

Örtlich hochaufgelöste Potenzialanalyse nachhaltiger Heiztechnologien in einer Großstadt am Beispiel von Krefeld

Laura Schriefers*, Marius Madsen, Arne Graßmann, Frank Alsmeyer

SWK E² - Institut für Energietechnik und Energiemanagement, Hochschule Niederrhein, Reinarzstraße 49, 47805 Krefeld, +49 2151 822 4739, laura.schriefers@hs-niederrhein.de, www.hs-niederrhein.de/forschung/swk-e2

Kurzfassung: In diesem Beitrag steht der Aufbau eines Modells zur Untersuchung aktueller und zukünftiger Wärmeversorgungsstrukturen für den Gebäudesektor im Fokus. Durch eine detaillierte Analyse des Gebäudebestandes in Krefeld werden ökologische und ökonomische Faktoren berücksichtigt, um die Eignung des Gebäudes für verschiedene nachhaltige Wärmeerzeugungstechnologien zu bewerten. Das örtlich hochaufgelöste Modell ermöglicht eine gebäudescharfe Überprüfung und soll später zur Berechnung verschiedener künftiger Entwicklungsszenarien genutzt werden können. Das langfristige Ziel des Projekts ist die Gestaltung zukunftsfähiger Energieversorgungsnetze in Krefeld und damit ein Beitrag zur Erreichung der deutschen Klimaziele bis 2045.

Keywords: kommunale Wärmeplanung, Wärmewende, klimaneutrale Wärmeversorgung

1 Hintergrund und Zielsetzung

Am 17. November 2023 hat der Deutsche Bundestag ein Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung beschlossen, das am 1. Januar 2024 in Kraft getreten ist [1]. Diese legislative Maßnahme markiert einen weiteren Schritt in Richtung nachhaltiger Energieversorgung und Klimaschutz.

Die Umweltziele zur Einsparung von Energie und CO₂-Emissionen bis 2045 sind klar definiert, aber wie können sie erreicht werden? Die Herausforderung besteht darin, die aktuellen Zielsetzungen im Klimaschutz zu erfüllen und gleichzeitig die erforderlichen Energieinfrastrukturen unter Berücksichtigung sozialer und wirtschaftlicher Aspekte zu errichten bzw. auszubauen. In diesem Kontext ist eine detaillierte Auseinandersetzung mit den notwendigen Schritten erforderlich, um eine nachhaltige und umweltfreundliche Energiezukunft zu gestalten.

Die kommunale Wärmeplanung somit steht vor der Herausforderung, die technischen Aspekte einer sicheren Energieversorgung zu gewährleisten, während gleichzeitig die Frage der Finanzierbarkeit berücksichtigt werden muss. Dieser Artikel behandelt den Aufbau eines gebäudescharfen Modells zur Bewertung der Potenziale von Gebäuden für grüne Wärmetechnologien am Beispiel der Stadt Krefeld.

2 Datengrundlage

Die Herausforderungen im Bereich der kommunalen Wärmeplanung erfordern eine sorgfältige Analyse des Gebäudebestandes, um darauf aufbauend realistische und effektive Zukunftsszenarien zu entwickeln. Die Datengrundlage spielt dabei eine zentrale Rolle, da sie das Fundament für jede Prognose bildet.

Basierend auf einer umfassenden Datengrundlage wurden die bestehende Wärmeversorgungsstruktur und die Potenziale für unterschiedliche, zukunftsfähige Wärmeerzeugungstechnologien für die Stadt Krefeld untersucht. Dafür wurden sowohl frei verfügbare Daten als auch reale Verbrauchsdaten, die vom Netzbetreiber zur Verfügung gestellt wurden, verwendet. Die Informationen über Lage, Adresse, Gebäudegeometrie und deren Funktion sind den Katasterdaten der Stadt Krefeld [2] entnommen. Die Zuordnung der einzelnen Gebäude zu den Flurstücken und Stadtbezirken kann ebenfalls diesen Datensätzen entnommen werden. Zur Analyse der aktuellen Wärmebedarfe sind mehrere Datensätze verwendet worden, dazu zählen die Verbrauchsdaten des Netzbetreibers für Gas, Fernwärme und Strom [3] sowie das Raumwärmebedarfsmodell NRW [4]. Im Modell fehlen Daten über Heizöl, Biomasse sowie Heizungen, die aus Gastanks versorgt werden. Dies betrifft im vorliegenden Beispiel 14 % der Gebäude mit Wärmebedarf [5].

Des Weiteren sind Daten des Solarkatasters NRW [6], des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen [7], der Bezirksregierung Düsseldorf über festgesetzte und geplante Wasserschutzgebiete [8] und verschiedene Informationen des Zensus [9] mit in das Modell eingeflossen.

3 Datenverarbeitung und Randbedingungen

3.1 Gebäude

Beim Start des Aufbaus des Gebäudemodells bestand der erste Schritt in der Verknüpfung der Bezirke, Flurstücke und Gebäudeumringungen. Dabei wurde allgemein angenommen, dass ein Flurstück einem Grundstück entspricht. Alle weiteren Datensätze wurden im Anschluss entweder dem Gebäude oder dem Flurstück zugeordnet.

