

## Entscheidungsorientierte Aufbereitung von Potentialen zur Nutzung von Wärmepumpen im Kontext der geodatenbasierten Wärmeleitplanung

Schnabel M.<sup>1)</sup>, Elbeshausen M.<sup>1)</sup>, Niemeyer M.<sup>2)</sup>, Fincken M.<sup>2)</sup>, Raß B.<sup>2)</sup>, Koch S.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jade Hochschule, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG), Ofener Straße 16/19 21621 Oldenburg, marvin.schnabel@jade-hs.de, 0441 77083284

<sup>2)</sup> Jade Hochschule, Ofener Straße 16/19 21621 Oldenburg

---

### Kurzfassung

Der Prozess der geodatenbasierten Wärmeleitplanung kann Akteure/-innen bei der kommunalen Wärmeplanung unterstützen. Ein zentraler Schritt ist dabei die Analyse der Potentiale verschiedener Wärmeversorgungsstechnologien. Dafür werden Kennzahlen benötigt, um Eignungsgebiete identifizieren zu können. Wärmepumpen werden als zentrale Technologie für das Gelingen der Wärmewende angesehen. Somit werden Bewertungsverfahren benötigt, die die Eignung von Luft- und Erdwärmepumpen beschreiben. Daher wird in diesem Beitrag aufgezeigt, wie Kennzahlen erhoben werden können, die die Potentiale von Luftwärmepumpen sowie Erdwärmepumpen, die Erdkollektoren oder Erdsonden nutzen, unter Berücksichtigung des Flächenbedarfs bzw. von Schallemissionen beschreiben. Die errechneten Kennzahlen werden räumlich aggregiert, um sie auf entscheidungsrelevanten Ebenen zu visualisieren.

*Schlagnworte: Wärmeleitplanung, Kommunale Wärmeplanung, Wärmepumpe, Geodatenanalyse, Entscheidungsunterstützung*

---

### 1 Einleitung

Die Bundesregierung hat das Ziel, den Gebäudebestand spätestens zum Jahr 2045 klimaneutral mit Wärme zu versorgen [1]. Dieses Ziel erfordert erhebliche Anpassungen der Wärmeversorgung in Kommunen. Derzeit werden etwa die Hälfte der Haushalte durch Erdgas und ein Viertel durch Heizöl mit Wärme versorgt [2].

Die Transformation zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung erfordert einen hohen Koordinationsbedarf [2]. Diesem Koordinationsbedarf kann mit dem strategischen-planerischen Instrument der kommunalen Wärmeplanung begegnet werden [1]. Durch sie können Leitplanken für die zukünftige Wärmeversorgung und die Transformation gegeben werden [3]. Dabei müssen örtliche Rahmenbedingungen erfasst werden, um lokal angepasste Gesamtkonzepte entwickelt werden können [4]. Durch die vielen Akteure, die in die kommunale Wärmeplanung involviert sind, ist die kommunale Wärmeplanung ein Multiakteursprozess [1].

Der Prozess der Wärmeleitplanung kann die kommunale Wärmeplanung unterstützen. Innerhalb der Wärmeleitplanung werden durch eine Bestandsanalyse vorhandene Bedarfe und Infrastruktur erfasst. Darauf folgt eine Potentialanalyse zur Ermittlung von Bedarfsreduktionsmöglichkeiten und Potentialen zur Nutzung von erneuerbaren Energien. Darauf aufbauend wird eine Transformationsstrategie entwickelt [5]. Bei der Erarbeitung der Transformationsstrategie müssen Eignungsgebiete für verschiedene Wärmeversorgungsoptionen ermittelt werden. Eine erste Einteilung erfolgt dabei in Wärmeversor-

gungsgebiete, die sich für eine zentrale Wärmeversorgung durch Wärmenetze eignen, und Wärmeversorgungsgebiete, in denen eine dezentrale Versorgungsstruktur zu bevorzugen ist [6]. Ein Beispiel für dezentrale Wärmeversorgungsstechnologie sind Wärmepumpen. In diesem Beitrag werden geodatenbasiert Kennzahlen für die Nutzung von Wärmepumpen zur Wärmeversorgung von Bestandswohngebäuden ermittelt. Betrachtet werden dabei Luftwärmepumpen sowie Erdwärmepumpen mit Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren. Die ermittelten Kennzahlen werden entscheidungsorientiert aufbereitet und auf verschiedenen übergeordneten räumlichen Ebenen auf interaktiven Dashboards visualisiert.

