

DATENBASIERTE ANALYSEMETHODIK ZUR ERMITTLUNG VON POTENZIALGEBIETEN FÜR ZENTRALE WÄRMEQUELLEN

Paul Maximilian Röhrig^{1,2}, Jennifer Elayne Büter¹, Julius Zocher²,
Steffen Kortmann^{1,2}, Andreas Ulbig^{1,2}

Kurzfassung

Die Umsetzung der im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Minderungsziele erfordert Treibhausgasneutralität bis 2045. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die Wärmewende, die eine beschleunigte Integration erneuerbarer Energien und eine Steigerung der Energieeffizienz in der Wärmeversorgung zum Ziel hat. Aufgrund regional unterschiedlich vorliegenden erneuerbaren Wärmeenergiepotenziale nimmt die Potenzialanalyse eine herausragende Position in der kommunalen Wärmeplanung ein. Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines automatisierten, georeferenzierten Ansatzes zur Potenzialanalyse erneuerbarer Wärmequellen in kommunalen Energiesystemen. Dazu wird ein modulares Verfahren zur Potenzialanalyse entwickelt, das in einer exemplarischen mittelgroßen Stadt in Nordrhein-Westfalen (Deutschland) angewendet wird.

Motivation

Das Bundes-Klimaschutzgesetz verfolgt Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in Deutschland, darunter eine Verringerung der Treibhausgasemissionen um 65% bis 2030 im Vergleich zu 1990 und die Erreichung vollständiger Treibhausgasneutralität bis 2045. Ein entscheidender Aspekt zur Zielerreichung ist die Wärmewende, die darauf abzielt, die Wärmeversorgung treibhausgasneutral zu gestalten. Heute entfallen mehr als die Hälfte der in Deutschland verbrauchten Endenergie für die Bereitstellung von Wärme verwendet wird. Ein zeitnahe Start ist aufgrund der langen Investitions- und Umsetzungszyklen in der Wärmeversorgung unerlässlich. [1]

Die kürzlich beschlossenen Änderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) und das Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz) im Jahr 2023 weisen den Kommunen eine zentrale Rolle zu. Bis spätestens 2028 ist die Erstellung eines kommunalen Wärmeplans verpflichtend. Die kommunale Wärmeplanung ist der Prozess, bei dem Kommunen Strategien und Maßnahmen entwickeln, um die Wärmeversorgung in ihrem Gebiet effizient, nachhaltig und zukunftsfähig zu gestalten, mit dem Ziel, die CO₂-Emissionen zu reduzieren und erneuerbare Energien zu integrieren, sodass Gebäudeeigentümer ab diesem Zeitpunkt die Ergebnisse der kommunalen Wärmeplanung bei der Wahl einer Heizungstechnologie berücksichtigen können [1,2]. Angesichts der begrenzten Transportfähigkeit von Wärme und der regions- und strukturspezifischen Potenziale erneuerbarer Wärmequellen ist eine georeferenzierte Potenzialanalyse entscheidend für eine auf lokalen Gegebenheiten ausgerichtete kommunale Wärmeplanung [1].

Die Einbindung zentraler erneuerbarer Wärmequellen über Wärmenetze ist ein Kernbestandteil zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung, insbesondere in Gebieten mit baulichen Restriktionen [3]. Im Gegensatz zu fossilen Energieträgern, welche eine Transportfähigkeit aufweisen und vor Ort verfeuert werden können, muss das Potenzial erneuerbarer Energien aufgrund der hohen räumlichen Disparität je nach Kommune untersucht werden.

Aufgrund der Komplexität der Planung, bedingt durch die Vielzahl an zu berücksichtigenden Wärmepotenzialen und Wärmeabnehmern, ist die Entwicklung von (teil-)automatisierten Verfahren zur Ermittlung von Potenzialgebieten von hoher Relevanz zur Unterstützung der kommunalen

¹ RWTH Aachen IAEW, Schinkelstraße 6 52062 Aachen Germany, +49 (241) 80 94937, m.roehrig@iaew.rwth-aachen.de, www.iaew.rwth-aachen.de

² Fraunhofer-Zentrum Digitale Energie, Hüttenstraße 5 52068 Aachen Germany, +49 (241) 80 94937, paul.maximilian.roehrig@fit.fraunhofer.de, www.digitale-energie.fraunhofer.de

Wärmeplanung. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Verfahren vorgestellt, das eine georeferenzierte Potenzialanalyse von erneuerbaren Wärmequellen ermöglicht.

Analyse

Im folgenden Abschnitt werden Kategorien für die Einteilung von Potentialen vorgestellt. Des Weiteren wird eine Übersicht an unterschiedlichen erneuerbaren Wärmequellen im Kommunen Bereich charakterisiert.