Die Abbildung 1 zeigt, dass einem Flurstück mehrere Gebäude zugeordnet werden können. Dazu können Haupt- und Nebengebäude sowie Garagen und Anbauten gehören.

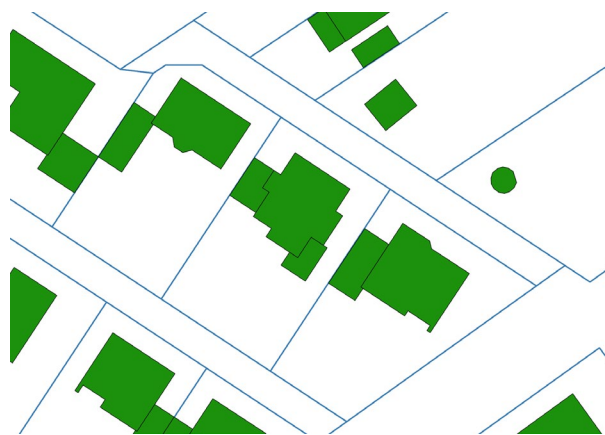


Abbildung 1: Zuordnung von Gebäuden (grün) und Flurstücken (blau)

Um den Datensatz mit anderen adressbezogenen Datensätzen ohne Georeferenz zu verschneiden ist ein Vorgehen implementiert worden, um die Adressen bestehend aus zwei Bausteinen „Straße“ und „Hausnummer“ auf ein einheitliches Format zu normieren. Dabei wurde insbesondere auf eine einheitliche Schreibweise von „Sankt“, „Straße“, Leerzeichen und mehreren Hausnummern für eine Gebäudeumringung sowie die Groß- und Kleinschreibung geachtet.

3.2 Bedarfs- und Verbrauchsdaten

Die Bestimmung des Wärmebedarfs in einem Gebäudemodell erfordert die Verwendung realitätsnaher und hochaufgelöster Datenquellen. Eine Möglichkeit besteht darin, auf das frei verfügbare Raumwärmebedarfsmodell NRW zurückzugreifen, welches auf dem ALKIS-Gebäudebestand (Stand 03/2019) basiert. Der ALKIS-Standard ist ein einheitliches Format zur Verwaltung von Geoinformationen welches von der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) gepflegt wird. Der Wärmebedarf im Raumwärmebedarfsmodell NRW wurde modellhaft und unter konservativen Annahmen berechnet, er liegt dadurch im Mittel tendenziell über dem tatsächlichen Verbrauch. Der Wärmebedarf wird aus den Gebäudeabmessungen und den Zensusdaten [9] über das Baujahr ermittelt. Neben dem Raumwärmebedarf fließt z.B. der Warmwasserbedarf pauschal mit 15 kWh/m² ein. [4]

Eine weitere Möglichkeit sind die bereitgestellten Verbrauchsdaten, die über einen Zeitraum von fünf aufeinanderfolgenden Jahren gebäudescharfe Aufzeichnungen für Gas, Fernwärme und Strom enthalten. Dieses Daten sind reale gemessene Daten, allerdings können sie nur die Verbräuche abbilden, die durch die Netze gedeckt werden. Der Verbrauch von Flüssiggas, Öl und Biomasse wird wie bereits erwähnt nicht abgebildet. In diesem Zusammenhang könnten Schornsteinfeger-Daten eine potenzielle Quelle sein, um derartige Lücken zu schließen. Bislang stehen diese Daten in Krefeld nicht zur Verfügung.