### 2 Material und Methoden

Für die Abschätzung der Eignung von Wärmepumpen zur Wärmeversorgung von Bestandswohngebäuden wird eine breite Datengrundlage benötigt. Die Wärmebedarfe der Gebäude wurden durch die DBI - Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg modelliert und 2023 geliefert. Zudem werden Gebäudegrundflächen und Flurstücksgrenzen aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) verwendet. Zur Bewertung des Erdreiches liegen Karten mit Informationen zu Bodenarten, Wärmeleitfähigkeit und Grundwasserabstand vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) vor [7]. Um weitere Einschränkungen bewerten zu können, werden Wasserschutzgebiete, Heilquellenschutzgebiete sowie Trinkwasserschutzgebiete vom LBEG einbezogen [7]. Zudem liegen Luftbilder von Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung (LGLN) [8].

### Erdwärmepumpen

Für die beiden Typen der Erdwärmepumpe wird bei der Kennzahlenerhebung ähnlich vorgegangen. Dabei wird flurstücksscharf ermittelt, ob die Wärmemenge, die auf

dem Flurstück befindlichen Wohngebäude gedeckt werden kann. Bei der Ermittlung der Wärmemenge, die dem Boden entzogen werden kann, wird sich an der VDI-Richtlinie 4640 [9] orientiert. Die Vorgehensweisen sind in Abb. 1 und Abb. 2 schematisch dargestellt.

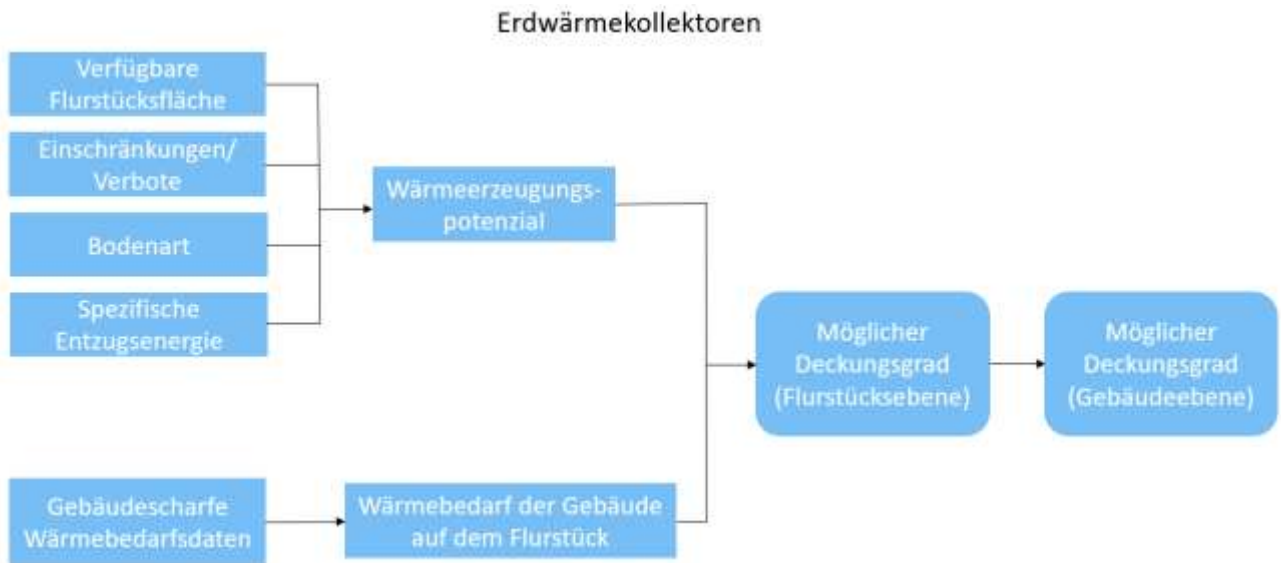


Abb. 1: Schematische Darstellung der geodatenbasierten Antizipation der Eignung von Wärmepumpen mit Erdwärmekollektoren zur Wärmeversorgung von Wohngebäuden (eigene Darstellung)

