezielte energetische Sanierung einspielt. Relevant für ein modernes, resilientes und energieeffizientes CO ist die Integration in das lokal vorliegende Energiesystem, um den zunehmenden Klima- und Umweltveränderungen entgegenwirken zu können und angesichts der steigenden Zahl regenerativer, aber volatiler Energieanlagen dennoch eine unterbrechungsfreie Energieversorgung und die damit einhergehende Flexibilität bei Energiebezug und –einspeisung aufzuweisen.

Entsprechend ist für den hier genutzten Auswahlprozess eines geeigneten Standortes die unmittelbare Distanz zum nächstmöglichen Einspeisepunkt als Kriterium relevant, denn hierdurch kann eruiert werden, inwieweit neben der Rückgewinnung von Abwärme auch ein Überangebot von nicht selbst genutzter Abwärme in ein lokales oder auch regionales Wärmenetz eingespeist und ggf. gewinnbringend veräußert werden kann. Inwiefern eine solche zusätzliche Wärmeeinspeisung auch ein eigenes Geschäftsfeld eröffnet, ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

### 2.2 Methodische Vorgehensweise

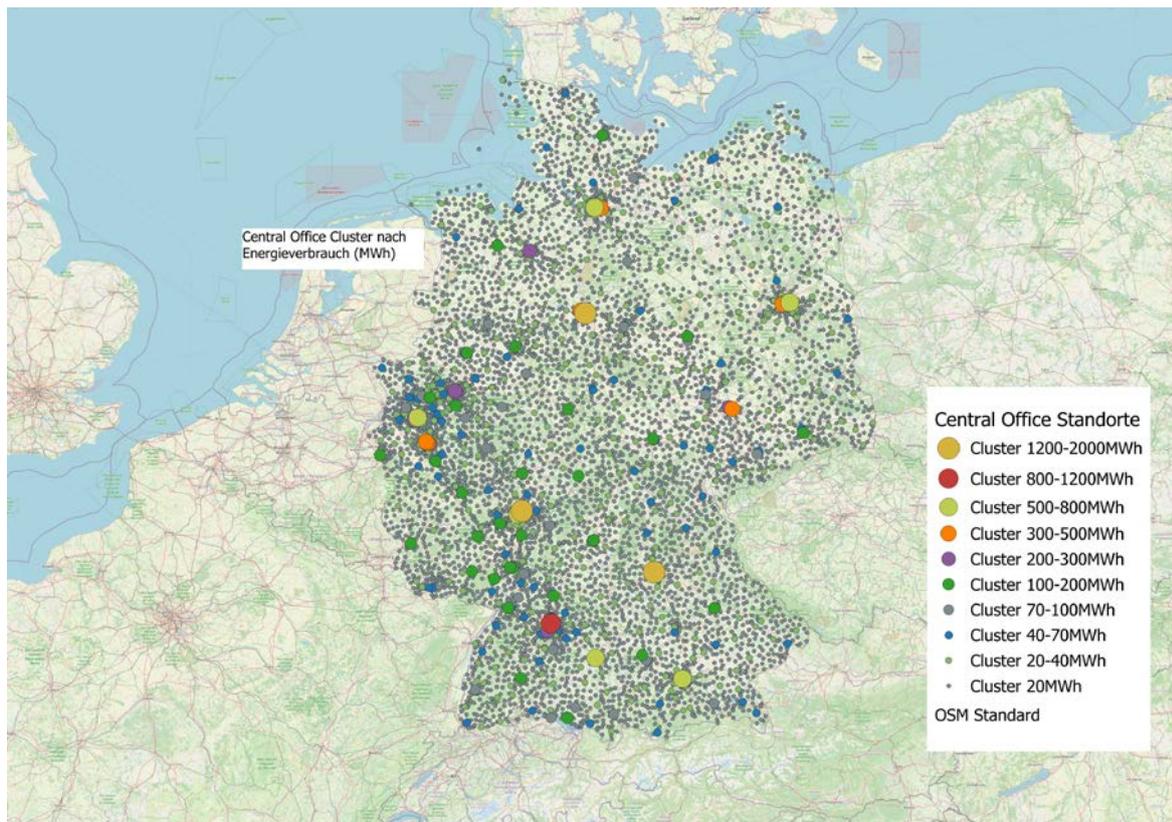
Wie im vorherigen Kapitel 1 beschrieben, wird für die Potentialkarten eine multikriterielle Analyse mittels einer Geoinformationssystem (GIS)-Anwendung durchgeführt. Um den nächstmöglichen Zugangspunkt zu einem Wärmenetz der einzelnen Standorte räumlich darzustellen, werden in einem ersten Schritt die CO-Standorte sowie das lokale und regionale Wärmenetz auf eine Karte projiziert. Für unser Forschungsvorhaben nutzen wir die Standard Open Street Map Karte mit dem Raumbezugssystem EPSG:3857.

Durch genaue Koordinaten der CO-Standorte und den linienförmig dargestellten Wärmenetzen, sollen die GIS-Anwendungen genaue Distanzen zwischen den Standorten und den geografisch nächstmöglichen Einspeisepunkt aufzeigen. Für die Auswahl eines geeigneten CO-Standortes, der für eine energetische Modernisierung evaluiert werden soll, ist demnach eine kurze Distanz vorteilig. Für die Auswahl wird allerdings keine Mindestdistanz festgelegt oder gar eine Distanz als Ausschlusskriterium festgelegt. Entsprechend werden die Kriterien nicht isoliert betrachtet, stattdessen werden die ausgewählten Standorte anhand des kompletten Kriterienkatalogs verglichen und bewertet.

## **2.3 Szenariorahmen und Daten**

Für die räumliche Standortanalyse wurde innerhalb des Forschungskonsortiums vorab entschieden, dass für dieses Forschungsvorhaben Standorte mit mehr als 100 kW Energiebedarf vorrangig zu betrachten sind. Diese Standorte wurden priorisiert, da hier unter anderem das Potential für Wärmehückgewinnung, Eigenerzeugungsquoten und die Möglichkeit unterschiedlicher Lösungsansätze höher ist als bei kleineren Standorten. Weiter vorteilhaft ggü. kleineren Standorten sind ihre größeren Kapazitäten, bessere infrastrukturelle Voraussetzungen und geringere räumliche Einschränkungen. Entsprechend wird seitens der Telekom eine Clusterung der Standorte vorgenommen, die in der Legende der Abbildung 1 zu sehen ist. Insgesamt werden 10 Clustergrößen festgelegt, die die bereits beschriebene Sachlage hinsichtlich unterschiedlicher Standortgrößen und entsprechendem Energieverbrauch auflistet. Insgesamt gehören ca. 6.600 der Standorte zum Access-Typ, ca. 900 CO zu Aggregations-Standorten und weitere 20 Betriebsstellen werden als Core Standorte angesehen. Eine tabellarische Auflistung im Anhang spiegelt diese Verteilung wider. Für das Forschungsvorhaben wird voraussichtlich einer der Core Standorte näher analysiert, um mögliche Lösungsansätze und erste Modellierungen im Sinne des Forschungsziels vorzunehmen.

Abbildung 1: Räumlich aufgelöste CO-Standorte ab 100 kW



Quelle: Borderstep Institut auf Basis von Telekomdaten (2023)

## Status quo

Die Verfügbarkeit von Geoinformationen und –dateien hinsichtlich Wärmenetzen ist für das Bundesgebiet weder für Fernwärme noch für Nahwärme in ausreichender Form vorhanden bzw. weitestgehend nicht öffentlich zugänglich. Regional gibt es erste Ansätze für eine Approximation für eine Lokal- und Regionalisierung der Wärmenetze, die unter anderem seitens Landesämtern und Energieagenturen aufgearbeitet werden. Allerdings gibt es bis dato keine Datenquellen, die Deutschlands Wärmenetze vollständig und zentral erfasst haben.<sup>5</sup> Entsprechend muss eine alternative Methode genutzt werden, um sich an den Untersuchungsgegenstand anzunähern.