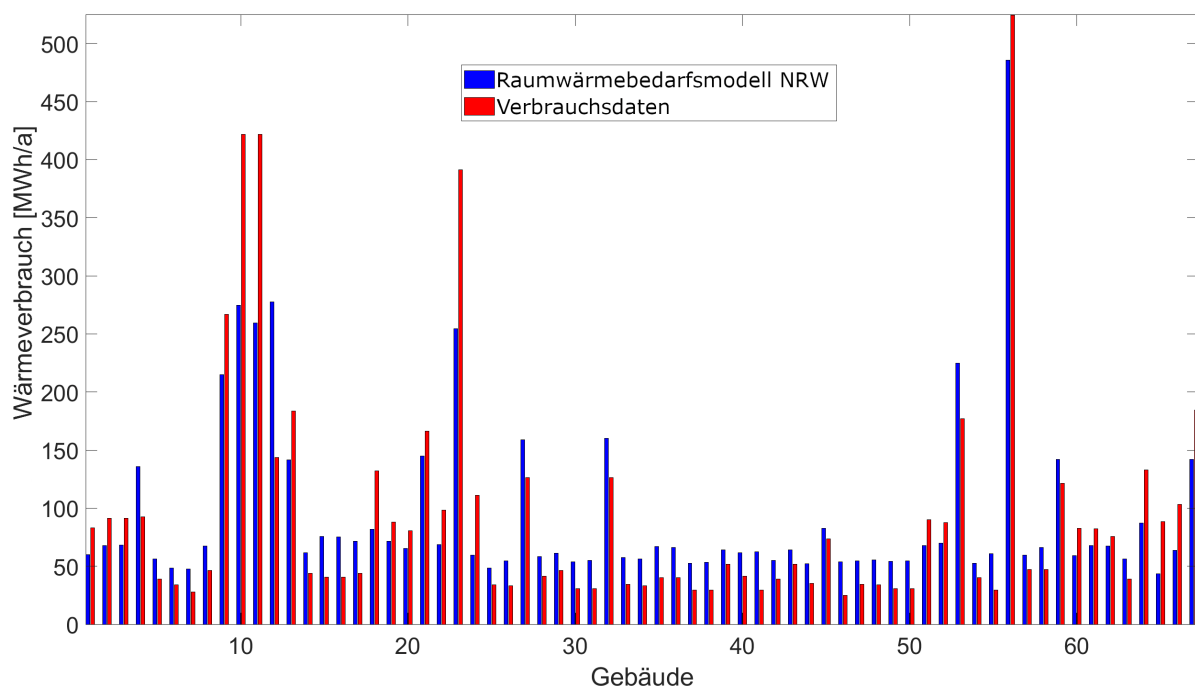


Abbildung 2: Vergleich zwischen dem Raumwärmebedarfsmodell NRW und realen Verbrauchsdaten am Beispiel eines krefelder Quartiers

Die Abbildung 2 zeigt am Beispiel eines Quartiers in Krefeld einen Vergleich des Wärmebedarfs zwischen dem Raumwärmebedarfsmodell NRW zu realen Verbrauchsdaten (Gas). Es ist deutlich zu erkennen, dass die Vorhersage für jedes Einzelgebäude fehlerbehaftet ist. Allerdings liegt der Fehler über das ganze Quartier lediglich bei 2,8 %.

3.3 Potenziale für Wärmepumpen

Das Modell analysiert gebäudescharf die Eignung für nachhaltige Wärmeversorgung, dabei werden insbesondere verschiedene Wärmepumpentechnologien wie Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdwärmekollektoren oder -sonden berücksichtigt. Durch die Integration verschiedener Datensätze wird ermittelt, welche Technologien für welches Gebäude aktuell geeignet sind. Die Wasser-Wasser-Wärmepumpe findet in dem Modell bislang keine Berücksichtigung, da keine örtlich hochaufgelösten Informationen über die Wasserzusammensetzung vorliegen.

3.3.1 Potenziale für Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdwärmesonden

Die Abbildung 3 zeigt die Zuordnung der verschiedenen Wasserschutzgebiete zu den einzelnen Gebäuden. Insbesondere bei der Installation von Sonden muss der Wasserschutz berücksichtigt werden. Die Abbildung 3 macht deutlich, dass lediglich einzelnen Gebäude im Nordosten und Westen der Stadt in einer Zone 1 oder 2 liegen. Der überwiegende Teil der Gebäude ist außerhalb der Wasserschutzgebiete. Gebäude in die in Zone 3 bis 3C (gelb) liegen werden für Erdwärmesonden nicht berücksichtigt, da es im Ermessen der Behörden liegt die Bohrung abzulehnen.

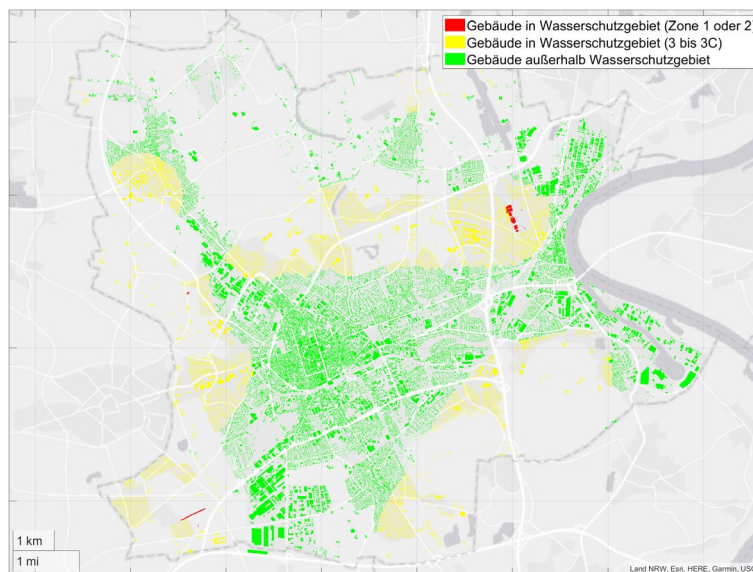


Abbildung 3: festgesetzte und geplante Wasserschutzgebiete in der Stadt Krefeld [8]

Im Oktober 2022 hat der Geologische Dienste NRW seismische Messungen unter anderem in Krefeld durchgeführt. Dabei wurde der Untergrund bis in 3,5 Kilometer Tiefe erkundet. Die entstandenen Bodenkarten liefern die Grundlage, um die Energiequellen im Erdreich näher zu betrachten. [7]