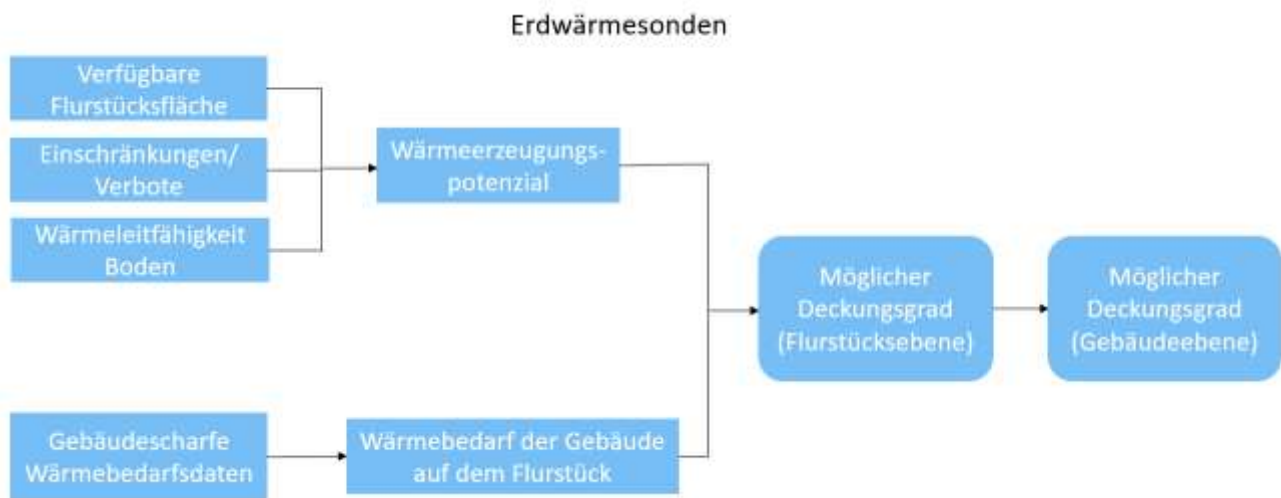


Abb. 2: Schematische Darstellung der geodatenbasierten Antizipation der Eignung von Wärmepumpen mit Erdwärmesonden zur Wärmeversorgung von Wohngebäuden (eigene Darstellung)

Zur Bewertung der Eignung für Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden wird zunächst die Fläche auf jedem Flurstück bestimmt, die für die Einbringung von Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren zur Verfügung steht. Dazu werden zunächst die Gebäudegrundflächen ausgeschnitten, da in diesem Bereich keine Sonden oder Kollektoren eingebracht werden können. Dann werden am Rand der Flurstücke die Bereiche entfernt, die innerhalb eines Abstandes vom 3 m zur Flurstücksgrenze liegen. Weitere versiegelte Fläche auf den Flurstücken

werden entfernt, indem der normalisierte differenzierte Vegetationsindex (NDVI) berechnet und für die Erkennung von nicht bewachsenen, versiegelten Flächen genutzt wird. Hierfür werden die genannten Luftbilder verwendet. Es wird angenommen, dass eine Einbringung von Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden nur in unversiegelten Bereichen erfolgen kann. Zudem werden Einschränkungen durch Schutzgebiete berücksichtigt. Bei der Betrachtung von Erdwärmekollektoren werden

zudem Bereiche ausgeschlossen, die eine Grundwasserabstand von weniger als 2,5 m aufweisen. Nachdem die Flurstücksfläche, die für die Einbringung von Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren zur Verfügung steht, ermittelt wurde, wird die Wärmemenge, die erzeugt werden kann, abgeschätzt.

Zur Ermittlung der Wärmemenge, die durch Erdwärmekollektoren dem Erdreich entzogen werden kann, werden Bodenkarten vom LBEG verwendet. Durch diese werden die Bodenarten für die verschiedenen Flurstücke bestimmt. Aus dieser Information wird dann die spezifische Entzugsenergie nach VDI 4640 Blatt 2 Tabelle A2 [9] ermittelt.