Kategorisierung von Potenzialen

Die Ermittlung von Potenzialen wird in verschiedene Kategorien differenziert, wobei die Einteilung in der Fachliteratur nicht standardisiert ist. Diese Arbeit folgt der in [4] vorgeschlagenen Unterteilung in theoretisches, technisches, wirtschaftliches und realisierbares Potenzial, welche in Abbildung 1 grafisch veranschaulicht wird. Das theoretische Potenzial definiert die physikalisch maximale Energiekapazität ohne Berücksichtigung von Beschränkungen. Das technische Potenzial, ein Unterbereich des theoretischen Potenzials, berücksichtigt spezifische Limitierungen wie beispielsweise die Verfügbarkeit von Flächen. Für die Analyse des wirtschaftlichen Potenzials werden zudem die Kosten der Wärmeengewinnung berücksichtigt, während das realisierbare Potenzial noch weitere Faktoren wie Personalressourcen oder Nutzungskonflikte einbezieht [3; 4].

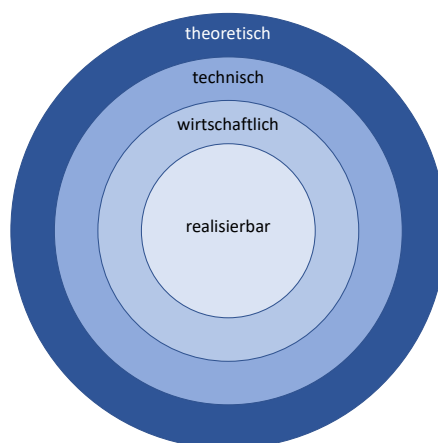


Abbildung 1: Kategorisierung von Potenzialen, in Anlehnung an [4]

Im Kontext unserer Arbeit wird im Rahmen der Potenzialanalyse das maximale Nutzungspotenzial erneuerbarer Wärmequellen bestimmt. Die Analyse fokussiert sich daher auf die technischen Potenziale [4], unter der Prämisse, dass ein bedeutender Teil der Wärmeversorgung lokal und klimaneutral gestaltet wird [1]. Das Vorgehen orientiert sich dabei an Vorgaben der kommunalen Wärmeplanung, wobei die Analyse der Wärmepotenziale unabhängig von einer möglichen Einteilung in potenzielle Wärmeversorgungsgebiete erfolgt (vgl. Potenzialanalyse §16, Aufstellung Zielszenario §19 [1]), da sich diese in Zukunft durch die Transformation der Wärmeversorgung ändern könnten. Die spezifischen Anforderungen an die Potenzialanalyse und der Datenbeschaffung variieren je nach Wärmequelle, worauf im Folgenden näher eingegangen wird.

Synopse der Wärmequellen

Tabelle 1 bietet eine aggregierte Darstellung der Eigenschaften verschiedener Wärmequellen. Die in der Tabelle aufgeführten Werte sollten als Orientierungshilfen verstanden werden, da die tatsächlichen Werte je nach lokalen Bedingungen variieren können. Die vergleichende Analyse der Wärmequellen verdeutlicht, dass diese je nach Anwendungszweck unterschiedlich geeignet sind. Generell gilt, dass Technologien mit höheren Investitions- aber geringeren Betriebskosten vorrangig zur Deckung der Grundlast empfehlenswert sind, während Wärmequellen mit geringeren Anschaffungskosten und höheren Betriebskosten besser für die Abdeckung von Spitzenlasten geeignet sind [5]. Die Auswahl der passenden Wärmequelle sollte stets individuell, unter Berücksichtigung der spezifischen Potenziale und Kosten, erfolgen. Die Vor- und Nachteile jeder Technologie variieren, wodurch eine Kombination unterschiedlicher Technologien vorteilhaft sein kann.

Tabelle 1: Übersicht Wärmequellen [3,6,7,8]