Die Abbildung 4 zeigt gebäudescharf die Entzugsleistung in Krefeld für Sonden auf dem zugehörigen Flurstück bis zu einer Tiefe von 40 m. Verarbeitet wurden im Gebäudemodell

zusätzlich die Datensätze für die oberflächennahe Geothermie, die Tiefengeothermie bis 60 m, bis 80 m und bis 100 m. Das Potenzial in Krefeld liegt nach Einschätzung des Geologischen Dienstes NRW überwiegend im mittleren und guten Bereich, dies entspricht einer Entzugsleistung von $1,5 - 1,9 \frac{W}{m \cdot K}$ bzw. $2,0 - 2,9 \frac{W}{m \cdot K}$.

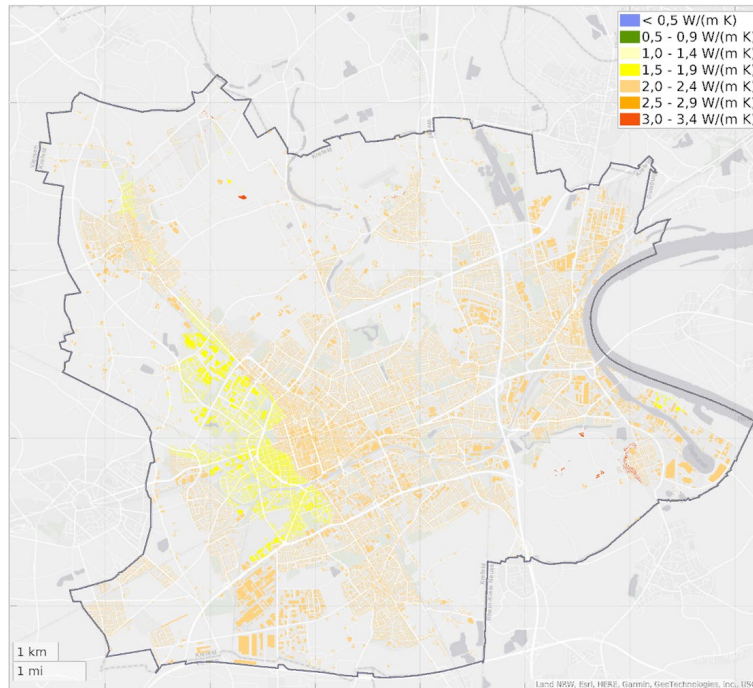


Abbildung 4: Geothermiefpotenziale für Erdwärmesonden bis 40m länge in Krefeld

Um für jedes Grundstück die theoretisch mögliche maximale Entzugsleistung zu bestimmen, wird die Anzahl möglicher Sondenbohrungen auf dem Grundstück ermittelt. Die Abbildung 5 skizziert das Vorgehen. Es werden Punkte mit definiertem Abstand zueinander auf dem Flurstück verteilt. Anschließend werden die in Tabelle 1 hinterlegten Abstände zu Gebäuden und Flurstücksgrenzen für jeden einzelnen Punkt überprüft.



Abbildung 5: Prinzipskizze theoretisches Potenzial für Geothermiesonden auf einem Flurstück. (Schwarz: mögliche Sondenposition, Rot: Abstand unterschritten)

Die roten Punkte in Abbildung 5 erfüllen die Kriterien aus Tabelle 1 nicht und stellen somit keine mögliche Position für eine Sonde da. Die übrigen zehn Positionen (schwarze Punkte) werden mit der Entzugsleistung aus Abbildung 4 verknüpft, um zu ermitteln, ob das Potenzial

auf dem Flurstück ausreicht, um den Wärmebedarf des Gebäudes zu decken. Dabei werden Bepflanzungen nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Abstandsregeln und Annahmen für Erdwärmesonden [10]

Abstandsregeln	Abstand
Abstand zu Gebäuden	2 m
Für Sonden ≤ 30 kW	
Abstand zu weiteren Sonden	6 m
Abstand zur Grundstücksgrenze	3 m
Für Sonden > 30 kW	
Abstand zu weiteren Sonden	6 m
Abstand zur Grundstücksgrenze	5 m
Annahmen	
Wasserschutzgebiet	Nur außerhalb
Berechnete Entzugsleistung	$>$ Jahreswärmebedarf

3.3.2 Potenziale für Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdoberflächenkollektoren

Um auch das Potenzial für Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Oberflächenkollektoren bewerten zu können, wird wie in Abbildung 6 (gelb) dargestellt eine Fläche auf dem Flurstück gebildet. Diese Fläche spart im Vergleich zur gesamten Flurstücksgröße die Hauptgebäude, alle bekannten Nebengebäude (Garagen, Überdachungen, etc.), sowie die Abstandsflächen aus Tabelle 2 aus.



Abbildung 6: Prinzipskizze theoretisches Potenzial für Erdoberflächenkollektoren auf einem Flurstück (gelb).