Für die Antizipation der Wärmemenge, die durch Erdwärmesonden dem Boden erzogen werden kann, werden Karten mit Informationen zur Wärmeleitfähigkeit in 40 m, 60 m, 80 m und 100 m Tiefe verwendet. Die Informationen zur Wärmeleitfähigkeit liegen aber nur punktuell vor und beruhen auf Daten von Bohrungen, die bereits vorhanden sind. Durch Empirical Bayesian Kriging [10] werden aus den einzelnen Datenpunkten flächendeckende Daten für die Wärmeleitfähigkeit errechnet. Durch die abgeschätzte Wärmeleitfähigkeit wird die spezifische Entzugsleistung pro Meter Sondenlänge nach VDI 4640 Blatt 2 Tabelle B5 [9] ermittelt. Hierbei können nach der Richtlinie Werte für ein bis fünf Sonden entnommen werden. Es wird für alle Flurstücke ermittelt, wie viele Sonden auf die zur Verfügung stehenden Flurstücksfläche mit einem Mindestabstand von 6 m zwischen den Sonden eingebracht werden können. Zur Ermittlung der Entzugsenergie wird eine Sondenlänge von 100 m angenommen, da bei Bohrungen über 100 m weitere Prüfungen notwendig werden [11]. Zudem wird eine Vollaststundenanzahl von 2100 [12].

Zur Ermittlung der Wärmemenge, die durch eine Wärmepumpe in Abhängig von der Entzugsenergie, die zuvor für den Betrieb von Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren antizipiert wurde, bereitgestellt werden kann, wird zunächst eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4 angenommen. Diese Annahme wird auf Basis der Ergebnisse eines Feldversuchs, in dem bei 12 Erdwärmepumpen Jahresarbeitszahlen zwischen 3,3 und 4,7 gemessen wurden, getroffen [13]. Die errechnete Wärmemenge wird dann mit dem Wärmebedarf auf den Flurstücken verglichen. Um ggf. Ungenauigkeiten beim Antizipieren des Wärmezeugungspotentials zu berücksichtigen, wird ab einer Deckung von 110 % eine Eignung festgestellt.

### Luftwärmepumpen

Die Methodik zur Bewertung der Luftwärmepumpen unterscheidet sich deutlich von der Methodik zur Bewertung der Erdwärmepumpen. Zur Bewertung der Eignung zur Nutzung von Luftwärmepumpen wird angenommen, dass die Schallemissionen, die durch den Betrieb der Wärmepumpe entstehen, eine beschränkende Wirkung

haben. Zudem wird angenommen, dass eine Luftwärmepumpe zur Wärmeversorgung eines Bestandswohngebäudes direkt an der Außenwand des zu beheizenden Gebäudes aufgestellt wird. Da keine flächendeckenden Informationen zur bestehenden Wärmeversorgungstechnik in Wohngebäuden bestehen, wird der gesamte Gebäudeumring klassifiziert, um eine Kennzahl für die Eignung zu definieren. Zur Klassifizierung wird für den gesamten Gebäudeumring geprüft, ob die Aufstellung einer Wärmepumpe unter Berücksichtigung der aus Schallschutzgründen notwendigen Mindestabstände erfolgen kann. Die Mindestabstände werden dem Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz entnommen [14]. In dem Leitfaden sind Mindestabstände für Schallemissionen zwischen 48 dB und 93 dB angegeben. Zu jeder dB-Zahl werden drei Mindestabstände angegeben (siehe Tab. 1). Die Abstände gelten jeweils für drei verschiedene Klassen von Emissionsorten. Dabei gilt ein Abstand für reine Wohngebiete (WR), ein weiterer für allgemeine Wohngebiete und der dritte gilt für Dorfgebiete (MD), Mischgebiete (MI), Kerngebiete (MK) und urbane Gebiete (MU). Die Gebietseinteilung erfolgt durch die Baunutzungsverordnung.