Technologien / Sektoren	(Freiflächen-) Solarthermie	Oberflächennahe Geothermie	Tiefe Geothermie	Biomasse	Abwärme
	Flachkollektoren , Vakuumröhrenkollektoren, konzentrierte Solarthermie (CSP)	Erdwärmesonden , Erdwärmekollektoren, Erdwärmekörbe, Energiepfähle, Grundwasserbrunnen	Hydrothermale Systeme , petrothermale Systeme (EGS, HDR, tiefe Erdwärmesonden)	Landwirtschaft , Forstwirtschaft, Abfallwirtschaft	Industrie , Rechenzentren, Klärschlammaufbereitung sanlagen, Abwasserkanäle, Müllverwertungsanlagen, Tunnelthermie
Leistungsklasse bei Standardbedingungen	Modular, 473 kWh/m ²	48W/m	10 - 40MW	Dezentral<250 kW, zentral größer	Individuell
Temperaturniveau	20 - 80 °C	12 °C	>60 °C	500 ->1000 °C	<60 °C - >150 °C
Lebensdauer	25 - 30 Jahre	Wärmepumpe: 15 - 20 Jahre, Sonde: 100 Jahre	25 - 30 Jahre	15 - 25 Jahre	Wärmepumpe: 15 - 20 Jahre, Wärmetauscher: 30 Jahre
Investitionskosten	0,27 Mio. €/MW	2,05 Mio.€/MW	1,8 - 2,2 Mio.€/MW	1,25 Mio. €/MW	
Betriebskosten	0,3 €/MWh	Stromkosten/COP (ca. 54 €/MWh)	10 €/MWh	18,26 €/MWh + Biomassekosten	20 €/MWh
Besonderheiten	Vermeidung von Beschattung	Einzuhaltende Abstände	Eigenschaften des Bodens unbekannt	Nutzungskonkurrenz	Individuelle Prozesse
Vorteil	Bewährte Technologie	Einsatz grundsätzlich überall	Unabhängig von der Jahreszeit	Lager- und Transportfähigkeit	Unvermeidbare Abwärme
Nachteil	Diskrepanz Wärmebedarf und Verfügbarkeit	Wärmepumpen notwendig	Hohe Risiken	Geringe Flächeneffizienz	Abhängig von der Produktion

Methode

Ziel des Modells ist die Identifikation möglicher Standorte für erneuerbare Wärmequellen. Die Modellparameter umfassen öffentliche Daten, technologiespezifische Parameter, den georeferenzierten Analysebereich und die Versorgungsaufgabe. Öffentliche Daten, die im Modell verwendet werden, stammen aus verschiedenen Quellen wie OpenStreetMap (OSM) [9], dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) [10] oder OpenGeodata.NRW [11] und beinhalten unter anderem Informationen zu bspw. Flächennutzung, Flurstücken und Bodenbeschaffenheit. Die technologiespezifischen Parameter sind für jede Wärmequelle individuell festgelegt und umfassen Aspekte wie Förderleistungen und Platzbedarf.

Strukturierte Methodik der Potenzialanalyse

Die systematische Vorgehensweise der Potenzialanalyse, wie in Abbildung 2 dargestellt, besteht aus vier Schritten und zielt auf die Identifikation geeigneter Potenzialflächen ab. Dieses Verfahren wird für alle in dieser Arbeit betrachteten Wärmequellen angewendet.

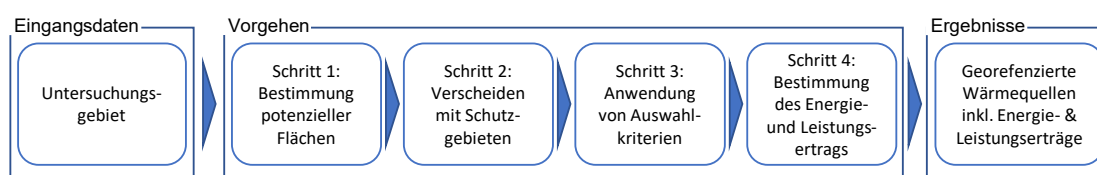


Abbildung 2: Vorgehen Potenzialanalyse

1. Identifikation potenzieller Flächen

Der erste Schritt umfasst die Identifizierung grundsätzlich geeigneter Flächen für die Nutzung der Wärmequellen, beispielsweise basierend auf der aktuellen Landnutzung. Diese werden als Basisflächen bezeichnet und sind in Tabelle 2 aufgeführt. Eine Überschneidung der Basisflächen verschiedener Wärmequellen wie Solarthermie und oberflächennaher Geothermie deutet auf potenzielle Nutzungskonflikte hin. Weiterhin werden diese Basisflächen mit Ausschlussflächen, beispielsweise Gewässer und Wälder, die aufgrund topologischer, technischer oder regulatorischer Beschränkungen ungeeignet sind, überlagert. Eine Übersicht der für jede Wärmequelle relevanten Ausschlussflächen findet sich in Tabelle 3.

Tabelle 2: Basisflächen der Wärmequellen [12,13,14,15]

	Solarthermie ¹	Oberflächennahe Geothermie		Tiefe Geothermie	Biomasse		
		Dezentral	Zentral		Ackerland	Dauergrünland	Waldholz
Gewerbe- und Industriegebiete	x		x	x			
Ackerland (Landwirtschaft)	x		x	x	x		
Grünland	x					x	
Parkplatzflächen	x		x	x			
Abfallbeseitigungsanlagen	x						
Randflächen von Autobahnen und Schienenwegen	x						
Heiden			x	x			
Halden			x	x			
Wald							x
Flurstücke		x					

Tabelle 3: Ausschlussflächen der Wärmequellen [12,13,14,15]

