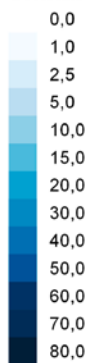


Ausbau der Tiefengeothermie in Bayern: Optimierung durch Wärmeverbundleitungen

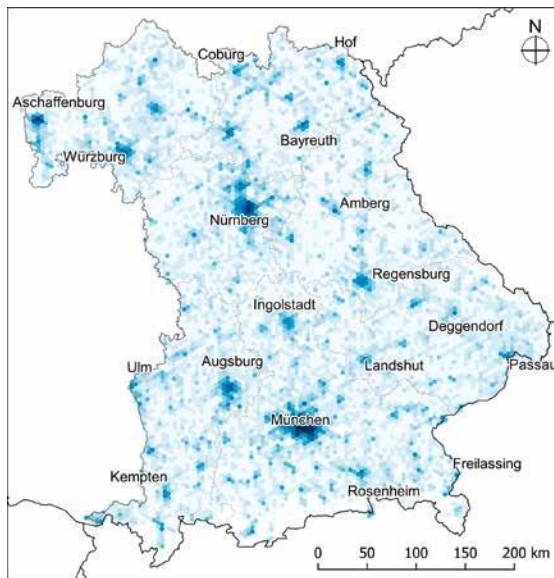
TEXT: Markus Loewer, Maximilian Keim, Anahi Molar-Cruz, Christopher Schifflechner, Kai Zosseder, Michael Drews