Ausgehend von der Zielvorstellung, dass neben der Abwärmenutzung an den CO-Standorten überschüssige Wärme auch an Dritte mit entsprechendem Wärmebedarf weitergeleitet werden kann, wäre ein möglicher Ansatz für die Lokalisierung eines örtlichen Wärmenetzes die Feststellung eines entsprechenden lokalen (straßengenauen) Wärmebedarfs. Eine solche Untersuchung basierend auf diesem rückschlüssigen Ansatz kann im Anhang gefunden werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass die bloße Existenz von einem ausreichenden Wärmebedarf in unmittelbarer Nähe lediglich spekulative Vermutungen zulassen, dass lokal und regional Wärmenetze vorhanden sein könnten, die für eine Wärmeeinspeisung seitens der Central Offices

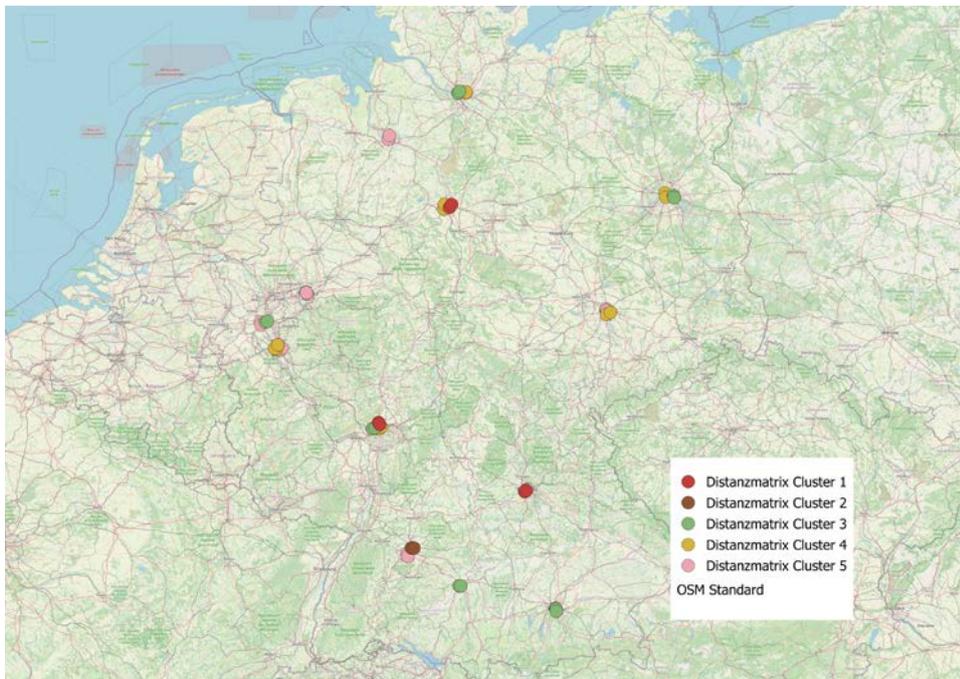
<sup>5</sup> Energieatlas Baden-Württemberg. (2015). Bestand der Wärmenetze in Baden-Württemberg [Website]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Energieatlas BW website: <https://www.energieatlas-bw.de/waermenetze/bestand>

genutzt werden könnten. Ein weiterer Ansatz bezieht sich auf das Versorgungsnetz von Heizkraftwerken: Die Überlegung hier ist, dass in der Nähe von Wärmeversorgern ein entsprechendes Netz vorhanden sein muss, um die produzierte Wärme an die Kundinnen und Kunden zu leiten. Ist somit ein Kraftwerk in unmittelbarer Nähe eines CO-Standortes, so kann die Annahme getroffen werden, dass ein lokales Wärmenetz vorliegt, das für die Einspeisung von nichtgenutzter Abwärme des jeweiligen Central Offices gebraucht werden kann.

Eine Übersicht von Heizkraftwerken wird über die Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur (BNetzA) veröffentlicht.<sup>6</sup> In dieser Liste wird allerdings nur angezeigt, ob das jeweilige Kraftwerk eine Wärmekopplung aufweist, ohne eine konkrete Leistungsangabe anzugeben. Um diese Information zu ergänzen, wurde zusätzlich die Übersicht des Umweltbundesamtes genutzt.<sup>7</sup>

Über die jeweiligen Adressangaben können die Wärmekraftwerke in ein Geoinformationssystem als Punktvektoren überführt werden. Eine Distanzberechnung zwischen diesen Punkten und den CO-Standorten (hier wurden nur die Core Standorte betrachtet) führte zur Übersicht in Abbildung 2.

**Abbildung 2: Ergebnisse Distanzberechnung zwischen CO-Standorten und Kraftwerken**



Quelle: Borderstep Institut auf Basis von Daten der Telekom, Bundesnetzagentur & Umweltbundesamt (2023)

Durch das integrierte Distanzanalysewerkzeug des Geoinformationssystems, werden lediglich die Wärmekraftwerke angezeigt, die den geringsten Abstand zu den jeweiligen Central Offices aufwei-

<sup>6</sup> Bundesnetzagentur. (2023c, November 28). Kraftwerksliste [Datenportal]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Kraftwerksliste website: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html>

<sup>7</sup> Umweltbundesamt. (2023, August 15). Datenbank „Kraftwerke in Deutschland“ [Datenbank]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Datenbank „Kraftwerke in Deutschland“ website: <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenbank-kraftwerke-in-deutschland>

sen. Die folgende Liste zeigt einen Ausschnitt aus der Distanzberechnung, die volle Übersicht liegt im Anhang vor.

**Tabelle 1: Übersicht Distanzen zwischen CO-Standorten und nächstgelegenen Kraftwerken**

Clusterleistung	Kraftwerk	Central Office	Abstand in m
200-300 MWh	Jäckering Mühlen- und Nahrungsmittelwerke GmbH	Dortmund (Saarlandstr.)	690
500-800 MWh	Fernwärme Ulm GmbH	Ulm (Olgastr.)	1583
300-500 MWh	Müllverwertung Borsig-strasse GmbH	Hamburg (Bauerbergweg)	1180
1200-2000 MWh	N-ERGIE Kraftwerke GmbH	Nürnberg (Hansastr.)	1910

Quelle: Borderstep Institut auf Basis der Kraftwerkslisten der Bundesnetzagentur & Umweltbundesamt (2023)

Aus der Distanzbetrachtung wird ersichtlich, dass keiner der Standorte mehr als 6 km von einem Kraftwerk, das eine Wärmekopplung vorweist, entfernt ist. Laut Aussagen von Energieversorgern, Verbänden und Komponentenanbietern können Wärmeleitungen von wenigen Metern bis hin zu mehreren Kilometern reichen.<sup>8</sup> Nach diesem Maßstab zu urteilen, kann somit ein Zugang zu einem Wärmenetz für die Core-Standorte durchgehend gegeben sein. Inwieweit ein straßengenaue Zugang vorhanden ist, wird durch einen bilateralen Austausch mit den lokalen Versorgern und Netzbetreibern in Erfahrung gebracht werden (siehe hierzu den Hinweis unter 2.4).

### Prognose

Um nähere Informationen zu den lokalen Wärmenetzen zu bekommen, gibt es auf kommunaler Ebene teilweise bereits Veröffentlichungen mittels bspw. Geoportalen über Approximationen zur Verortung lokaler Wärmenetze.<sup>9</sup> Aufgrund der steigenden Bemühungen zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung (auch als Wärmewende betitelt) wird sich die öffentlich zugängliche Datenbasis zunehmend verbessern. Straßengenaue Informationen werden womöglich weiterhin von den Betreibern einbehalten und müssten auf bilateralem Weg eingeholt werden.

## 2.4 Ergebnisse und Diskussion

Um den genauen Einspeisepunkt für das lokale Wärmenetz herauszufinden, reicht die Annäherung mittels der Wärmebedarfe nicht aus. Einzig der Bedarf an Raumwärme und Warmwasser kann nicht die Existenz eines lokalen Wärmenetzes bestätigen. Laut dem Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK bestehen bundesweit aktuell 3.800 Fernwärmenetze, wobei mit 4.390 km und 4.139 km die Bundesländer NRW und Baden-Württemberg respektive die meisten Netze aufweisen. Aller-

<sup>8</sup> Vaillant. (2018). Wie funktioniert Fernwärme? Kosten, Vor- und Nachteile [Website]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Vaillant.de website: <http://www.vaillant.de/heizung/heizung-verstehen/tipps-rund-um-ihre-heizung/fernwaerme/>

<sup>9</sup> Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe. (2023, September 20). Energieatlas Berlin [Interaktive Karte]. Abgerufen 18. Januar 2024, von Energieatlas Berlin website: <https://energieatlas.berlin.de/>

dings bestätigt der Verband, dass die Netze sich anhand der Größe unterscheiden und auch unterschiedliche Wärmequellen nutzen.<sup>10</sup> Entsprechend wird das alleinige Vorhandensein von gemessenem Wärmebedarf nicht bestätigen können, inwieweit die einzelnen Gebäude an ein Wärmenetz angebunden sind oder ein alternatives Wärmesystem nutzen (Einzelsystem, Sammelsystem etc.). Entsprechend werden aktuell alternative Ansätze für eine Lokalisierung der Wärmenetze an den Standorten der Central Offices ausprobiert. Ein erster Schritt beinhaltet die Visualisierung der Standorte aus unterschiedlichen Kraftwerkslisten wie bspw. der Bundesnetzagentur<sup>11</sup> oder des Umweltbundesamtes.<sup>12</sup> Von den genauen Standorten der Kraftwerke, die eine Wärmeversorgung anbieten, kann man grundsätzlich davon ausgehen, dass in der unmittelbaren Nähe ein Netz vorliegen wird. Entsprechend wird in einem weiteren Schritt verglichen, welche Kraftwerke in der Nähe der CO-Standorte vorliegen. Um diese Annahme zu bestätigen, wird ein Workshop mit Energieversorgungsunternehmen als auch lokalen Netzbetreibern durchgeführt. Zusammen mit dem Konsortium, dem Expertenwissen der Energieversorger sowie Start-ups, die sich mit der Digitalisierung der Wärmeplanung auseinandersetzen, soll ein Ansatz entwickelt werden, der den Standort lokaler Wärmenetze mit erhöhter Wahrscheinlichkeit nachvollzieh- und verifizierbar lokalisiert.