	Solarthermie ³	Oberflächennahe Geothermie		Tiefe Geothermie	Biomasse		
		Dezentral	Zentral		Ackerland	Dauergrünland	Waldholz
Siedlungsflächen	x						
Gebäude	x	x	x	x	x	x	x
Verkehrsflächen	x	x			x	x	x
Gewässer, Moore	x	x					
Wälder	x	x					
Besondere Flächen (z.B. Sportplätze)	x	x					

2. Überlagerung mit Schutzgebieten

Im zweiten Schritt werden die potenziellen Flächen mit Schutzgebieten überlagert. Tabelle 4 listet relevante Schutzgebiete für die verschiedenen Wärmequellen auf. Sind Schutzgebiete als Ausschlussflächen definiert (gekennzeichnet mit „x“ in Tabelle 4), erfolgt eine analoge Reduktion der Potenzialflächen wie in Schritt eins. Bei lediglich eingeschränkter Nutzung (gekennzeichnet mit „(x)“ in Tabelle 4) werden die Restriktionen bei der Überlagerung berücksichtigt.

Tabelle 4: Relevante Schutzgebiete für die Wärmequellen [12,13,14,15]

	Solarthermie ¹	Oberflächennahe Geothermie			Tiefe Geothermie	Biomasse		
		Erdwärmesonden	Erdwärmekollektoren	Grundwasserbrunnen		Ackerland	Dauergrünland	Waldholz
Wasserschutzgebiete I, II	x	x	x	x	x			
Wasserschutzgebiete III, IIIa, IIIb		x			x			
Naturschutzgebiete	x				x	x	(x)	(x)
Vogelschutzgebiete	x					x	(x)	(x)
FFH-Gebiete ⁴	x				x	x		(x)
Nationalparks	x							
Ramsar Feuchtgebiete ⁵	x							
Bereiche zum Schutz der Natur	x							
Landschaftsschutzgebiete	x							
Biotopkataster ⁶	x							
Biotopverbundflächen Stufe 1							(x)	(x)
Gesetzlich geschützte Biotope							(x)	x
Überschwemmungsgebiete	x							

³ Freiflächen-Solarthermie

⁴ Schutzgebiete nach der Fauna-Flora-Habitat (FFH)-Richtlinie zur Erhaltung der biologischen Vielfalt in Europa [16]

⁵ Schutzgebiete nach der globalen Ramsar Konvention zum Schutz von Feuchtgebieten [17]

⁶ Umfangreiche Erfassung schutzwürdiger Lebensräume in NRW [18]

Hydrogeologisch kritische Bereiche		(x)						
Schwerpunktvorkommen empfindlicher Arten						(x)	(x)	
Wildnis Entwicklungsgebiete								x
Naturwaldzellen								x

3. Anwendung von Auswahlkriterien

Anschließend werden auf die in Schritt zwei bestimmten Flächen verschiedene Auswahlkriterien angewendet, wie beispielsweise Größe, Form der Fläche oder spezifische Bodeneigenschaften. Tabelle 5 präsentiert die für jede Wärmequelle relevanten Kriterien.

Tabelle 5: Auswahlkriterien der Wärmequellen [12,13,14,15]

	Solarthermie	Oberflächennahe Geothermie			Tiefe Geothermie	Biomasse
		Erdwärmesonden	Erdwärmekollektoren	Grundwasserbrunnen		
Mindestgröße und Mindestbreite	x				x	x
Platzierung Technologie		x		x	x	
Mindestgröße Technologie			x			
Mindestleitfähigkeit des Bodens		x				
Flurabstand				x		
Durchlässigkeit des Grundwasserleiters				x		
Geothermie Potenzial					x	

4. Ermittlung von Energie- und Leistungsertrag

Im letzten Schritt wird für die final ausgewählten Potenzialflächen der Energie- und Leistungsertrag bestimmt. Hierbei werden Faktoren wie die Anzahl und Größe der installierbaren Module und externe Bedingungen wie Sonneneinstrahlung je Fläche berücksichtigt. Die Betrachtung von Wechselwirkungen zwischen den Potenzialflächen wird vernachlässigt, mit Ausnahme der tiefen Geothermie, um negative Einflüsse auf benachbarte Flächen zu vermeiden.