Die entstehende Fläche wird ebenfalls mit den Ergebnissen des Geologischen Dienstes NRW [7] für oberflächennahe Geothermie verknüpft. Das theoretische Potenzial auf dem Flurstück wird anschließend mit dem erforderlichen Wärmebedarf der Gebäude auf dem Flurstück verglichen. Da keine Informationen über versiegelte Flächen und Bepflanzungen vorliegen, wird das Potenzial an dieser Stelle überschätzt.

Tabelle 2: Abstandsregeln für Erdoberflächenkollektoren [10]

Regeln	Abstand
Abstand zur Grundstücksgrenze	1 m
Abstand zu Gebäuden	1 m

3.3.3 Potenziale für Luft-Wasser-Wärmepumpen

Das Potenzial für das Aufstellen einer Luft-Wasser-Wärmepumpe auf dem Flurstück wird mit den in Tabelle 3 gezeigten Abstandsregeln überprüft. Dabei wird getestet, ob der aufgrund der Lärmemission erforderliche Abstand zwischen Hauswand und Flurstücksgrenze eingehalten werden kann.

Tabelle 3: Abstandsregeln und Annahmen für Luft-Wasser-Wärmepumpen

Regeln	
Abstand zur Grundstücksgrenze	3 m
Annahmen	
Jahresverbrauch	$\leq 150 \frac{kWh}{m^2 a}$

In der Landesbauordnung NRW, welche zum 1. Januar 2024 in Kraft getreten ist, sind die Abstandsregeln für Luft-Wasser-Wärmepumpen aufgehoben worden [11]. Da noch keine eindeutige Regelung bezüglich der Lärmemission vorliegt, sind diese aktualisierten Regeln noch nicht im Modell implementiert.

3.4 Potenziale für Fernwärme

Um das Potenzial für Fernwärme zu beurteilen, wird der Abstand zwischen Hauptgebäude und Fernwärmeleitung überprüft. Die Tabelle 4 zeigt die verwendeten Abstandsregeln.

Tabelle 4: Annahmen für den Fernwärmeausbau

Annahmen	
Abstand zur Fernwärmeleitung	15 m

Der kürzeste Abstand zwischen Fernwärmeleitung und Hauptgebäude wird im Modell über den Umweg des Zentroids (Flächenschwerpunkt) ermittelt. Der Gesamtabstand X setzt sich dabei aus dem Abstandskriterium aus Tabelle 4 und der Quadratwurzel der Gebäudegrundfläche, als Entfernung zwischen Zentroid und Gebäudeumringung, zusammen. Daraus folgt, alle Gebäude mit Wärmebedarf, bei denen $X - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\text{Gebäudegrundfläche}} \leq 15 \text{ m}$ erfüllt ist, haben ein theoretisches Potenzial an das bestehende Fernwärmenetz angeschlossen zu werden. Die Abbildung 7 verdeutlicht dieses Vorgehen.



Abbildung 7: Prinzipskizze theoretisches Potenzial für Fernwärmeanschlüsse

4 Ergebnisse

Um die Ergebnisse übersichtlich darzustellen werden die Berechnungen für die Einzelgebäude auf die bestehenden Stadtbezirke aggregiert. Im Anschluss werden die Bezirke entsprechend der Eignung der Gebäude für verschiedene Technologien eingefärbt. Die Abbildung 8 gibt einen Überblick über diese Stadtbezirke und deren Siedlungsdichte.