---

<sup>10</sup> AGFW e.V. (2021). Überblick—Fakten und Antworten zu Fernwärme [Websiteeintrag]. Abgerufen 18. Januar 2024, von Agfw.de website: <https://www.agfw.de/energiewirtschaft-recht-politik/energiewende-politik/ueberblick-fakten-und-antworten-zu-fernwaerme>

<sup>11</sup> Bundesnetzagentur. (2023c, November 28). Kraftwerksliste [Datenportal]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Kraftwerksliste website: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html>

<sup>12</sup> Umweltbundesamt. (2023, August 15). Datenbank „Kraftwerke in Deutschland“ [Datenbank]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Datenbank „Kraftwerke in Deutschland“ website: <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenbank-kraftwerke-in-deutschland>

### 3 Potentialkarten für den Anschluss an das Elektrizitätsversorgungssystem und netzbezogene Flexibilitätsbedarfe

Der folgende Abschnitt beschreibt das Vorgehen, das Potential der einzelnen CO-Standorte als Teil eines dynamischen Stromversorgungssystems zu fungieren, den Überschuss des Eigenstroms an Dritte zu veräußern und weiterzuleiten (bspw. über Direktabnahmeverträge/PPAs etc.) oder ggf. im Sinne eines Netz- und Systementlastungsmechanismus überproduzierten Strom aufzunehmen, zu speichern und zu Zeiten erhöhter Stromnachfrage wieder in das Stromsystem einzuspeisen. Die systementlastende Integration der CO in das Energienetz kann in diesem Zusammenhang auch als Flexibilisierungsoption für das allgemeine Stromnetz verstanden werden.

#### 3.1 Gegenstand der Analyse

Um das Potential für einen Anschluss eines CO 2030 Standortes und die damit einhergehende mögliche netzunterstützende Umgestaltung des Standortes als Flexibilisierungsoption abzuschätzen, wird hier parallel zu Kapitel 2.1 die jeweilige Distanz des Standortes zum nächstmöglichen Stromnetzeinspeisepunkt untersucht. Auch hier gibt es erneut keine minimale Distanz, die als Ausschlusskriterium fungiert. Stattdessen wird auch hier die Auswertung der einzelnen Standorte im Ganzen betrachtet, anstatt die Distanz als Kriterium isoliert zu analysieren.

Für die Standortbetrachtung ist zudem auch die Gewährleistung über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung von Interesse, da es sich bei den Betriebsstellen und damit dem Telekommunikationsnetz um kritische Infrastruktur handelt. Dementsprechend wird, wie bereits im Bericht "Standortbeschreibung" dargelegt, für CO-Standorte ab einer gewissen Versorgungsdichte eine Netzersatzanlage sowie eine unterbrechungsfreie Stromversorgung eingesetzt.<sup>13</sup> Durch die klimapolitischen Ziele der Bundesregierung sowie der damit verbundenen ansteigenden Anzahl an erneuerbaren Energieanlagen<sup>14</sup> (siehe hierzu auch Kapitel 1) wird zudem die Modernisierung und Erweiterung der bestehenden Stromnetze notwendig, um den primär im Norden produzierten regenerativen Strom mittels Hochspannungstrassen in den Süden der Bundesrepublik zu transportieren, wo dieser Strom verbraucht werden kann und die Abregelung aufgrund von Netzengpässen im Norden reduziert. Aktuell steigen die Maßnahmen zum Netzengpassmanagement durch die Bilanzkreisverantwortlichen und der Bundesnetzagentur<sup>15</sup>, was für die Standortauswahl zu berücksichtigen ist. Hierfür soll die Entwicklung sogenannter Engpassregionen als Orientierung genutzt werden, um die Notwendigkeit einer erhöhten Eigenstromproduktionsquote der CO frühzeitig abschätzen zu können.

---

<sup>13</sup> Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). (2022, Mai 29). Stromausfall [Glossar]. Abgerufen 18. Januar 2024, von BBK.bund.de website: [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/KRITIS-Gefahrenlagen/Stromausfall/stromausfall\\_node.html](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/KRITIS-Gefahrenlagen/Stromausfall/stromausfall_node.html)

<sup>14</sup> UBA. (2022, Dezember 15). Erneuerbare Energien in Zahlen [Text]. Abgerufen 22. Februar 2023, von Umweltbundesamt website: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen>

<sup>15</sup> Bundesnetzagentur. (2023a, Februar). Netzengpassmanagement [Glossar]. Abgerufen 18. Januar 2024, von Bundesnetzagentur.de website: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Netzengpassmanagement/start.html>

## 3.2 Methodische Vorgehensweise

Wie im Kapitel 2.2 beschrieben, wird die Distanz zwischen CO-Standorten und dem nächstgelegenen Einspeisepunkt mithilfe der GIS-Anwendung visualisiert. Dabei werden erneut die Standorte auf eine Karte projiziert (Standard Open Street Map Karte mit dem Raumbezugssystem EPSG:3857). Die verschiedenen Stromnetzebenen werden als Linien auf den Karten illustriert, damit in einem letzten Schritt durch das Programm die Distanzen zum nächstliegenden Punkt des naheliegenden Stromnetzes ebenfalls als geradliniges Polygon aufgezeigt wird. Hierbei sei anzumerken, dass der mathematisch errechnete nächste Punkt nicht gleichzusetzen ist mit dem tatsächlichen Einspeisepunkt. Entsprechend werden die Distanzen hierbei in Relation betrachtet, statt die quantifizierten Längen als absolute Angaben zu verstehen und zu vergleichen.

Letztlich wird betrachtet, ob sich die jeweiligen Standorte in einer Engpassregion befinden und somit die Wahrscheinlichkeit steigt, in den Bau- oder Ausbau eigener Energieerzeugungsanlagen investieren zu müssen.

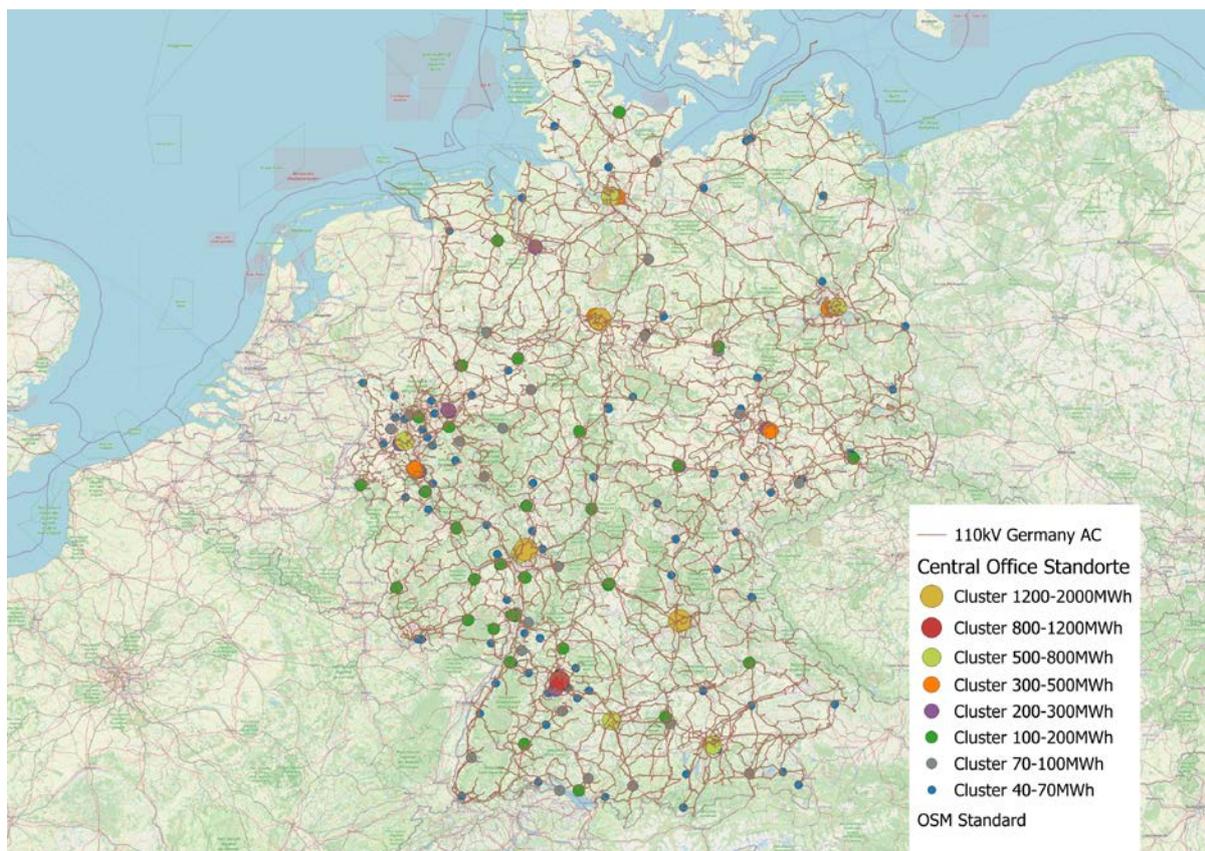
## 3.3 Szenariorahmen und Daten

Wie im Bericht "Standortbeschreibung" dargestellt, sind die CO mehrheitlich am Niederspannungsnetz angebunden und in seltenen Fällen auch am Hochspannungsnetz. Eine Darstellung aller Spannungsebenen ist schwierig, weil auch hier die Datenlage nicht ausreichend Informationen insbesondere für GIS-Anwendungen liefert. Das Fraunhofer ISE hat im Zuge eines Forschungsprojektes Informationen aus OpenStreetMap herausgefiltert, die auf "Crowdsourcing" basieren.<sup>16</sup> Hierdurch können die Höchstspannungsebenen von 350 kV, 200-350 kV, 110-199 kV lokalisiert werden.