Ergebnisse

Untersuchungsgebiet

Die nachfolgenden beispielhaften Analysen konzentrieren sich auf eine die exemplarische Gemeinde Heinsberg aus Nordrhein-Westfalen, Deutschland, wie in Abbildung 3 dargestellt. Diese Gemeinde erstreckt sich über eine Fläche von 93,4 km² und verzeichnete im Jahr 2023 insgesamt 44.427 Einwohner [19]. Somit klassifiziert sie sich als eine kleinere Mittelstadt mit einer Bevölkerungsdichte von 476 Personen pro km². Im Kontext einer Bestandsanalyse wurden 14.275 Gebäude identifiziert, die zusammen einen jährlichen Wärmeenergiebedarf von 554,2 GWh aufweisen. Von diesem Gebäudebestand aus wurden Gebäude ausgewählt welche in einem Bereich eine Wärmebedarfsdichte, von hier gewählten 400 MWh/ha [4], überstiegen. Die Bestimmung einer Wärmebedarfsdichte dient zur Identifikation von Wärmenetzpotentialen, da nur in diesen Gebieten eine ausreichend hohe Nachfrage für die Ausprägung von Wärmenetzen existent ist. Somit ergaben sich 2.341 Gebäude in Arealen mit einem Wärmenetzpotential. Diese Gebäude verfügen über einen Gesamtwärmebedarf von 104,1 GWh pro Jahr, welche durch das Potential der erneuerbaren Energien gedeckt werden muss.

Alle weiteren in diesem Kapitel erwähnten Energiemengen beziehen sich ebenfalls auf den Jahresbedarf. Im Folgenden wird die Potenzialanalyse der Oberflächen Geothermie näher vorgestellt und soll als exemplarische Tiefe des Detailgrades verstanden werden. Auf die weiteren Analysen der Wärmequellen wird anschließend vergleichend eingegangen.

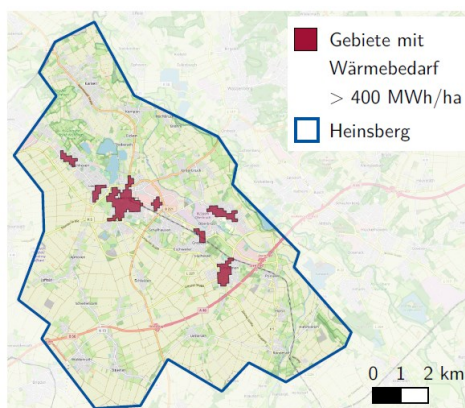


Abbildung 3: Das Untersuchungsgebiet und Bereiche, welche für ein Wärmenetz potenziell geeignet sind

Oberflächennahe Geothermie

Bei der folgenden Analyse des Potenzials oberflächennaher Geothermie wird zwischen den Technologien der Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden und Grundwasserbrunnen für eine zentrale und dezentrale Nutzung unterschieden.

Die aggregierten Ergebnisse für die zentrale Nutzung der oberflächennahen Geothermie sind in Abbildung 4 dargestellt. Ein technisches Potenzial ist fast im gesamten Gebiet vorhanden, mit Ausnahme des westlichen Teils für Erdwärmesonden, wo Wasserschutzgebiete III bzw. IIIa eine Nutzung ausschließen. Für Erdwärmekollektoren und Grundwasserbrunnen stellen diese Schutzgebiete in der Regel jedoch keine Beschränkung dar. Die potenzielle Verteilung zeigt in städtischen Bereichen generell geringere Potenziale für alle drei Technologien. Das höchste Potenzial wird bei Erdwärmesonden mit einer jährlichen Energiemenge von 9.305 GWh/a ermittelt, dicht gefolgt von Grundwasserbrunnen mit 8.700 GWh/a. Die Beschränkung der Erdwärmesonden auf eine Tiefe von 40m in hydrogeologisch kritischen Bereichen führt zu einem geringeren Potenzial im Vergleich zu Grundwasserbrunnen. Fehlen solche Einschränkungen, übersteigt das Potenzial der Erdwärmesonden das der Grundwasserbrunnen. Erdwärmekollektoren weisen mit einem jährlichen Potenzial von 3.933 GWh etwa die Hälfte der Energieausbeute der anderen beiden Technologien auf, was sie als weniger geeignet erscheinen lässt.

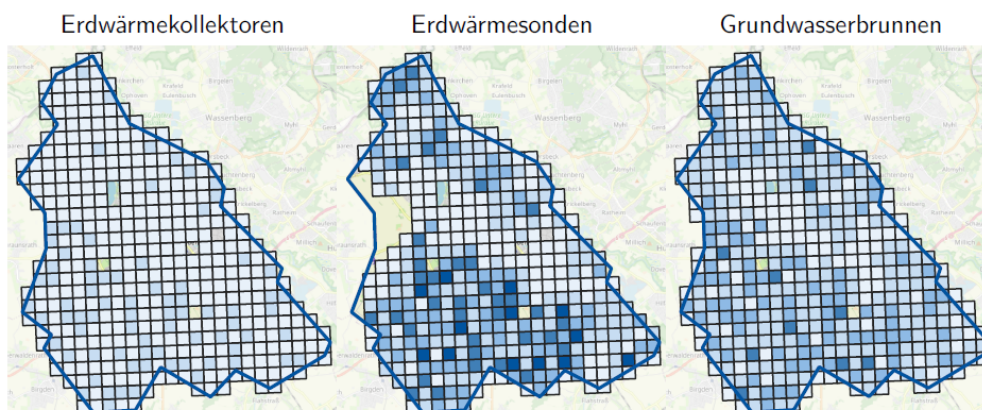


Abbildung 4: Aggregiertes (0,5 x 0,5 km Raster) Potenzial für zentrale oberflächennahe Geothermie (Maßstab ca. 1:400000)