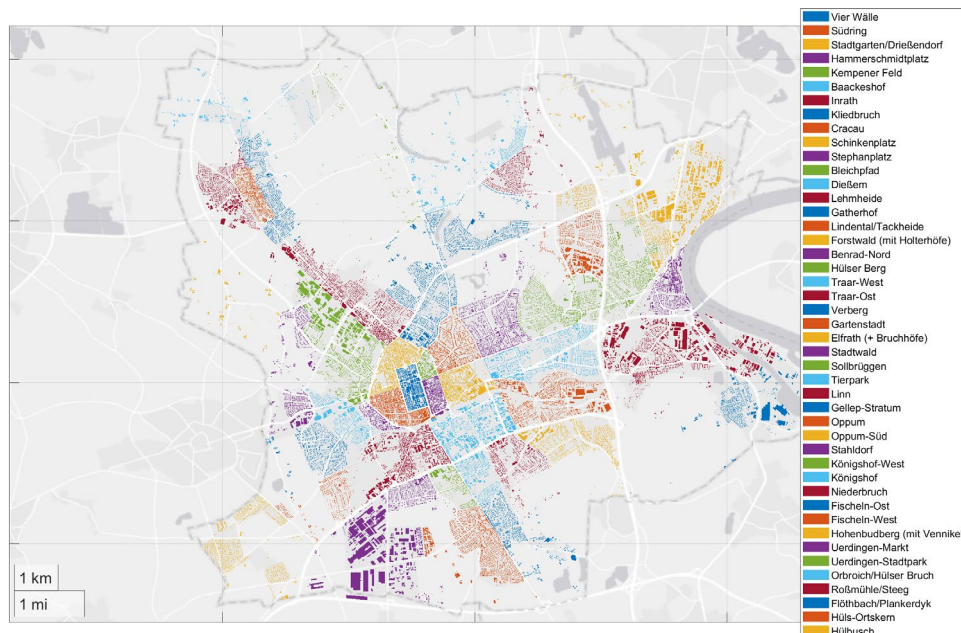


Abbildung 8: Zuteilung der Gebäude zu den bestehenden Stadtbezirken

4.1 Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Geothermiesonden

Die Abbildung 9 veranschaulicht das Ergebnis der in Kapitel 3.3.1 beschriebenen Vorgehensweise. Randgebiete mit weniger dichter Bebauung, welche größtenteils den nördlichen Stadtbezirken entspricht, weisen ein höheres Potenzial auf als die Bezirke im Zentrum der Stadt. Zusätzlich ist der Einfluss der in Abbildung 3 gezeigten Wasserschutzgebiete deutlich zu erkennen.

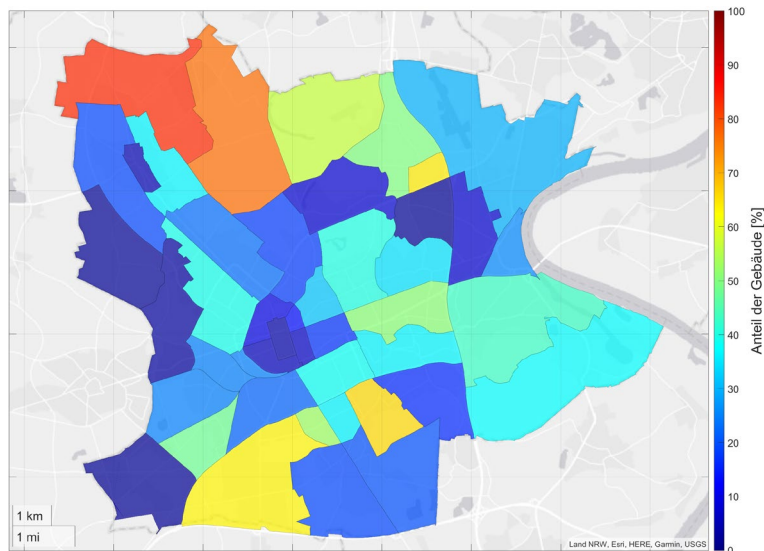


Abbildung 9: Potenzial der Gebäude für Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Geothermiesonden nach Bezirken in Prozent

4.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdoberflächenkollektoren

Die Abbildung 10 zeigt die Ergebnisübersicht für die Eignung von Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdoberflächenkollektoren. Die Randbezirke im Westen weisen dabei das größte Potenzial auf.

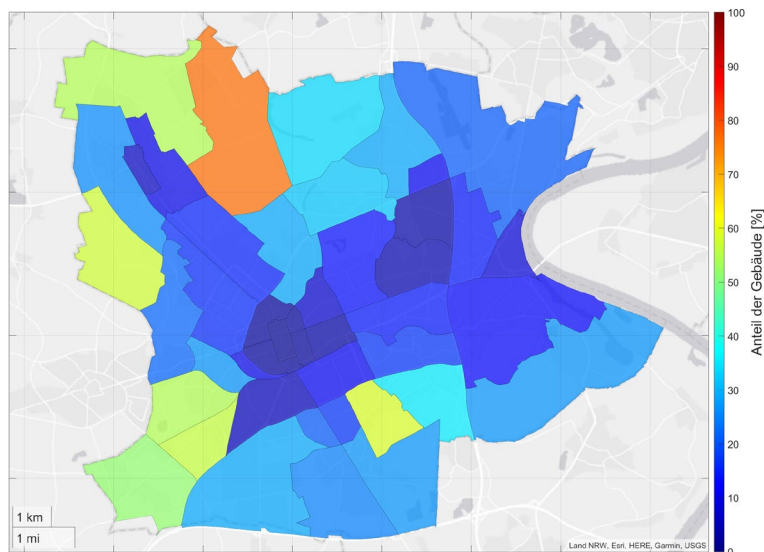


Abbildung 10: Potenzial der Gebäude für Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdoberflächenkollektoren nach Bezirken in Prozent

Da dieses Potenzial, wie schon in Kapitel 3.3.2 beschrieben, überschätzt wird und dies auch durch einen Vergleich mit den Ergebnissen des Projektes der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. der „Wärmepumpen-Ampel“ deutlich wird [12], werden diese Ergebnisse in der Übersicht in Kapitel 4.5 nicht berücksichtigt.

4.3 Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse für Luft-Wasser-Wärmepumpen aus Kapitel 3.3.3 im Überblick. Das Potenzial im Zentrum der Stadt ist gering und nimmt in den Randbezirken zu. Auffällig ist zusätzlich der Bezirk „Hülser Ortskern“ im Nordwesten der Stadt. Die sehr enge Bebauungsstruktur in diesen Teilen der Stadt erlaubt oft keine Installation von Luft-Wasser-Wärmepumpen.