---

<sup>16</sup> Fraunhofer ISE. (2023, Oktober 20). Energy-Charts [Interaktive Karte]. Abgerufen 18. Januar 2024, von Energy-Charts website: <https://energy-charts.info/map/map.htm?l=de&c=DE&country=DE&zoom=7&lat=48.797&lng=11.726&pp-source=bnetza&pp-bitmap=none&lines=1111000>

Abbildung 3: Central Offices und 110 kV Spannungsebene



Quelle: Borderstep Institut auf Basis der Daten von Telekom und OpenStreetMap (2023)

### Status quo

In Abbildung 3 sieht man den Großteil der CO, abzüglich der kleinsten Access-Standorte aus Gründen der Übersichtlichkeit und dem in Kapitel 2.3 erklärten Fokus auf größere Core-Offices. Zudem wurde das Hochspannungsnetz mit 110 kV als zusätzliche Ebene auf die Karte gelegt. Es wird deutlich, dass insbesondere die größten Cluster mit mehreren MWh Energieverbrauch an sehr gut vernetzten Knotenpunkten verortet sind. Wie bereits im Kapitel 2 erwähnt, werden für die Distanzanalyse größere CO-Standorte aufgrund von mehr Lösungsansätzen für energetische Modernisierungsmaßnahmen bedingt durch die größere physische Größe der Standorte sowie der höheren Dringlichkeit aufgrund eines höheren Energieverbrauchs einbezogen. Entsprechend werden für die Flexibilisierungspotentialabschätzung zunächst nur die Core-Standorte analysiert.

Aufgrund der mangelnden Informationslage für lokale Verteilernetze, wird für eine erste Orientierung das 110 kV Netz als Zielpunkt für die Distanzanalyse genutzt. Die Bundesnetzagentur hat zudem eine Karte veröffentlicht, die anhand einer Umfrage mit Marktexperten Engpassregionen darstellt, die für dieses Forschungsvorhaben manuell übertragen worden sind (diese basieren u.a. auf lokalen durchschnittlichen Jahresresiduallasten, die von den örtlichen Betreibern gemessen werden).<sup>17</sup> Um

<sup>17</sup> Bundesnetzagentur. (2023b, Juli). Netzentwicklung / Intelligente Systeme—Zustand und Ausbau der Verteilernetze Elektrizität [Website-eintrag]. Abgerufen 18. Januar 2024, von Bundesnetzagentur.de website: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/NetzentwicklungSmartGrid/Zustand\\_VN/artikel.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/NetzentwicklungSmartGrid/Zustand_VN/artikel.html)

genauere Angaben über lokale Verteilernetze samt entsprechender Einspeisepunkte und möglicher Engpässe für die Zieljahre 2030 -2045 zu erhalten, wird erwägt, auf einem geplanten Expertenworkshop konkrete Angaben von Netzbetreibern für die GIS-Anwendung zu erfragen, um die Analyse noch weiter zu strukturieren und zu konkretisieren. Im ersten Schritt basiert die Distanz auf den öffentlich zugänglichen Daten über das 110 kV Hochspannungsnetz sowie den vom Konsortialpartner Telekom übermittelten Standortkoordinaten der CO.

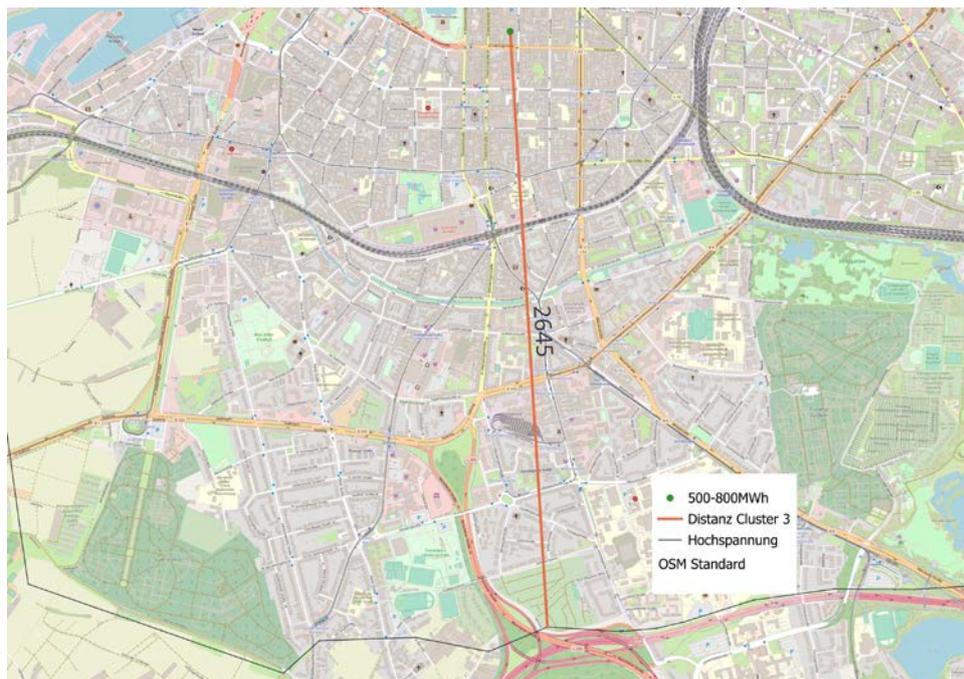
### Prognose

Auf Grundlage erster Anfragen ist es grundsätzlich möglich, für Forschungsvorhaben konkrete Informationen zu lokalen Stromverteilernetzen seitens der Betreiber zu erhalten. Zusätzlich steht das Konsortialteam im engen Austausch mit Übertragungsnetzbetreibern sowie Stadtwerken und Energieversorgern. Der bereits erwähnte Expertenworkshop soll den Zugang zusätzlich vereinfachen und den aktiven Austausch mit diesen Stakeholdern intensivieren, sodass für mindestens die größeren CO Informationen zum Verteilernetz eingeholt werden können.

### 3.4 Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 4 sieht man anhand des Core-Standortes in Düsseldorf beispielhaft die errechnete “Luftlinie” zum 110 kV Hochspannungsnetz. Hierzu erneut der Hinweis, dass die Distanz nicht zwischen dem realen Einspeisepunkt und dem entsprechenden Ausgang am Standort liegt, sondern lediglich zum nächstgelegenen Punkt des eingetragenen Netzes dargestellt wird. Wie durch die Beschriftung ersichtlich, beträgt die Distanz zwischen diesen beiden Koordinaten 2.645 m bzw. 2,65 km.

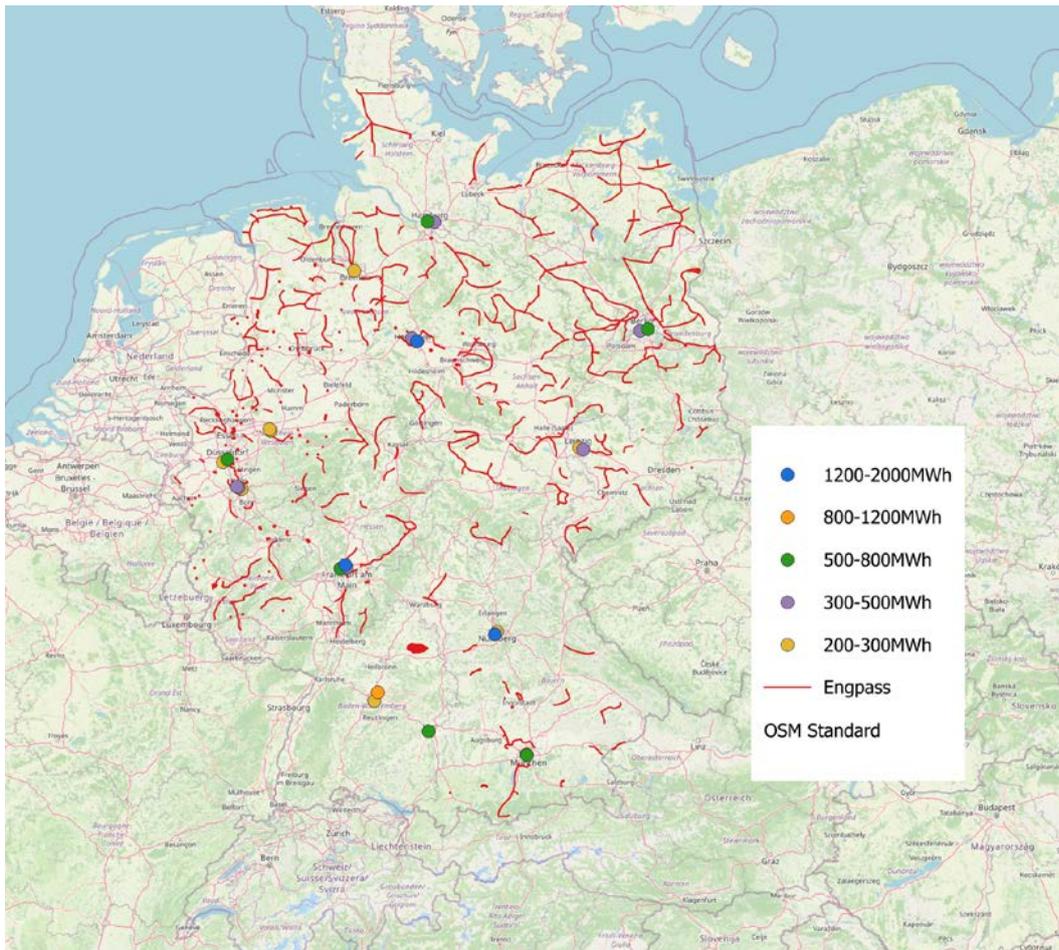
Abbildung 4: Distanzbeispiel am CO-Standort Düsseldorf