Ein Auszug der detaillierten Ergebnisse zur dezentralen Nutzung der oberflächennahen Geothermie ist in Abbildung 5 veranschaulicht. Diese Grafik zeigt, dass Erdwärmekollektoren aufgrund ihrer geringen Flächeneffizienz auf weniger Grundstücken realisierbar sind als Erdwärmesonden oder

Grundwasserbrunnen. Dies ist auf die angenommene Mindestfläche⁷ von 200 m² zurückzuführen, die aufgrund der ineffizienten Nutzung von Erdwärmekollektoren erforderlich ist. Diese geringe Flächeneffizienz zeigt sich auch in den niedrigeren jährlichen Energieerträgen im Vergleich zu den anderen untersuchten Technologien auf allen betrachteten Grundstücken.

Im Falle von Grundwasserbrunnen wird ein identisches Potenzial von 62,5 MWh auf allen potenziellen Flächen angenommen, basierend auf festgelegten Richtwerten. In der Praxis können jedoch aufgrund der geologischen Gegebenheiten und der variierenden Förderleistungen unterschiedliche tatsächliche Energieerträge erzielt werden. Diese spezifischen Informationen sind jedoch nicht flächendeckend verfügbar und konnten daher nicht in die Modellierung einbezogen werden.

Im Gegensatz dazu variiert die jährliche Energieerzeugung von Erdwärmesonden im untersuchten Bereich zwischen 12 und 135 MWh/a, abhängig von der Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds und der Anzahl maximal zu platzierender Erdwärmesonden. Folglich kann das Potenzial von Erdwärmesonden in bestimmten Fällen höher oder niedriger sein als das von Grundwasserbrunnen. In einigen Fällen kann auf bestimmten Grundstücken Potenzial für Erdwärmesonden identifiziert werden, während die Fläche nicht ausreichend groß für einen Grundwasserbrunnen ohne thermische Beeinflussung ist. Daher sind Erdwärmesonden in Gebieten ohne Restriktionen, wie beispielsweise in Wasserschutzgebieten der Klasse III/IIIa, die vielseitigste Technologie.

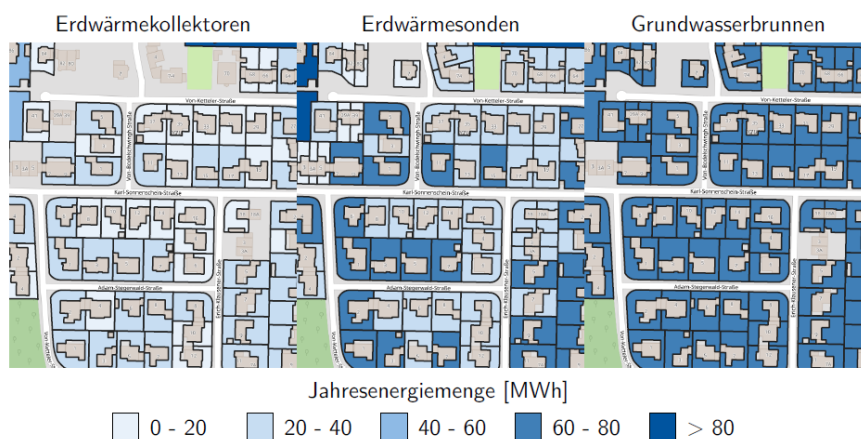


Abbildung 5: Ausschnitt der Potenzialflächen für dezentrale oberflächennahe Geothermie (Maßstab 1:7000)

Vergleichsanalyse der Wärmequellen

In diesem Abschnitt erfolgt ein Vergleich der verschiedenen Wärmequellen. Zur Vereinfachung konzentriert sich die Analyse auf Flachkollektoren bei der Freiflächen-Solarthermie und Erdwärmesonden bei der oberflächennahen Geothermie, jeweils aufgrund ihres höchsten Potenzials in ihrer Kategorie, sowie auf eine zusammengefasste Betrachtung der Biomassearten. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Jahresenergiemengen, Leistungen und Flächen der identifizierten Potenziale dieser Wärmequellen. Es wird ersichtlich, dass die Potenziale der Wärmequellen unterschiedlich groß sind. Die Jahresenergiemengen von zentralen Erdwärmesonden und Freiflächen-Solarthermie übertreffen den Wärmebedarf der untersuchten Gebäude (104,1 GWh) um ein Vielfaches, während die Potenziale von Biomasse und tiefer Geothermie, unter Berücksichtigung der angenommenen Volllaststunden, für eine vollständige Bedarfsdeckung nicht ausreichen. Des Weiteren weist die Solarthermie eine relativ hohe Maximalleistung auf, bei der weiteren Auslegung dieser Quelle ist es jedoch notwendig die saisonale Verfügbarkeit zu berücksichtigen, da ihre Potenziale aufgrund der erhöhten Sonneneinstrahlung hauptsächlich im Sommer anfallen. Die anderen Wärmequellen können nahezu zeitinvariant, sowohl tageszeitlich als auch saisonal, ihre Leistung erbringen. Obwohl bei Biomasse aufgrund von Saisonalität gewisse Variationen auftreten, sind diese aufgrund der Lagermöglichkeiten von Biomasse vernachlässigbar.