Tab. 1: Mindestabstände zum nächsten Immissionsort in Abhängigkeit Emissionsort für die vier betrachteten dB-Werte [14].

Schallemission	Abstand zum nächsten Immissionsort in		
	WR	WA	MD, MI, MK, MU
50 dB	3,9 m	3,0 m	3,0 m
60 dB	13,9 m	7,6 m	3,9 m
70 dB	34,4 m	23,7 m	13,9 m
80 dB	87,6 m	53,6 m	34,4 m

Durch die Geodatenanalyse werden die Gebäudeumrisse aller Wohngebiete im Betrachtungsgebiet in vier Klassen (siehe Tab. 2) unterteilt. Die Geodatenanalyse wird für vier Schallemissionswerte (50 dB, 60 dB, 70 dB, 80 dB) durchgeführt (siehe Tab. 1). Diese Einteilung erfolgt, da zum Zeitpunkt der Erstellung keine flächendeckenden Informationen zur Gebietseinteilung nach der Baunutzungsversorgung vorlagen.

Tab. 2: Klassen für die Kennzeichnung von Gebäudeumringabschnitten zur Aufstellung von Luftwärmepumpen.

Klasse	Bedeutung
0	Nicht zulässig
1	Zulässig in MD, MI, MK, MU
2	Zulässig in MD, MI, MK, MU, WA
3	Zulässig in MD, MI, MK, MU, WA, WR

Eine beispielhafte Visualisierung der Klassifizierung von Gebäudeumringen ist in Abb. 3 dargestellt.



Abb. 3: Beispielhafte Darstellung der Klassifizierung der Gebäudeumringe in die vier Klassen, die in Tab. 1 beschrieben werden.

Um eine Eignung auf Gebäudeebene zu bestimmen, wird nach Gl. 1 wird ein selbstentwickelter gewichteter Mittelwert verwendet. Daraus ergibt sich ein Eignungswert zwischen 0 und 1. Es gilt je höher der Wert ist, desto besser ist die antizipierte Eignung für die Verwendung einer Luftwärmepumpe.

$$Eignung_{Luft-WP} = p_0 \cdot 0 + p_1 \cdot \frac{1}{3} + p_2 \cdot \frac{2}{3} + p_3 \cdot 1 \quad \text{Gl. 1}$$

Dabei gilt:

$$p_x = \frac{\text{Länge der Umrisslinie der Klasse } x}{\text{Gesamtlänge Gebäudeumrisslinie}} \quad \text{Gl. 2}$$

### 3 Ergebnisse

Die Methodik, die in Abschnitt 2 vorgestellt wurde, ist für die Kommunen Oldenburg, Edewecht und Bad Zwischenahn angewendet worden. Die Ergebnisse werden mit der Business Intelligence (BI) Software Tableau visualisiert. Diese bietet die Möglichkeit interaktive Dashboard zu erstellen. Für jede der drei Technologieoptionen wird ein Dashboard erstellt. Auf den Dashboards werden

die Eignungen auf der Gebäudeebene sowie auf zwei übergeordneten Rasterebenen mit einer Gitterweite von 100 m bzw. 500 m dargestellt. Neben den umgesetzten räumlichen Betrachtungsebenen können die Ergebnisse auch auf weiteren räumlichen Betrachtungsebenen wie zum Beispiel Bebauungspläne visualisiert werden. Zentrales Element auf den Dashboards ist eine kartografische Darstellung auf der intuitiv navigiert werden kann. In Abb. 4 ist die Darstellung der Eignung der Nutzung von Erdwärmekollektoren auf der Gebäudeebene zu sehen. Dargestellt sind die Gebäudegrundflächen. Die Grundflächen sind anhand der Eignung eingefärbt. Grün steht dabei für eine Eignung und Rot gibt an, dass auf Datengrundlage keine Eignung festgestellt werden kann. Im rechten Bereich ist ein Balkendiagramm zu sehen, das die Anzahl der Gebäude, für die eine Eignung bzw. keine Eignung festgestellt werden kann, darstellt. Die Abb. 5 zeigt die Eignung zur Nutzung von Erdwärmesonden auf der Rasterebene mit einer Gitterweite von 100 m. Zur Visualisierung sind die Rasterzellen anhand des Anteils der Gebäude, für die eine potenzielle Wärmepumpeneignung ermittelt werden konnte, eingefärbt. Zu sehen ist das Stadtgebiet von Oldenburg. Es wird deutlich, dass im Stadtkern die Eignung für die Nutzung von Erdwärmesonden nicht stark ausgeprägt ist. Zudem ist auch hier das Balkendiagramm zu sehen, das auch auf der Gebäudeebene angezeigt wird. Den Anwender:innen werden verschiedenen Selektionsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt. Diese erlauben es auf der Gebäudeebene mehrere Gebäude und auf den Rasterebenen mehrere Gitterzellen selektiert werden. So können Anwender:innen bestimmte Bereiche der Kommune selektieren, um spezifische Informationen für das zu beplanende Gebiet zu erhalten. Weitere Informationen können durch Mouseover abgerufen werden.