Quelle: Borderstep Institut auf Basis von Daten der Telekom & OpenStreetMap (2023)

Wie beschrieben, wurden zudem die Engpassregionen manuell aus den Umfrageergebnissen eines Zustandsberichtes über Verteilnetze der Bundesnetzagentur in eine Karte überführt. In Kombination mit den Standorten, kann man in der Abbildung 5 bereits sehen, dass sich einige Standorte in potentiellen Engpassregionen befinden. Auch hier wurde eine Distanzberechnung verwendet, um genauere Angaben zu erhalten.

Abbildung 5: Core-Standorte und Engpassregionen



Quelle: Borderstep Institut auf Basis von Daten der Telekom und Bundesnetzagentur (2022 & 2023)

Unten aufgeführt sind die CO 2030 Standorte, die in beiden Distanzkriterien gute Werte vorweisen. Das schrittweise Vorgehen samt Zwischenergebnissen kann im Anhang eingesehen werden:

Tabelle 2: Vergleich der Distanzanalyseergebnisse:

Cluster	Ort	Distanz zum Hochspannungsnetz (in m)	Distanz zur nächsten Engpassregion (in m)
200-300 [5]	Stuttgart	81427	137
200-300 [5]	Bremen	6783	166
300-500 [4]	Hamburg	16467	354
500-800 [3]	München	10705	364
500-800 [3]	Berlin	10988	511
300-500 [4]	Berlin	14657	647

Quelle: Borderstep Institut auf Basis von Daten der Telekom, Bundesnetzagentur & OpenStreetMap (2022 & 2023)

## Meilensteinbericht MS 1

Aus dieser Analyse ableitend, könnten die Standorte Stuttgart, Bremen sowie Hamburg näher für weiterführende Untersuchungen herangezogen werden. Wie in vorigen Kapiteln erwähnt, sind allerdings diese Kriterien nicht isoliert zu betrachten, sondern müssen zusammen mit den aufgeführten Kriterien aus den Kapiteln 1-3 für die Standortauswahl zusammen analysiert werden.

## **4 Fazit**

### **4.1 Initiale Potentialbewertung für kombinierte Energie- und IKT-Standorte**

Im Rahmen des übergeordneten Ziels des Forschungsvorhabens, die Central Offices mit einer nachhaltigen und resilienten Energieversorgung der Standorte und der Infrastruktur energetisch neuzufassen, wurden räumlich hochaufgelöste Potentiale für die Abwärmenutzung in Wärmenetzen sowie die Anbindung an das Elektrizitätsversorgungssystem untersucht.

Bei wachsendem Datenverkehr, höherer Leistungsdichte und zunehmendem Stromverbrauch, wird eine vollständige Versorgung der Standorte und der Infrastruktur mit klimaneutraler, regenerativer Energie angestrebt. Dies ergibt sich aus unternehmenspolitischen und rechtlichen Anforderungen.

Weiterhin gerät die bestehende Praxis der Ökostromversorgung über Zertifikate zunehmend in die Kritik und es bedarf eines Bezugs von Strom aus Erneuerbaren Energien aus eindeutigen Quellen sowie mit einem Herkunftsnachweis.

Um regionale und lokale Potentiale für eine Stromversorgung der CO 2030 Standorte basierend auf regenerativen Energien zu identifizieren, werden räumlich hochaufgelöste Potentialkarten für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien erstellt. Dabei werden Potentiale für Erzeugungsanlagen von Photovoltaik (PV), onshore Windenergie und offshore Windenergie untersucht.

Vor dem Hintergrund der sehr großen Unsicherheiten hinsichtlich möglicher Entwicklungspfade für die installierten Kapazitäten von PV- sowie onshore und offshore Windkraftanlagen ist die Ausarbeitung eines konsistenten Szenariorahmens, welcher die gesamte Bandbreite wahrscheinlicher zukünftiger Entwicklungen abbildet, entscheidend.

Hierauf basierend ist im Rahmen des Forschungsvorhabens CO 2030 die Berechnung von Sensitivitäten sowie die Definition eines oberen und eines unteren Szenarios als Schranken für die wahrscheinliche zukünftige Entwicklung des Energiesystems geplant. Insoweit erfolgt eine laufende Aktualisierung der für die Analysen angenommenen Entwicklung der energiesystemischen Rahmenbedingungen.

Die Potentialuntersuchung hinsichtlich Abwärmenutzung und Stromflexibilisierung zeigt auf, dass die aktuelle Datenlage zu lokalen Wärme- und Stromnetzen isoliert nicht ausreicht, um für die Standortauswahl genutzt zu werden. Die Ergebnisse aus den Distanzanalysen zeigen zwar bei der Abwärmenutzung, dass in der Theorie ausreichend Netze vorhanden sein könnten, jedoch ist für Strom- als auch für Wärmenetze unklar, wo sich Einspeisepunkte für die CO befinden. Um einen Mehrwert für die energetische Neuausrichtung der CO zu schaffen, müssen Informationen zu den Netzen auf einer straßengenauen Ebene vorliegen, die erst voraussichtlich über die regionalen- und lokalen Betreiber einholbar sind.

### **4.2 Ausblick**

Aufgrund der mangelnden relevanten GIS-Daten auf lokaler Ebene, wird ein angepasster Kriterienkatalog für die Standortauswahl vorgesehen, um die Recherche und Analyse für die energetische und klimabedingte Potential- und Gefährdungsuntersuchung standortspezifisch vornehmen zu können.

## QUELLEN

- AGFW e.V. (2021). Überblick—Fakten und Antworten zu Fernwärme [Websiteeintrag]. Abgerufen 18. Januar 2024, von Agfw.de website: <https://www.agfw.de/energiewirtschaft-recht-politik/energiewende-politik/ueberblick-fakten-und-antworten-zu-fernwaerme>
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). (2022, Mai 29). Stromausfall [Glossar]. Abgerufen 18. Januar 2024, von BBK.bund.de website: [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/KRITIS-Gefahrenlagen/Stromausfall/stromausfall\\_node.html](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/KRITIS-Gefahrenlagen/Stromausfall/stromausfall_node.html)
- Bundesnetzagentur. (2023a, Februar). Netzengpassmanagement [Glossar]. Abgerufen 18. Januar 2024, von Bundesnetzagentur.de website: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Netzengpassmanagement/start.html>
- Bundesnetzagentur. (2023b, Juli). Netzentwicklung / Intelligente Systeme—Zustand und Ausbau der Verteilernetze Elektrizität [Websiteeintrag]. Abgerufen 18. Januar 2024, von Bundesnetzagentur.de website: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/NetzentwicklungSmartGrid/Zustand\\_VN/artikel.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/NetzentwicklungSmartGrid/Zustand_VN/artikel.html)
- Bundesnetzagentur. (2023c, November 28). Kraftwerksliste [Datenportal]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Kraftwerksliste website: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html>
- Energieatlas Baden-Württemberg. (2015). Bestand der Wärmenetze in Baden-Württemberg [Website]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Energieatlas BW website: <https://www.energieatlas-bw.de/waermenetze/bestand>
- Fraunhofer ISE. (2023, Oktober 20). Energy-Charts [Interaktive Karte]. Abgerufen 18. Januar 2024, von Energy-Charts website: <https://energy-charts.info/map/map.htm?l=de&c=DE&country=DE&zoom=7&lat=48.797&lng=11.726&pp-source=bnetza&pp-bitmap=none&lines=1111000>
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. (2020). Energieatlas NRW [Interaktive Karte]. Abgerufen 23. Januar 2024, von Energieatlas.nrw.de website: [https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarte\\_waerme](https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarte_waerme)
- Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen. (2022). Raumwärmebedarfsmodell NRW [Datenportal]. Abgerufen 23. Januar 2024, von Opendeodata.nrw.de website: [https://www.opendeodata.nrw.de/produkte/umwelt\\_klima/klima/raumwaermebedarfsmodell/](https://www.opendeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/klima/raumwaermebedarfsmodell/)
- Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe. (2023, September 20). Energieatlas Berlin [Interaktive Karte]. Abgerufen 18. Januar 2024, von Energieatlas Berlin website: <https://energieatlas.berlin.de/>
- UBA. (2022, Dezember 15). Erneuerbare Energien in Zahlen [Text]. Abgerufen 22. Februar 2023, von Umweltbundesamt website: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen>
- Umweltbundesamt. (2023, August 15). Datenbank „Kraftwerke in Deutschland“ [Datenbank]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Datenbank „Kraftwerke in Deutschland“ website: <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenbank-kraftwerke-in-deutschland>