Wärmenachfragedichte

GWh/km²

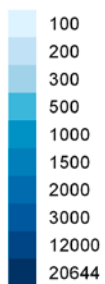


Regierungsbezirk



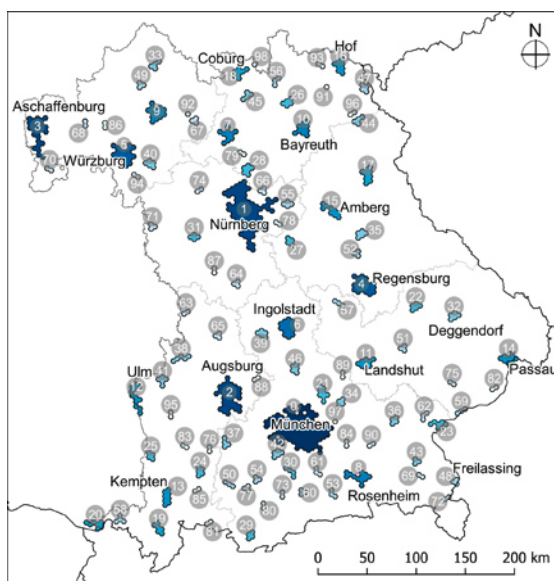
Wärmenachfrage

GWh/a



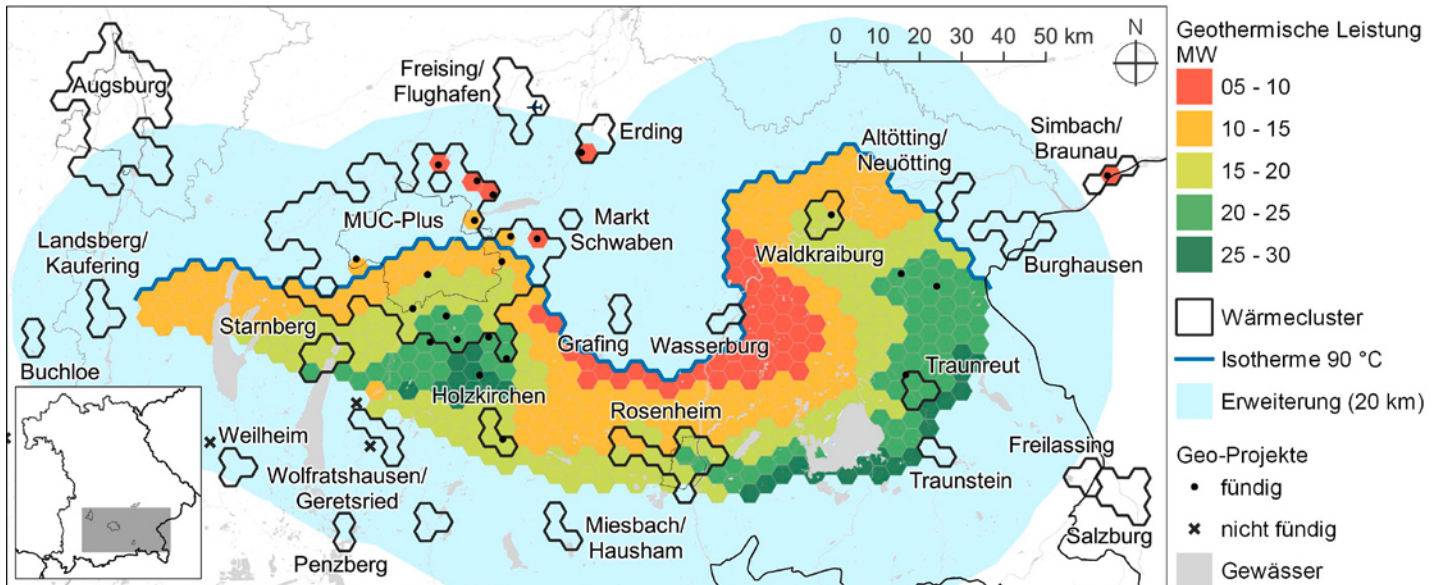
Regierungsbezirk

⊗ Kennnummer



Als Reaktion auf die Klimaforschungsergebnisse wird vermehrt ein Fokus auf dekarbonisierte Fernwärme gelegt [1-3]. Das Gutachten zum Masterplan Geothermie Bayern, welches im Auftrag des Bayerischen Ministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie bearbeitet wurde, geht den Fragen nach, in wieweit Tiefengeothermie zur klimaneutralen Wärmeversorgung in Bayern beitragen kann. Da Wärmequellen und Wärmesenken oft räumlich auseinanderliegen, soll im Gutachten geklärt werden, wie das vorhandene geothermische Potential durch Verbundleitungen technoökonomisch optimal ausgeschöpft werden kann. Zur Beantwortung wurde dabei zunächst das geothermische Potential berechnet und mit den Bedarfsregionen für die Fernwärmeversorgung abgeglichen.

▲ Abb. 1: Wärmenachfragedichte in Bayern (oben) & abgeleitete Wärmecluster die zur Fernwärmeversorgung geeignet sind (unten)



Wärmebedarf

Tiefengeothermie eignet sich insbesondere für die Wärmeversorgung in Ballungszentren, die durch eine hohe Wärmenachfragedichte bei gleichzeitig geringer Flächenverfügbarkeit gekennzeichnet sind (Abb. 1, oben). Städtische Gebiete mit hohen Wärmebedarfsdichten umfassen ca. 38 % der Bevölkerung Bayerns. Gemessen an der Wärmenachfragedichte (Grenzwert: 10 GWh/km²) wurden 99 Wärmecluster identifiziert, in denen Fernwärme eine sinnvolle Versorgungstechnologie darstellt (Abb. 1, unten). Mit 76 TWh beinhalten diese Gebiete knapp 50 % der Wärmenachfrage Bayerns für Raumwärme und Warmwasser [160 TWh] [4].