⁷ Eine Mindestfläche von 200m² korrespondiert im Untersuchungsgebiet mit einer Heizleistung von ca. 5,3 kW. Unter dieser Größe ist die Nutzung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe nicht realistisch.

Aus den zuvor genannten Gründen darf der Vergleich der Wärmequellen nicht allein auf den Jahresenergiemengen oder der Maximalleistung basieren, sondern muss die Wärmegewinnung zu verschiedenen Zeitpunkten einbeziehen.

Tabelle 6: Jahresenergiemengen, Leistungen und Flächen der identifizierten Potenziale der betrachteten Wärmequellen

Wärmequelle	Jahresenergiemenge [GWh]	Leistung [MW]	Fläche [ha]
Zentrale oberflächennahe Geothermie (Erdwärmesonden)	9.305	3.877	5.807
Freiflächen-Solarthermie (Flachkollektoren)	7.736	10.828	3.404
Dezentrale oberflächennahe Geothermie (Erdwärmesonden)	907	378	1.170
Tiefe Geothermie (hydrothermal)	100	37	127
Biomasse	90	10	5.017

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei diesem Vergleich ist die Flächennutzung der Wärmequellen, wie in Tabelle 6 aufgezeigt. Bei den ermittelten technischen Potenzialen von Biomasse, zentraler oberflächennaher Geothermie und Solarthermie wäre ein erheblicher Anteil aller Flächen für die Wärmeerzeugung erforderlich. Die geringe Flächeneffizienz von Biomasse wird durch die Betrachtung von Maximalleistung und Fläche bestätigt. Eine solche Nutzung ist unrealistisch, da beispielsweise auf landwirtschaftlichen Flächen Konflikte mit der Lebensmittelproduktion entstehen können. Zudem existiert zwischen diesen Wärmequellen eine Flächenkonkurrenz, was besonders bei der Betrachtung der Ergebnisse in einem größeren Maßstab, wie in Abbildung 6 gezeigt, evident wird.

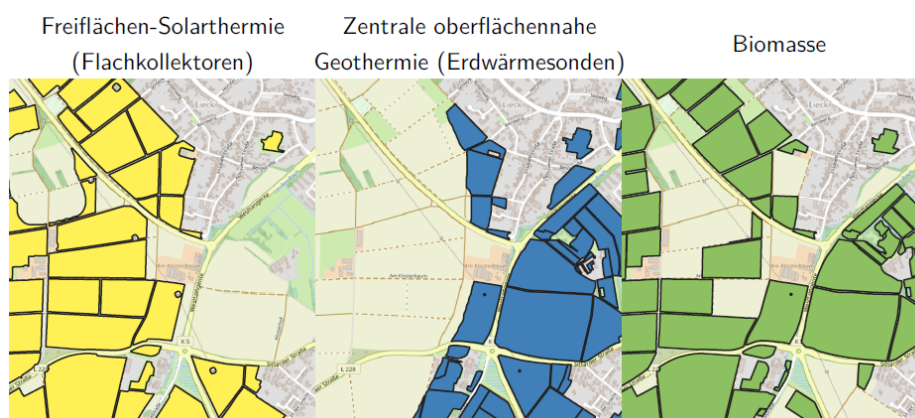


Abbildung 6: Vergleich der Potenziale von Freiflächen-Solarthermie (Flachkollektoren), zentraler oberflächennaher Geothermie (Erdwärmesonden) und Biomasse (Maßstab 1:50000)

Zusammenfassung

Die Wärmewende stellt einen wesentlichen Schritt zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Deutschland dar, um das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 zu erreichen. Zentrale Maßnahmen umfassen den fokussierten Ausbau erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung sowie die Steigerung der Energieeffizienz. Kommunen spielen aufgrund ihrer gesetzlichen Verpflichtung zur Erstellung kommunaler Wärmepläne eine zentrale Rolle in diesem Prozess. Ein Kernaspekt hierbei ist die Analyse des Potenzials erneuerbarer Wärmequellen.