## Meilensteinbericht MS 1

Vaillant. (2018). Wie funktioniert Fernwärme? Kosten, Vor- und Nachteile [Website]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Vaillant.de website: <http://www.vaillant.de/heizung/heizung-verstehen/tipps-rund-um-ihre-heizung/fernwaerme/>

## ANHANG

### Anhang 1: Potentialkarten für Abwärmenutzung in Wärmenetzen

#### Anhang 1.1: Tabellarische Übersicht CO-Standorte

Tabellarische Übersicht der einzelnen CO-Standorte samt einem exemplarischen monatlichen Energieverbrauch (gemessen in August 2022)

Tabelle 3: Vergleich der Distanzanalyseergebnisse

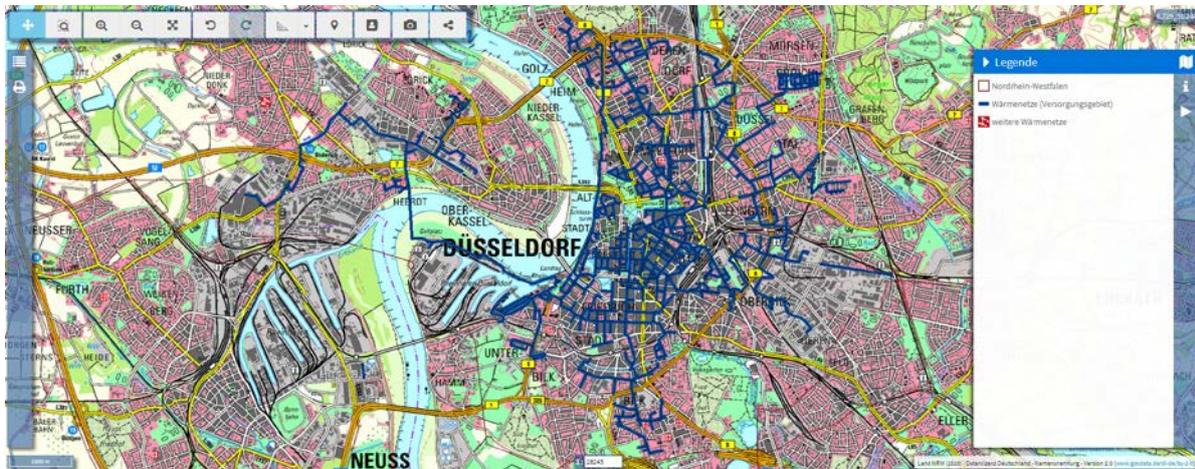
Clusternummer	Durchschnittlicher Energieverbrauch in August 2022 (MWh)	Summe Standorte	Standorttyp
1	>20	6.855	Access, teilweise Aggregation
2	20 - 40	473	Aggregation
3	40 - 70	125	Aggregation
4	70 - 100	34	Aggregation
5	100 - 200	38	Aggregation
6	200 - 300	9	Core
7	300 - 500	7	Core
8	500 - 800	6	Core
9	800 - 1200	1	Core
10	1200 - 2000	3	Core
11	Nicht verfügbar	59	Nicht verfügbar
Gesamt		7.610	

Quelle: Borderstep Institut auf Basis von Daten der Telekom & PASM (2022)

## Anhang 1.2: Potentielle Wärmenetzlokalisierung anhand örtlichem Wärmebedarf

Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt aus dem Wärmekataster des Energieatlas NRW, der vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen veröffentlicht wurde.<sup>18</sup> Auf der Abbildung ist beispielhaft ein Teil eines Fernwärmeversorgungsgebietes für die Stadt Düsseldorf dargestellt. Es ist anzunehmen, dass mit einer hohen Wahrscheinlichkeit das Wärmenetz hier nur unvollständig dargestellt ist. Parallel dazu ist die Darstellung solcher Versorgungsgebiete im restlichen Bundesland ebenfalls nur punktuell aufgezeichnet, soll jedoch laufend seitens des Landesamtes upgedatet werden.

Abbildung 6: Lokales Wärmenetz in Düsseldorf



Quelle: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (2022)

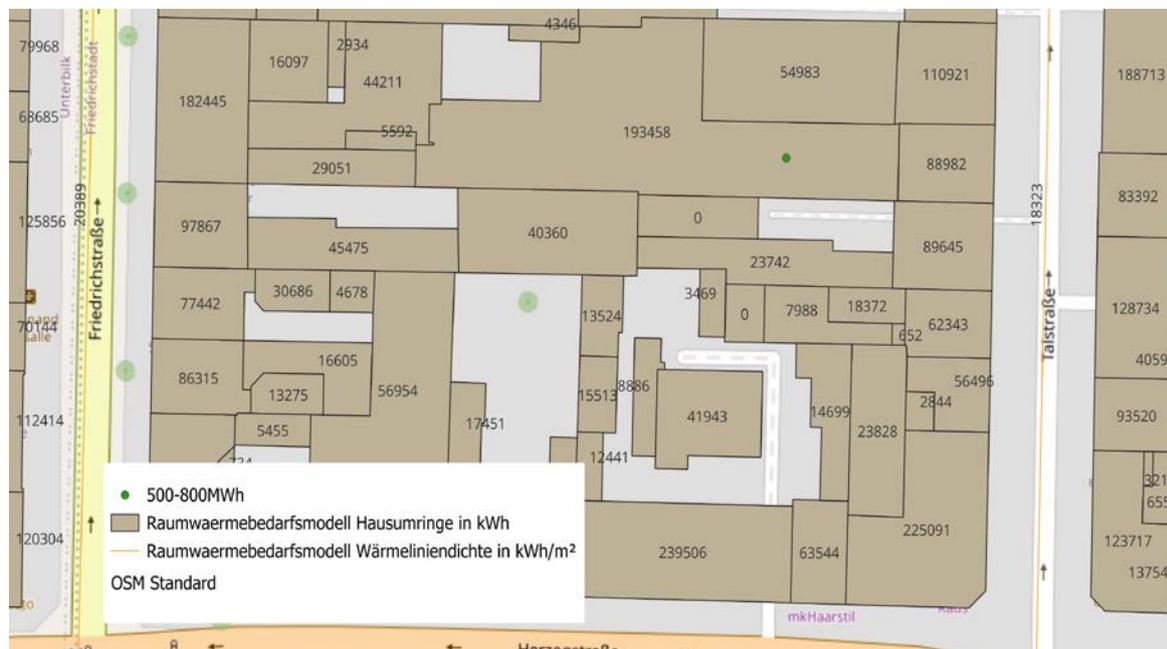
Erschwerend kommt hinzu, dass die hier veröffentlichten Geoinformationen seitens des Landesamtes nicht weitergegeben werden dürfen. Auf unsere Anfrage hin wurde verdeutlicht, dass hinter jedem Netzplan eine eigene Nutzungsvereinbarung mit den Betreibern liegt.

Für die alternative Annäherung, sprich der Suche nach potentiellen Abnehmern der überschüssigen Wärme in einem unmittelbaren Umkreis (ein konkreter Umfang in km ist nicht festgelegt, sollte aber nicht außerhalb der eigenen Stadt bzw. Gemeinschaftsgrenzen liegen), hat das Landesamt NRW einen akkumulierten Wärmebedarf von Wohn- und Gewerbegebäuden bezogen auf die Gesamtfläche des Gebäudes (in m<sup>2</sup>) errechnet und über den Bestand in NRW veröffentlicht. Diese Daten basieren auf einer eigenen Raumwärmebedarfsmodellierung, die Anhand der Gebäuderinge (Grundfläche im amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem des Landes NRW) und einem digitalen Höhenmodell (Level of Detail 1) den Wärmebedarf in Anlehnung an die EnEV 2009 mit dem entsprechenden Faktor für Wohngebäude bzw. den spezifischen Raumwärmebedarf nach Gebäudeklasse errechnet hat. Die letzte Aktualisierung dieses Modells und des Datensatzes wurde durch das Fraunhofer Insti-

<sup>18</sup> Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. (2020). Energieatlas NRW [Interaktive Karte]. Abgerufen 23. Januar 2024, von Energieatlas.nrw.de website: [https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarte\\_waerme](https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarte_waerme)

tut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) im Jahr 2020 vorgenommen.<sup>19</sup> Hieraus sind Wärmelinien entwickelt worden, die den Wärmebedarf straßengenau in NRW darstellen, sowie Schätzungen für den absoluten Jahreswärmebedarf pro Gebäude vorgenommen (in kWh/m<sup>2</sup> sowie kWh respektive).