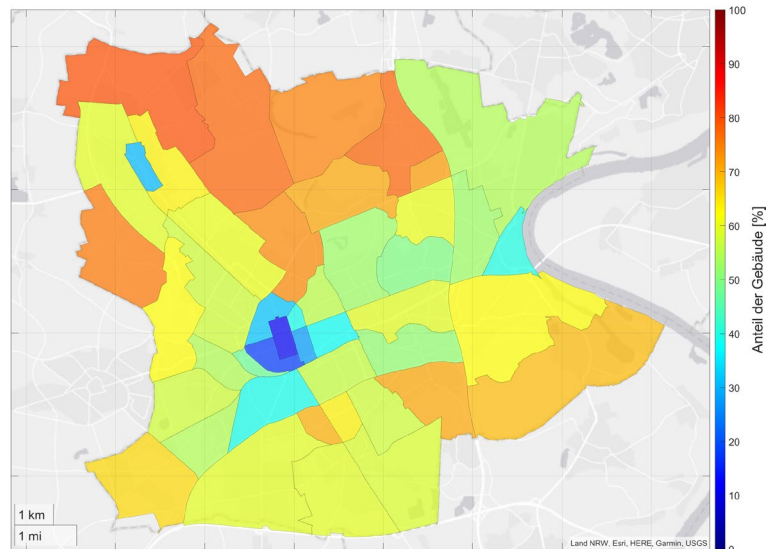


Abbildung 11: Potenzial der Gebäude für Luft-Wasser-Wärmepumpen nach Bezirken in Prozent

4.4 Fernwärmenetz

In Abbildung 12 sind sowohl die Bezirke nach ihrem aktuellen Potenzial für die Versorgung der Gebäude durch Fernwärme abgebildet, als auch das aktuell bestehende Fernwärmenetz. Die Potenziale sind dort am größten, wo die Bebauung dicht und das Fernwärmenetz bereits jetzt gut ausgebaut ist. Die Ergebnisse sind stark abhängig von einem zukünftigen Ausbau des Fernwärmenetzes.

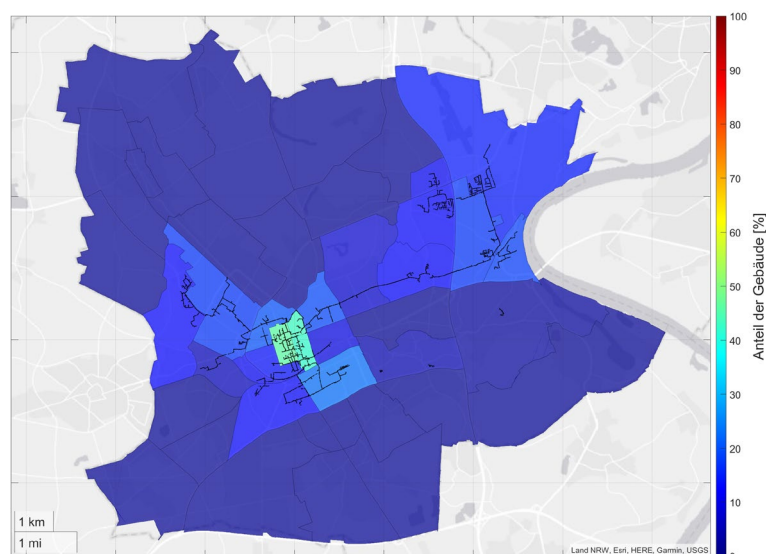


Abbildung 12: Potenzial der Gebäude für eine Fernwärmeversorgung nach Bezirken in Prozent

4.5 Gesamtergebnis

Die Abbildung 13 fasst alle Ergebnisse aus Kapitel 4.1, 4.3 und 4.4 in einer Abbildung zusammen. Insgesamt haben mit 68 % schon jetzt große Teile der Gebäude mit Wärmebedarf in Krefeld ein Potenzial nachhaltig mit Wärme versorgt zu werden. Eine zusätzliche Sanierung wird sich positiv auf die Eignung und den wirtschaftlichen Betrieb auswirken. Die Abbildung 13 zeigt aber auch einen Engpass in der Versorgung für den „Hülser Ortskern“ im Südwesten der Stadt. Hier besteht die Herausforderung eine andere nachhaltige Lösung zur Wärmeversorgung zu finden. Eine Möglichkeit wäre eine teilweise Umwidmung des Gasnetzes und die Nutzung von z.B. grünem Wasserstoff oder grünem Methan, zusätzlich muss die Nutzung von Nahwärme oder Biomasse geprüft werden.