Des Weiteren können Anwender:innen Einfluss auf die Berechnung der Kennzahlen nehmen, indem sie die angenommene JAZ für Erdwärmepumpen oder den notwendigen Deckungsgrad, der für eine Eignung erreicht werden muss, wählen können.



Abb. 4: Dashboard zur Eignung von Wärmepumpen mit Erdwärmekollektoren. Darstellung der Eignung auf Gebäudeebene (Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, © 2021).

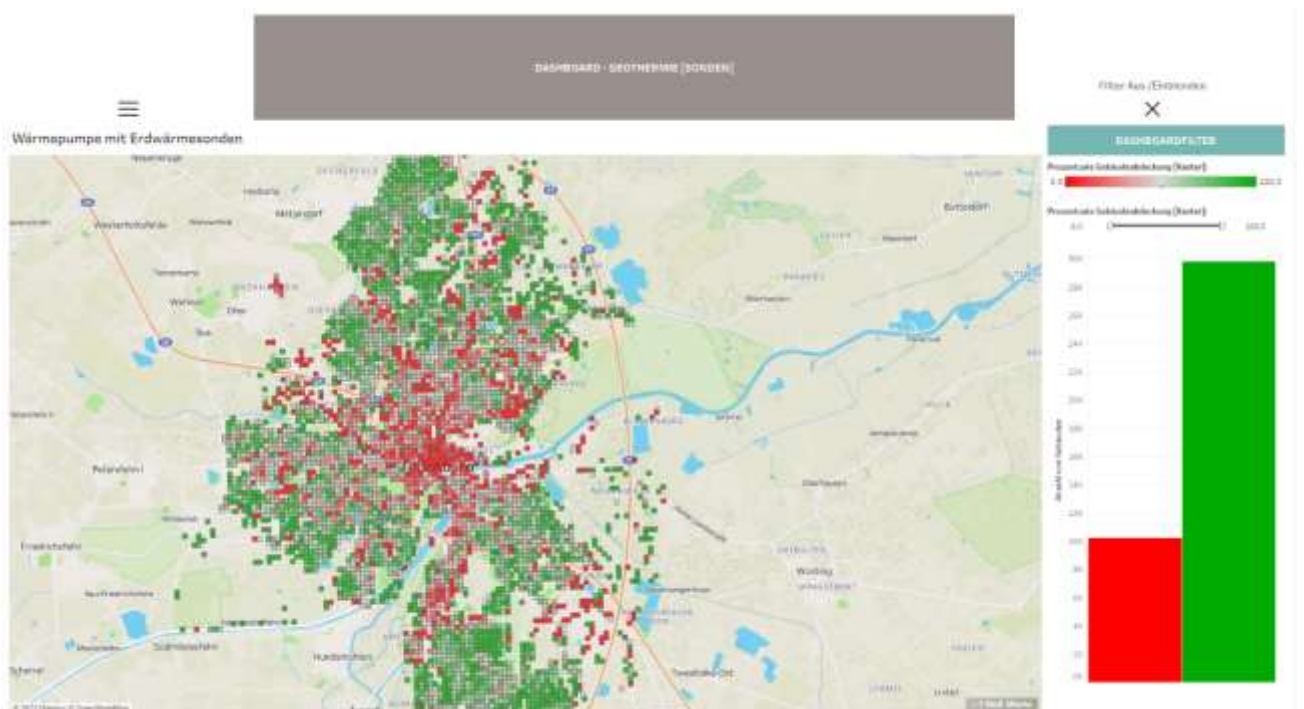


Abb. 5: Dashboard zur Eignung von Wärmepumpen mit Erdwärmesonde. Darstellung der Eignung auf einem Raster mit einer Gitterweite von 100 m (Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, © 2021; © GeoBasis-DE / BKG (2021), © 2023 Mapbox, © OpenStreetMap).