**Abbildung 7: Räumwärmebedarfsmodellierung nach Hausumring in kWh und Wärmelinienichte in kWh/m<sup>2</sup>**



Quelle: Borderstep Institut auf Basis des Raumbedarfsmodells NRW des Landesbetriebs für Information und Technik NRW (2022)

Abbildung 7 zeigt erneut einen Ausschnitt aus Düsseldorf, der einen der CO-Standorte (grüner Punkt mittig rechts im Bild) samt näherem Umkreis aufzeigt. Zusätzlich kann man für die einzelnen Gebäude die geschätzten Jahreswärmebedarfe in kWh sehen. Wie für eine Stadt zu erwarten war, befinden sich mehrere potentielle Wärmeverbraucher in unmittelbarer Distanz zum Standort. Da sich die größeren Core-Standorte in dicht besiedelten Städten und Gemeinden befinden, kann man also bei den größeren CO-Standorten davon ausgehen, dass grundsätzlich ein lokaler Wärmebedarf besteht, der potentiell durch die emittierte Abwärme geheizt werden könnte. Um dieses Potential besser quantifizieren zu können, werden diese für die einzelnen Standortarten noch errechnet. Sobald diese Schätzungen finalisiert werden, können die Überschüsse der CO-Abwärme mit dem Bedarf der Gebäude im Umkreis abgeglichen werden.

<sup>19</sup> Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen. (2022). Raumwärmebedarfsmodell NRW [Datenportal]. Abgerufen 23. Januar 2024, von [Opengeodata.nrw.de](https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/klima/raumwaermebedarfsmodell/) website:

[https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt\\_klima/klima/raumwaermebedarfsmodell/](https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/klima/raumwaermebedarfsmodell/)

## Anhang 1.2: Vollständige Liste der Distanzberechnung zwischen CO-Standorten und Wärmeversorgern

Tabelle 4: Übersicht Distanzen zwischen CO-Standorten und nächstgelegenen Kraftwerken

Clusterleistung in MWh	Kraftwerk	Central Office	Abstand in m
200-300	Jäckering Mühlen- und Nahrungsmittelwerke GmbH	Dortmund (Saarlandstr.)	690
500-800	Fernwärme Ulm GmbH	Ulm (Olgastr.)	1583
300-500	Müllverwertung Borsigstrasse GmbH	Hamburg (Bauerbergweg)	1180
1200-2000	N-ERGIE Kraftwerke GmbH	Nürnberg (Hansastr.)	1910
200-300	N-ERGIE Kraftwerke GmbH	Nürnberg (Adlerstr.)	1911
200-300	Stadtwerke Leipzig GmbH	Leipzig (Querstr.)	1941
500-800	Vattenfall Wärme Berlin AG	Berlin (Dottistr.)	2459
500-800	Hamburger Stadtentwässerung	Hamburg (Budapester Str.)	2631
300-500	Mainova AG	Frankfurt am Main (Stiftstr.)	2636
1200-2000	MHKW Müllheizkraftwerk Frankfurt am Main GmbH	Frankfurt am Main (Raimundstraße)	2673
500-800	Stadtwerke Düsseldorf AG	Düsseldorf (Graf-Adolf-Platz)	2757
200-300	Jäckering Muehlen- und Nahrungsmittelwerke GmbH	Dortmund (Mallinckrodtstr.)	2681
800-1200	Heizkraftwerk Stuttgart-Muenster DT 19	Stuttgart (Maybachstr.)	2899
500-800	SWM Services GmbH	München (Blutenburgstr.)	3025
500-800	Infraserv GmbH & Co. Hoechst KG	Frankfurt am Main (Oeserstr.)	3093
200-300	Universität Stuttgart	Stuttgart (Schockenriedstr.)	3258
200-300	MM Neuss GmbH	Neuss (Hellersbergstr.)	3335
200-300	SWM Services GmbH	München (Schachenmeierstr.)	3637
3200-300	swb Entsorgung GmbH&Co. KG	Bremen (Neuenstr.)	4096
1200-2000	EEW Energy from Waste Hannover GmbH	Hannover (Neue Landstr.)	4218
200-300	RheinEnergie AG	Köln (Poll-Vingster Str.)	4468
300-500	Vattenfall Wärme Berlin AG	Berlin (Winterfeldtstr.)	5164
300-500	Stadtwerke Leipzig GmbH	Leipzig (Kärrnerstr)	5165
300-500	energcity AG	Hannover (Industrieweg)	5399
300-500	RheinEnergie AG	Köln (Venloerstr.)	5648
300-500	RheinEnergie AG	Köln (Sternengasse)	5839

Quelle: Borderstep Institut auf Basis der Kraftwerkslisten der Bundesnetzagentur und Umweltbundesamtes (2023)

## Anhang 2: Potentialkarten für Anschluss an das Elektrizitätsversorgungssystem und netzbezogene Flexibilitätsbedarfe

### Anhang 2.1: Distanzanalyse zwischen CO-2030 und 110 kV-Hochspannungsnetz sowie Engpassregionen

In Abbildung 8 sieht man anhand des Core-Standortes in Düsseldorf beispielhaft die errechnete "Luftlinie" zum 110 kV Hochspannungsnetz. Hierzu erneut der Hinweis, dass die Distanz nicht zwischen dem realen Einspeisepunkt und dem entsprechenden Ausgang am Standort liegt, sondern lediglich zum nächstgelegenen Punkt des eingetragenen Netzes dargestellt wird. Wie durch die Beschriftung ersichtlich, beträgt die Distanz zwischen diesen beiden Koordinaten 2.645 m bzw. 2,65 km.

Abbildung 8: Distanzbeispiel am CO-Standort Düsseldorf



Quelle: Borderstep Institut auf Basis der Daten der Telekom und OpenStreetMap (2023)

In der folgenden Tabelle werden die Ergebnisse, sortiert nach Standortgröße (gemessen in Energieverbrauch) und der Distanz dargestellt.

Tabelle 5: Ergebnisse Distanzanalyse der Core-Standorte zum 110kV-Netz

Cluster (in MWh) und Clusternummer [ ]	Ort	Distanz (in m)
1200-2000 [1]	Hannover	552
1200-2000 [1]	Nürnberg	847
1200-2000 [1]	Frankfurt am Main	5.803
800-1200 [2]	Stuttgart	936
500-800 [3]	Frankfurt am Main	56
500-800 [3]	München	364
500-800 [3]	Berlin	511

500-800 [3]	Hamburg	968
500-800 [3]	Ulm Donau	1.529
500-800 [3]	Düsseldorf	2.645
300-500 [4]	Hamburg	354
300-500 [4]	Berlin	647
300-500 [4]	Hannover	757
300-500 [4]	Köln	1.540
300-500 [4]	Köln	2.506
300-500 [4]	Leipzig	4.526
300-500 [4]	Frankfurt am Main	5.171
200-300 [5]	München	25
200-300 [5]	Stuttgart	137
200-300 [5]	Köln	145
200-300 [5]	Bremen	166
200-300 [5]	Nürnberg	317
200-300 [5]	Neuss	506
200-300 [5]	Leipzig	853
200-300 [5]	Dortmund	1.081
200-300 [5]	Dortmund	1.513

Quelle: Borderstep Institut auf Basis der Daten der Telekom, Bundesnetzagentur und Umweltbundesamt (2023)

Mit 25 m hat der Core Standort in München (Cluster 5) die geringste Distanz zum Hochspannungsnetz, gefolgt von Frankfurt am Main (Cluster 3) mit 56 m und Stuttgart (Cluster 5) mit 137 m. Die folgenden Tabellen zeigen zusammengefasst die Standorte mit der geringsten Distanz im jeweiligen Cluster sowie die Standorte mit der geringsten Distanz, unabhängig von der Clustergruppe.

**Tabelle 6: Geringste Distanz zum Hochspannungsnetz je Cluster**

Cluster	Ort	Distanz in m
1	Hannover	552
2	Stuttgart	936
3	Frankfurt am Main	56
4	Hamburg	354
5	München	25

Quelle: Borderstep Institut auf Basis der Daten der Telekom, Bundesnetzagentur und Umweltbundesamt (2023)

Die aufsteigende Auflistung zeigt deutlich, dass mehrheitlich die Standorte des Clusters 5 (200-300 MWh) eine geringere Distanz zum Hochspannungsnetz aufweisen. Unter den ersten sechs Plätzen, befinden sich fünf Standorte aus dem Cluster 5. Wenn diese Analyseergebnisse als erstes Indiz genutzt werden, sollten für die weitere Betrachtung die höherplatzierten Standorte für die energetische Modernisierung vorgezogen werden.