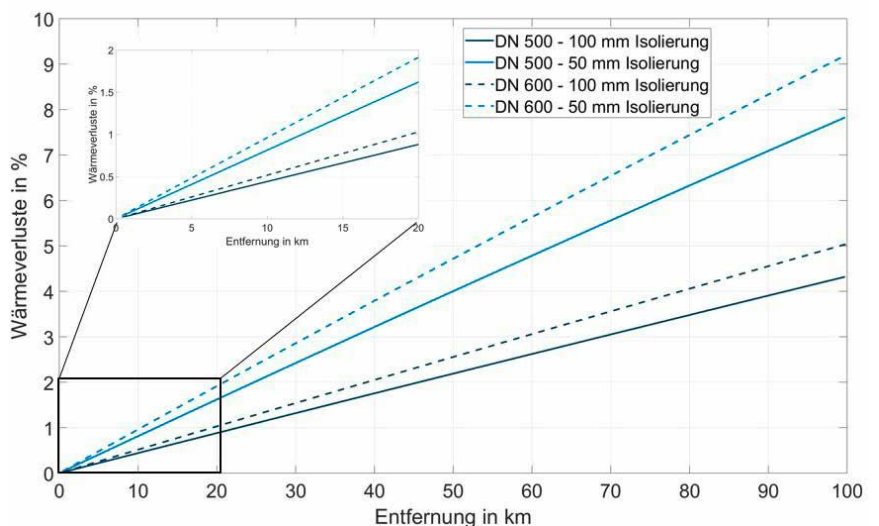
Geothermisches Potential

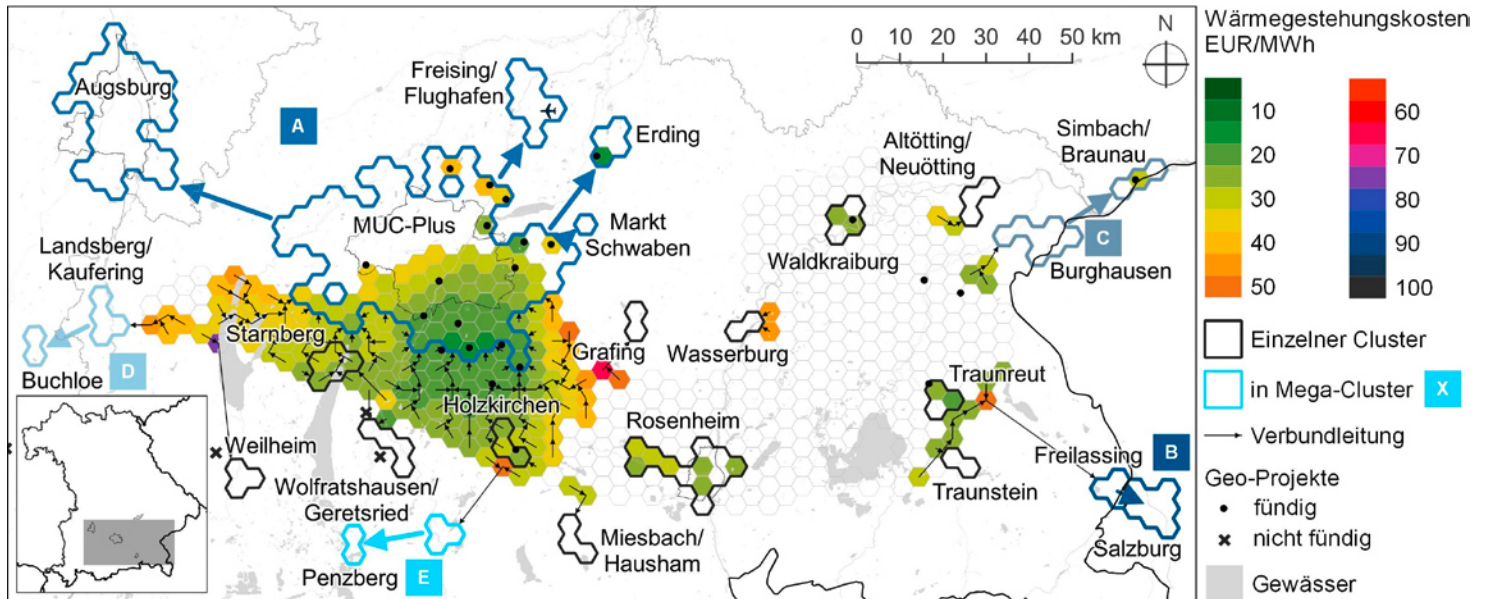
Mit Blick auf das technische Potential gibt es in Bayern regionale Unterschiede: Im Süden von Bayern liegen sehr gute Bedingungen für die Tiefengeothermie vor. In den letzten 20 Jahren wurden hier 29 Geothermieanlagen erfolgreich umgesetzt [4]. Die geothermische Datenlage ist hier im Gegensatz zu Nordbayern vergleichsweise gut, weshalb sich die Berechnung des technischen Potentials auf dieses Gebiet konzentriert. Das untertägige Energieangebot der geothermischen Ressource kann über die Fündigkeit der Bohrung ermittelt werden. Die thermische Leistung, die über die Bohrungen abgerufen werden kann, wird über die Höhe der Förderrate des Thermalwassers (Schüttung) und den Unterschied zwischen Förder- und Injektions-Temperatur, sowie die volumetrische Wärmekapazität berechnet. Die Temperaturkarte und die Schüttungskarte mit Zonierungen unterschiedlicher erwarteter Produktivität wurden basierend auf unterschiedlichen Daten (z. B. Permeabilität & hydraulisches Verhalten bei Pumpversuchen, Porosität aus Kernmessungen und Bohrlochgeophysik, Porendruckmessungen & hydrochemischen Analysen) an den vorhandenen Bohrungen angefertigt [4].