#### 4 Diskussion

Die Kennzählerhebung durch Geodatenanalysen kann einen flächendeckenden Überblick über die Eignung für Wärmepumpen geben. Hierfür wird eine breite Datengrundlage verwendet, die für das gesamte Betrachtungsgebiet vorliegen muss. Zu berücksichtigen ist, dass einige Annahmen wie zum Beispiel die Sondenlänge der Erdwärmesonden getroffen werden müssen und die Ergebnisse von diesen Annahmen abhängen. Daher ist davon auszugehen, dass die Aussagen für einzelne Gebäude von der Realität abweichen können. Vielmehr sind für den strategischen Prozess der kommunalen Wärmeplanung die übergeordneten räumlichen Ebenen interessant, für die dennoch Aussagen über potentielle Eignungsgebiete getroffen werden können. Die Selektions- und Filtermöglichkeiten, die den Anwender:innen zur Verfügung gestellt werden, erlauben es, die Daten durch visuelle Analysen zu untersuchen. Derzeit ist für alle drei Technologieoptionen ein Dashboard erstellt worden. Zur besseren Übersicht müssen die Eignungen für diese drei Wärmepumpenoptionen zusammengeführt werden und dann mit Kennzahlen zu zentralen Versorgungsoptionen wie Wärmenetzen gegenübergestellt werden. Eine Kennzahl für die Eignung von Wärmenetzen ist die Wärmeliendichte, welche ebenfalls geodatenbasiert erhoben werden kann [15].

Bei der Kennzahlenberechnung werden keine spezifischen Gebäudeeigenschaften wie der Sanierungsstand verwendet, da keine flächendeckenden Informationen dazu vorliegen. Perspektivisch sollte aber weitere Gebäudeeigenschaften einfließen, um die Aussagen zur Eignung weiter zu schärfen. Auch eine Verwendung von realen Verbrauchsdaten ist anzustreben. Zudem wird bei den Erdwärmepumpen eine jährliche Energiebilanz gezogen. Hier sollte in der Zukunft neben der jährlichen Energiebilanz auch genauer geprüft werden, ob Lastspitzen gedeckt werden können.

#### 5 Zusammenfassung

In diesem Bericht konnte dargestellt werden wie geodatenbasiert Kennzahlen, die die Eignung von Erdwärmepumpen mit Erdwärmesonde oder Erdwärmekollektoren und Luftwärmepumpen zur Wärmeversorgung von Bestandswohngebäuden beschreiben, abgeschätzt werden können. Angewendet wurde die Methodik für die Kommunen Oldenburg, Edewecht und Bad Zwischenahn. Zudem wurde dargestellt wie die Kennzahlen auf verschiedenen Betrachtungsebenen auf Dashboards dargestellt werden können. Hierbei zeigt sich, dass übergeordnete Betrachtungsebenen einen räumlichen Überblick geben. Diese Aufbereitung der Kennzahlen kann als Entscheidungsunterstützung im Prozess der Wärmeleitplanung verwendet werden.

#### 6 Danksagung

Die Inhalte sind im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen

03SF0624J geförderten Projekt WärmewendeNordwest entstanden.