Tabelle 7: Sortierte Distanzanalyseergebnisse

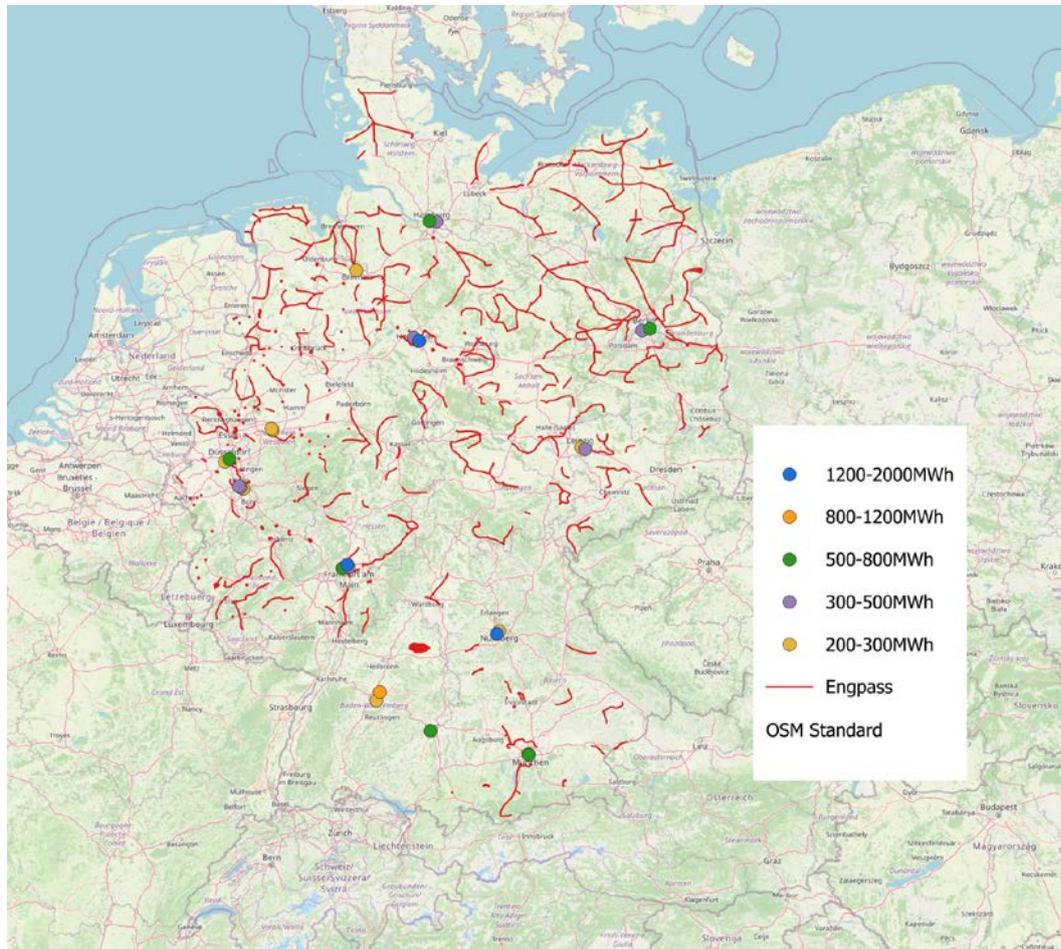
Cluster	Ort	Distanz in m
5	München	25
3	Frankfurt am Main	56
5	Stuttgart	137
5	Köln	145
5	Bremen	166
5	Nürnberg	317
4	Hamburg	354
3	München	364
5	Neuss	506
3	Berlin	511
1	Hannover	552
4	Berlin	647
4	Hannover	757
1	Nürnberg	847
5	Leipzig	853
2	Stuttgart	936
3	Hamburg	968
5	Dortmund	1081
5	Dortmund	1513
3	Ulm Donau	1529
4	Köln	1540
4	Köln	2506
3	Düsseldorf	2645
4	Leipzig	4526
4	Frankfurt am Main	5171
1	Frankfurt am Main	5803

Quelle: Borderstep Institut auf Basis der Daten der Telekom, Bundesnetzagentur und Umweltbundesamt (2023)

Wie beschrieben, wurden zudem die Engpassregionen manuell aus den Umfrageergebnissen eines Zustandsberichtes über Verteilnetze der Bundesnetzagentur in die Karte überführt. In Kombination mit den Standorten, kann man in der Abbildung 9 bereits sehen, dass einige dieser sich in potentiell-

len Engpassregionen befinden. Auch hier wurde eine Distanzberechnung verwendet, um genauere Angaben zu erhalten.

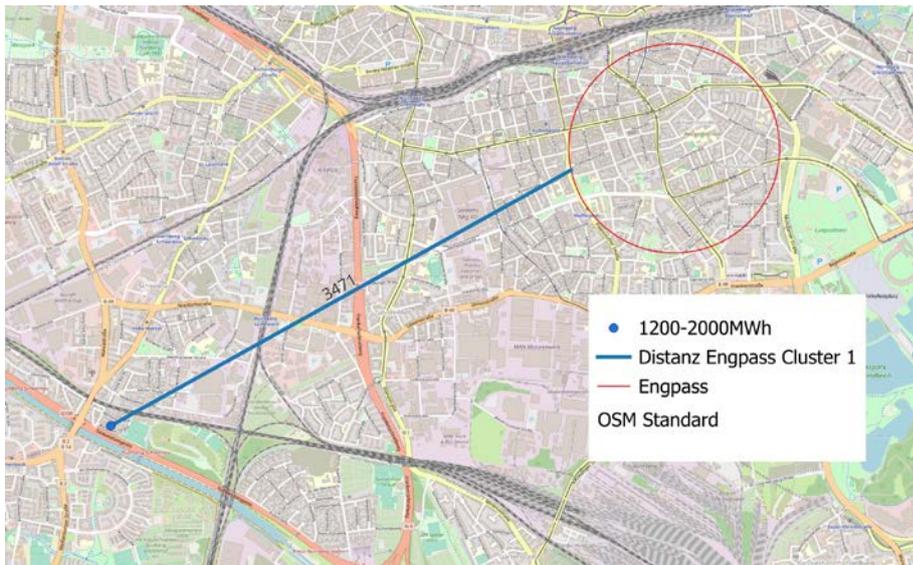
Abbildung 9: Core-Standorte und Engpassregionen



Quelle: Borderstep Institut auf Basis von Daten der Telekom und Bundesnetzagentur (2022 & 2023)

In der folgenden Abbildung 10 sieht man beispielhaft die von der GIS-Anwendung errechneten Distanz zwischen dem Standort in Nürnberg aus dem Cluster 1 und einer angegebenen Engpassregion. In Kontrast zur Distanzanalyse mit dem Hochspannungsnetz als Zielwert, ist hier eine größere Distanz zu einer Engpassregion vorteilhaft.

Abbildung 10: Beispiel einer Distanzanalyse vom Core-Standort zur Engpassregion



Quelle: Borderstep Institut auf Basis der Daten der Telekom und OpenStreetMap (2023)

Mit entsprechendem Vorgehen können folgende errechnete Distanzen zwischen den Core-Standorten und den Engpassregionen festgehalten werden, sortiert nach dem größten Abstand:

Tabelle 8: Ergebnisse Distanzanalyse absteigend sortiert

Cluster	Ort	Distanz zum Hochspannungsnetz (in m)	Distanz zur nächsten Engpassregion (in m)
200-300 [5]	Stuttgart	137	81427
500-800 [3]	Ulm Donau	1529	77040
800-1200 [2]	Stuttgart	936	61534
500-800 [3]	Hamburg	968	17248
300-500 [4]	Hamburg	354	16467
300-500 [4]	Berlin	647	14657
500-800 [3]	Berlin	511	10988

Meilensteinbericht MS 1

500- 800 [3]	München	364	10705
200- 300 [5]	Leipzig	853	6855
200- 300 [5]	Bremen	166	6783
200- 300 [5]	Neuss	506	5849
1200- 2000 [1]	Frankfurt am Main	5803	5776
200- 300 [5]	Dortmund	1081	5444
200- 300 [5]	Köln	145	5327
200- 300 [5]	Dortmund	1513	3802
1200- 2000 [1]	Nürnberg	847	3471
300- 500 [4]	Frankfurt am Main	5171	3238
300- 500 [4]	Köln	1540	2572
300- 500 [4]	Leipzig	4526	2327
300- 500 [4]	Köln	2506	1557
300- 500 [4]	Hannover	757	1192
200- 300 [5]	Nürnberg	317	771
1200- 2000 [1]	Hannover	552	207
500- 800 [3]	Düsseldorf	2645	18

Quelle: Borderstep Institut auf Basis von Daten der Telekom, Bundesnetzagentur & OpenStreetMap (2022 & 2023)

Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass die zwei Core-Standorte in Stuttgart, das Central Office in Ulm und beide Stellen in Hamburg die größte Entfernung zu Engpassregionen aufweisen. Dadurch kann implizit angenommen werden, dass die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls der Stromversorgung geringer ausfällt als an vergleichbaren Standorten der Core-Größe. Eine denkbare strategische Konsequenz hieraus ist die geringere Notwendigkeit, die Eigenstromproduktion bzw. die Energieautarkie an diesen Betriebsstellen aufzubauen, erhöhen oder verbessern zu müssen.