Abb. 2 zeigt das aus den zur Verfügung gestellten Karten berechnete technische Potential im Molassebecken für den Temperaturbereich ab 90 °C. Des Weiteren wird die Region zur Abschätzung des Potentials in Hexagone eingeteilt, welche als minimales Nutzungsfeld einer Dublette definiert werden. Die Mindestanforderung der thermischen Leistung pro Feld beträgt 5 MW_{th}. Die daraus berechnete geothermische Gesamtleistung in allen Hexagonen beträgt 7.655 MW_{th}, was bei 8.000 Volllaststunden ca. 80 % des Wärmebedarfs in allen Wärmeclustern in Bayern (Abb. 1, unten), bzw. dem maximalen technischen Potential entsprechen würde. Zur Hebung dieses Gesamtpotentials wären knapp 500 Förder- und Injektionsbohrungen notwendig. Anzumerken ist, dass die Fündigkeit im Molassebecken hinsichtlich ihrer Prognostizierbarkeit lokal deutliche Unterschiede aufweist. Vergleichsweise gute Fündigkeitsprognosen sind insbesondere in München, südlich von München und in der östlichen Molasse gegeben. Alle übrigen Gebiete wiesen für die Potentialbewertung zu hohe Unsicherheiten auf und wurden daher nicht berücksichtigt.

▲ Abb. 2: Geothermische Potentialkarte mit Wärmeclustern bis zu 20 km entfernt der geothermischen Region

▼ Abb. 3: Prozentuale Wärmeverluste einer Verbundleitung mit 120 °C-60 °C (Vorlauf-Rücklauf) und einer Leistung von 75 MW_{th}





▲ Abb. 4:

Wärmegestehungskosten pro Dublette für die 70%-ige Deckung der Wärmenachfrage von 25 Wärmeclustern inkl. Verbundleitungen

Technische Bewertung von Verbundleitungen

Um das tiefegeothermische Potential optimal zu nutzen, ist die Verbindung zwischen Wärmequellen und Wärmesenken nötig, welche nicht unmittelbar zusammenliegen müssen. Im Gutachten wird beispielsweise mit Verbundleitungen gerechnet, die es ermöglichen würden Wärmecluster außerhalb des geothermischen Potentialgebiets, in 20 km Entfernung, zu versorgen (hellblauer Bereich in Abb. 2). Somit wäre beispielsweise eine Versorgung von Augsburg, Freising oder Salzburg mit höherentemperierter geothermische Fernwärme denkbar.