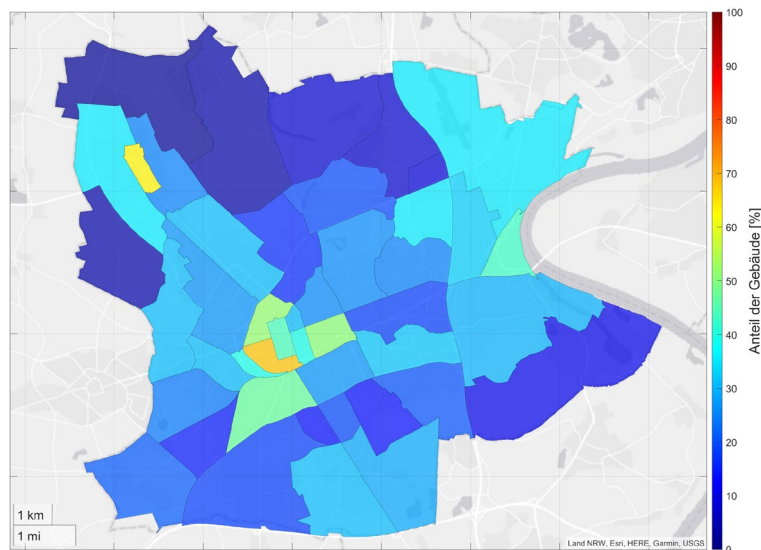


Abbildung 13: Anteil der nicht mit Fernwärme, Sole- oder Luft-Wasser-Wärmepumpen beheizbaren Gebäude nach Stadtbezirken in Prozent

5 Ausblick

Bislang ist im Modell noch keine Entwicklung des Gebäudebestandes durch Sanierung abgebildet. Diese zählt zu den kurzfristigen weiteren Zielen für das Gebäudemodell. Aufgrund der ständigen Überarbeitung der Inputdaten besteht laufend die Notwendigkeit, stets die aktuellsten Informationen einzupflegen. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist das Raumwärmebedarfsmodell NRW, das am 26. Januar 2024 ein Update erhalten hat [13]. Da aktuell nur Lösungen für einzelne Gebäude betrachtet werden, soll langfristig eine Möglichkeit entwickelt werden auch größere Abwärmepotenziale in Verbindung mit dem Aufbau oder Ausbau von Nah- und Fernwärmenetzen zu berücksichtigen.

6 Danksagung

Die Autoren bedanken sich an dieser Stelle herzlich bei der SWK AG und der SWK ENERGIE GmbH für die stets konstruktive und produktive Zusammenarbeit und Finanzierung des Projekts „Grüne Wärme für Krefeld“. Ein besonderer Dank geht auch an die NGN Netzgesellschaft Niederrhein mbH und die Stadt Krefeld für die wertvolle Unterstützung bei der Umsetzung dieses Projekts.

7 Referenzen

- [1] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, "Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze", <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/kommunale-waermeplanung.html> (Aufgerufen 08.Januar, 2024).
- [2] Stadt Krefeld, Fachbereich für Vermessung, Kataster und Liegenschaften, (Austausch 21.Juni, 2023).
- [3] NGN Netzgesellschaft Niederrhein mbH (Austausch 10.Juni, 2023).
- [4] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, „Raumwärmebedarfsmodell NRW“, <https://open.nrw/dataset/b6c0f1b6-8329-46f9-b06b-66c23484734c>.
- [5] SWK AG, „Positionspapier der SWK: Erreichung von Klimaneutralität für Krefeld“, (Veröffentlicht 04.Dezember, 2023)
- [6] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, „Solarkataster NRW: Potenzialdaten Dachflächen-Photovoltaik“, <https://open.nrw/dataset/6b1af6af-cd03-4206-a323-894eae1aaf081>.
- [7] Geologischer Dienst NRW, „Geothermie in NRW – Standortcheck“, (Austausch 08.März, 2023), <https://www.geothermie.nrw.de/> (Aufgerufen 17.Januar, 2024).
- [8] Bezirksregierung Düsseldorf, „festgesetzte und geplante Wasserschutzgebiete“, (Austausch 28.Februar, 2023).
- [9] Statistisches Bundesamt, „Ergebnisse des Zensus 2011“, <https://www.zensus2011.de/DE/Home/Aktuelles/DemografischeGrunddaten.html>.
- [10] Richtlinienreihe VDI 4640, Blatt 1: „Thermische Nutzung des Untergrunds - Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte“ & Blatt 2: „Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen“ (Erscheinungsdatum: Dezember, 2021).
- [11] Ministerium des Innern des Landes Nordrhein-Westfalen, Geltende Gesetze und Verordnungen (SGV. NRW.), § 6 (Fn 8) Abstandsflächen, https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_detail?sg=0&menu=0&bes_id=39224&anw_nr=2&aufgehoben=N&det_id=644721, (Stand 09.Januar, 2024).
- [12] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., Wärmepumpen-Ampel, Regionale Wärmepumpen-Potenziale in Krefeld, <https://waermepumpen-ampel.ffe.de/karte>, (Aufgerufen 17.Januar, 2024)
- [13] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, „Wärmestudie NRW“, <https://www.lanuv.nrw.de/landesamt/veroeffentlichungen/pressemitteilungen/details/4148-ausreichend-potenzial-fuer-die-waermewende-in-nrw-vorhanden> (Aufgerufen 26.01.2024).