In dieser Arbeit wurde, basierend auf technischen und regulatorischen Voraussetzungen sowie charakteristischen Eigenschaften erneuerbarer Wärmequellen, ein modulares Verfahren zur georeferenzierten Identifikation von Potenzialflächen entwickelt. Die Potenzialanalyse folgt einem standardisierten Ansatz zur Identifikation der Potenzialflächen. Zunächst werden potenzielle Flächen, basierend auf ihrer aktuellen Nutzung, ermittelt. Diese werden dann mit Schutzgebieten überlagert und Auswahlkriterien angewendet. Für die daraus resultierenden Potenzialflächen werden anschließend

Energie- und Leistungserträge berechnet. Die praktische Anwendung des Verfahrens wird anhand einer exemplarischen kleinen Mittelstadt in NRW demonstriert. Für alle untersuchten Wärmequellen lassen sich technische Potenziale feststellen, die jedoch unterschiedlich umfangreich sind und verschiedene Schwerpunkte aufweisen. Während die Jahresenergiemengen der Potenziale von Freiflächen-Solarthermie und zentraler oberflächennaher Geothermie den Wärmebedarf der Gebäude in den für ein Wärmenetz geeigneten Gebieten bei Weitem überschreiten, sind die Potenziale von Biomasse und tiefer Geothermie für eine vollständige Bedarfsdeckung nicht ausreichend.

Zur Auswahl von geeigneten Wärmequellen wird im nächsten Schritt eine differenzierte Kostenabschätzung je Quelle über dessen Investition, Betriebskosten sowie der notwendigen Leitungskosten zum Transporter der Wärme durchgeführt.

Referenzen

- [1] Bundesregierung: Entwurf eines Gesetzes für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze: Gesetzesentwurf der Bundesregierung, 2023
- [2] Bundesregierung: Gesetz für Erneuerbares Heizen: Für mehr klimafreundliche Heizungen, URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/neuesgebaeudeenergiegesetz-2184942> (Aufgerufen 12.11.2023)
- [3] Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH; Öko-Institut e.V.: Klimaneutrale Wärme München 2035: Mögliche Lösungspfade für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in der Landeshauptstadt München, 2021
- [4] KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Kommunale Wärmeplanung: Handlungsleitfaden, 2020
- [5] Grünwald, R.; et. Al.: Regenerative Energieträger zur Sicherung der Grundlast in der Stromversorgung: Endbericht zum Monitoring. 2012.
- [6] Danish Energy Agency; Energinet: Technology Data - Energy Plants for Electricity and District heating generation. 2020.
- [7] Rutz, D.; Doczekal, C.; Zweiler, R. u. a.: Modulare, erneuerbare Nahwärme- und Kältenetze. 2017.
- [8] KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH: Technikkatalog Kommunale Wärmeplanung: Version 1.0. 2022.
- [9] OpenStreetMap: OpenStreetMap Deutschland, URL: <https://www.openstreetmap.de> (Aufgerufen 12.11.2023)
- [10] Ministerium für Heimat, Kommunales, Bau und Digitalisierung des Landes Nordrhein-Westfalen: ALKIS NW Grundrissdaten. URL: <https://open.nrw/dataset/407373a2-422c-469c-a7e9-06a62b4d7d9a> (Aufgerufen 12.11.2023)
- [11] Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen: OpenGeodata. NRW. URL: <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/> (Aufgerufen 12.11.2023)
- [12] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 2 - Solarenergie: LANUV Fachbericht 40. 2013.
- [13] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 3 - Biomasse-Energie: LANUV Fachbericht 40. 2014.
- [14] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 4 - Geothermie: LANUV Fachbericht 40. 2015.
- [15] Landesforschungszentrum Geothermie: Tiefe Geothermie: Ein Handlungsleitfaden. 2023.
- [16] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: FFH-Richtlinie. 2023. URL: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/ffh-richtlinie> (besucht am 12.09.2023).
- [17] Bundesamt für Naturschutz: Übereinkommen über Feuchtgebiete (Ramsar Konvention, 1971). 2023. URL: <https://www.bfn.de/abkommen-richtlinie/uebereinkommen-ueber-feuchtgebiete-ramsar-konvention-1971> (besucht am 12.09.2023).
- [18] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Schutzwürdige Biotope in Nordrhein-Westfalen: Einleitung. 2013. URL: <https://bk.naturschutzinformationen.nrw.de/bk/de/einleitung> (besucht am 03.10.2023)
- [19] Stadt Heinsberg Auswertung aus dem Melderegister der Stadt Heinsberg: Meldebevölkerung zum 01.01.2023. 2023. URL: <https://www.heinsberg.de/stadt-heinsberg/wirtschaft/zahlen-daten-fakten/kopie-von-01.01.2023-einwohnerstatistik-nach-stadtbezirken.pdf?cid=q9a>.