Für die technische Bewertung der Verbundleitungen ist zunächst die Frage nach den zu erwartenden Wärme- und Druckverlusten zu klären. Abb. 3 zeigt die resultierenden Wärmeverluste nach dem Modell von Kavvadias und Quoilin [5] für eine Vor- und Rücklauftemperatur von 120 °C bzw. 60 °C, für zwei unterschiedliche Rohrdurchmesser und Isolierungsdicken. Die Berechnungen zeigen, dass sich die Fernwärme über längere Strecken mit nur geringen Verlusten transportieren lässt. So beträgt der Wärmeverlust auf 20 km lediglich 2 %. Größere Isolierungsdicken reduzieren die Wärmeverluste weiter, aber erhöhen die Investitionskosten. Für jeden lokalen Anwendungsfall ergibt sich ein individuelles Optimum bezüglich Rohrdurchmesser und Isolierungsdicke.

Technoökonomische Optimierung

Zentral für die Wirtschaftlichkeit von Geothermieanlagen ist ihre Auslastung, d.h. je höher die Volllaststunden der Anlage, desto kleiner sind die Wärmegestehungskosten. Eng damit verbunden ist jedoch die Frage nach der Rolle, die die Tiefengeothermie in Fernwärmesystemen einnehmen soll. Aufgrund des stark unterschiedlichen Wärmebedarfs über das Jahr entsteht eine gegenläufige Bewegung: Bei angestrebter Grundlastdeckung (entspricht ca. 35 % des jähr-

lichen Wärmebedarfs) können Geothermieanlagen ganzjährig Wärme liefern - entsprechend ist die Auslastung der Anlage maximal. Bei Erhöhung des Anteils Geothermie-basierter Fernwärme über die Grundlastdeckung hinaus, nehmen die Volllaststunden jedoch sukzessive ab. Die technoökonomische Optimierung zeigt, dass sich sowohl die Anlagenauslastung als auch der Anteil der Tiefengeothermie zur Wärmeversorgung durch den Verbund von Wärmeclustern bzw. Geothermieanlagen maximieren lässt. Dabei werden die Wärmegestehungskosten aller potentiellen Geothermieprojekte (d.h. Kosten für Bohrungen, Verbundleitungen, Anlagen, Wartungs- & Betriebskosten) analysiert und zur Versorgung der Wärmecluster miteinbezogen. Als Ergebnis erhält man eine Karte mit (kosten) optimalen geothermischen Potentialflächen sowie das kürzeste Verbundleitungsnetz, um den spezifizierten Anteil der Wärmenachfrage in den ausgewählten Wärmeclustern mit den geringstmöglichen Wärmegestehungskosten zu decken. Dabei sei erwähnt, dass sich, trotz wirtschaftlicher Optimierung des Gesamtsystems, die Anfangsinvestitionskosten der einzelnen Geothermieprojekte durch den Bau von Verbundleitungen weiter erhöhen.

Abb. 4 stellt exemplarisch das Ergebnis der Optimierung bei einem angestrebten Anteil der Wärmebedarfsdeckung von 70 % dar. Auffällig ist das hohe Potential im Süden und SSW von München, welches sowohl zur Wärmeversorgung der Stadt, sowie den umliegenden Orten innerhalb des Wärmeclusters, als auch den Wärmeclustern Augsburg, Freising und Erding dienen könnte.

Bei einer angestrebten Grundlastdeckung der Wärmenachfrage über Tiefengeothermie ließen sich fast 2 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr einsparen. Bei angestrebter Abdeckung der Nachfrage von 70 % (Abb. 4) wären bis zu 6 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr an

Dr. Markus Loewer

Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Geothermie-Allianz Bayern an der Technischen Universität München
Kontakt: markus.loewer@tum.de

Dr. Maximilian Keim

Projektleiter der Geothermie-Allianz Bayern an der Technischen Universität München
Kontakt: maximilian.keim@tum.de

Anahi Molar-Cruz, M. Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme an der Technischen Universität München
Kontakt: anahi.molar-cruz@tum.de

Einsparungen möglich. Dabei handelt es sich um Abschätzungen, die in einer zukünftigen Gesamtsystemanalyse genauer betrachtet werden müssen.