#### 7 Literaturverzeichnis

- [1] R. Riechel und J. Walter, „Kurzgutachten Kommunale Wärmeplanung,“ 2022. [Online]. Available: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte\\_12-2022\\_kurzgutachten\\_kommunale\\_waermeplanung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_12-2022_kurzgutachten_kommunale_waermeplanung.pdf). [Zugriff am 06 Juli 2023].
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Diskussionspapier des BMWK: Konzept für die Umsetzung einer flächendeckenden kommunalen Wärmeplanung als zentrales Koordinierungsinstrument für lokale, effiziente Wärmenutzung,“ 28 Juli 2022. [Online]. Available: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/diskussionspapier-waermeplanung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/diskussionspapier-waermeplanung.pdf?__blob=publicationFile&v=4). [Zugriff am 19 Juli 2023].
- [3] O. Antoni, V. Balling, S. Benz, N. Wegner, C. Kluge, A. Schneller und J. Knies, „Handlungsempfehlungen für ein Planungsmodell der kommunalen Wärmeplanung auf Grundlage kommunaler Erfahrungswerte und dessen rechtlicher Implementierung,“ 2022. [Online]. Available: [https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2022/12/KoWaP\\_Handlungsempfehlungen\\_kommunale-Waermeplanung\\_2022-12-15.pdf](https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2022/12/KoWaP_Handlungsempfehlungen_kommunale-Waermeplanung_2022-12-15.pdf). [Zugriff am 06 Juli 2023].
- [4] V. Kienzlen und M. Peters, „Kommunale Wärmeplanung als Beitrag zur systematischen Erschließung von Klimaschutz im Wärmemarkt,“ in *Klimaschutz und Energiewende in Deutschland*, Heidelberg, Springer Spektrum Berlin, 2022, pp. 215-225.
- [5] M. Schnabel, T. Gravenhorst, T. Belkot, F. Friebe, S. Erdmann und S. Koch, „Visual Data Discovery im Kontext der geodatenbasierten Wärmeleitplanung,“ *gis.Science*, pp. 63-74, 2022.
- [6] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, „Entwurf eines Gesetzes für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze,“ 2 Juni 2023. [Online]. Available: <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/referentenentwuerfe/gesetz-fuer-die-waermeplanung-und-zur-dekarbonisierung-der-waermenetze.pdf;jsessionid=BD60BBD2311AA>

- B05F0692EDB42F7B187.2\_cid364?\_\_blob=publicationFile&. [Zugriff am 19 Juli 2023].
- [7] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, [Online]. Available: <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>. [Zugriff am 14 August 2023].
- [8] Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, [Online]. Available: <https://opengeodata.lgln.niedersachsen.de/#dop>. [Zugriff am 14 August 2023].
- [9] V. D. I. (VDI), Hrsg., *Thermische Nutzung des Untergrunds Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [10] ESRI Inc., „Empirical Bayesian Kriging (Geostatistical Analyst),“ [Online]. Available: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/latest/tool-reference/geostatistical-analyst/empirical-bayesian-kriging.htm>. [Zugriff am 3 August 2023].
- [11] H. Jensen, S. Pester, R. Schöner, C. Dube, U. Lipkow, A. Hause, M. Dudden und K. Fischer, *Leitfaden Erdwärmennutzung in Niedersachsen*, E. u. G. Landesamt für Bergbau, Hrsg., Hannover, 2022.
- [12] M. Ast, H. Eckl, J. Elbracht, K. Fischer, J. Fritz, S. Henke-Jelit, H. Jensen, S. Pester und J. Sbresny, „Leitfaden Erdwärmennutzung in Niedersachsen,“ Hannover.
- [13] D. Günther, J. Wapler, R. Langner, S. Helmling, M. Miara, D. Fischer, D. Zimmermann, T. Wolf und B. Wille-Hausmann, „Wärmepumpen in Bestandsgebäuden,“ 2020.
- [14] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, „Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten,“ 24 März 2020. [Online]. Available: [https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/leitfaden\\_verbesserung\\_schutz\\_gegen\\_laerm\\_bei\\_stat\\_geraete\\_1588594414.pdf](https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/leitfaden_verbesserung_schutz_gegen_laerm_bei_stat_geraete_1588594414.pdf). [Zugriff am 20 Juli 2023].
- [15] S. Erdmann, T. Belkot, F. Friebe, T. Gravenhorst und S. Koch, „GIS-Analysen für eine kleinräumige multikriterielle Wärmeleitplanung,“ *AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik*, Nr. 7, pp. 228-238, 2021.