Ausbau der Tiefengeothermie

Die Tiefengeothermie ist geprägt durch hohe Anfangsinvestitionskosten und lange Abschreibungen, die für viele Kommunen ein Einstiegs Hindernis darstellen. Der Betrieb von Geothermieanlagen zur Fernwärmeversorgung wird immer dann wirtschaftlich attraktiv, wenn die hohen Investitionskosten durch einen ausreichenden Wärmeverkauf ausgeglichen werden können. Kommunenübergreifende Verbundleitungen zum Transport geothermischer Fernwärme in Nachbargemeinden stellen eine technische Lösung dar, die Wärmeabnahme zu vergrößern. Jedoch stehen momentan keine gleichwertigen Fördermechanismen zur Verfügung, wie es sie für die Wärmeproduktion und -versorgung vor Ort gibt. Die Technologie wird für Kommunen oder Investoren dann wirtschaftlich attraktiv, wenn die Anfangskosten insbesondere für Bohrung, Netzausbau oder Verbundleitungen geringer werden und gesellschaftlich mitgetragen werden können. ♦

Quellen:

[1] BMWi (2020): Entwurf des integrierten nationalen Energie- und Klimaplanes, S.34.

[2] MTES (2019): Projet pour consultation - programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 et 2024-2028, S. 17 und 184.

[3] KliK (2020): Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation, Das Programm Wärmeverbünde.

[4] Keim, M., Hamacher, T., Loewer, M., Molar-Cruz, A., Schiffler, C., Ferrand, T., Wieland, C., Drews, M., Zosseder, K., Bauer, W., Bohnsack, D., Heine, F., Konrad, F., Pfrang, D. & Schölderle, F. (2020): Bewertung Masterplan Geothermie Bayern, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, 2020 unveröffentlicht (Stand August 2020).

[5] Kavvadias und Quoilin (2018): Exploiting waste heat potential by long distance heat transmission: Design considerations and techno-economic assessment, Applied Energy, vol. 216, pp.452-465.

Christopher Schiffler,
M. Sc.

Wissenschaftlicher
Mitarbeiter am Lehrstuhl für
Energiesysteme an der
Technischen Universität
München

Kontakt:
c.schiffler@tum.de

Dr. Kai Zosseder

Leiter der Arbeitsgruppe für
Geothermische Energie am
Lehrstuhl für Hydrogeologie
an der Technischen
Universität München

Kontakt:
kai.zosseder@tum.de

Prof. Dr. Michael Drews

Professur für Geothermal
Technologies an der
Technischen Universität
München

Kontakt:
michael.c.drews@tum.de

storengy

IHR PARTNER FÜR INNOVATIVE GEOTHERMIELÖSUNGEN

Storengy, eine Gesellschaft der ENGIE-Gruppe, ist weltweit führend in der unterirdischen Speicherung von Erdgas und versteht sich als Vorreiter in der Entwicklung geothermischer Energie.

Interdisziplinäres Know-how, geowissenschaftliche Expertise sowie Erfahrung in der ganzheitlichen Entwicklung von Geothermieprojekten weltweit machen Storengy zu einem verlässlichen Partner für Ihr Geothermievorhaben. Storengy bietet Lösungen für Wärme- und Kälteerzeugung auf Basis von oberflächennaher und tiefer Geothermie. Als innovativer Partner für eine neue Welt der Energie leistet Storengy einen Beitrag zur Entwicklung nachhaltiger Städte, Quartiere und Gebäude.

Die ENGIE-Gruppe ist an zahlreichen Projekten weltweit beteiligt und dehnt ihre Geothermieaktivitäten derzeit verstärkt in Deutschland aus.



www.storengy.de

A company of ENGIE