

## Zusammenfassung

### Ausbau der Tiefengeothermie in Bayern: Optimierung durch Wärmeverbundleitungen

Rund 30 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen Bayerns entfallen auf den Gebäudesektor, wovon der überwiegende Anteil der Emissionen auf die Bereitstellung von Wärme zurückzuführen ist. Um klimaneutral zu werden, muss die Wärmebereitstellung durch erneuerbare Energien massiv ausgebaut werden, da der aktuelle Anteil in diesem Sektor bei nur etwa 15 % liegt. In einer Analyse der Geothermie-Allianz Bayern, die die Optimierung des geothermischen Potentials durch Wärmeverbundleitungen adressiert, wurde nun untersucht, in wieweit Tiefengeothermie zur Transformation des Wärmesektors in Bayern beitragen kann.

### Kurzzusammenfassung

Einer Potentialanalyse der Geothermie-Allianz Bayern zufolge könnten rund 40 % des Wärmebedarfs in Bayern mittels Tiefengeothermie gedeckt werden. Dabei liegen jedoch die Regionen mit dem größten geothermischen Potential häufig räumlich von den größten Wärmesenken (Ballungsgebiete) getrennt. Dies legt den Bau von Verbundleitungen nahe, um diese Diskrepanz auszugleichen. Die Potentialanalyse zeigt, dass durch Verbundleitungen das geothermische Potential technoökonomisch optimal ausgeschöpft werden kann und die Wärmegestehungskosten für die geothermische Nutzung insgesamt sinken. Darüber hinaus wird die Ausfallsicherheit der einzelnen Anlagen im Verbund erhöht (Redundanz) und die (fossile) Spitzenlast gesenkt. Der Bau von Verbundleitungen ist besonders geprägt durch die a priori hohen Investitionskosten und ist damit ein Hemmnis für den verstärkten Ausbau. Eine strategische Förderung des Verbundleitungsbaus insbesondere für kommunale Projekte könnte dieses Hemmnis abbauen.

### Wärmebedarf und tiefengeothermisches Potential

Tiefengeothermie eignet sich insbesondere für die Wärmeversorgung über Fernwärmenetze in Ballungszentren, die durch eine hohe Wärmenachfragedichte bei gleichzeitig geringer Flächenverfügbarkeit gekennzeichnet sind. Die in dieser Studie berechnete jährliche Nachfrage für Raumwärme und Warmwasser in Bayern beträgt knapp 160 TWh (ohne Industriewärme). Weiterhin wurden rund 100 Fernwärmebedarfsgebiete identifiziert, in denen Fernwärme eine sinnvolle Versorgungstechnologie darstellt (vgl. Abbildung 1). Mit 76 TWh beinhalten diese Gebiete knapp 50 % der Wärmenachfrage Bayerns. Die direkte Verwendung erneuerbarer Energien in Fernwärmenetzen macht bislang jedoch nur ca. 8 % aus: Dies garantiert für die Dekarbonisierung ein entsprechend hohes Ausbaupotential, selbst wenn man lediglich die Bestandsnetze betrachtet.

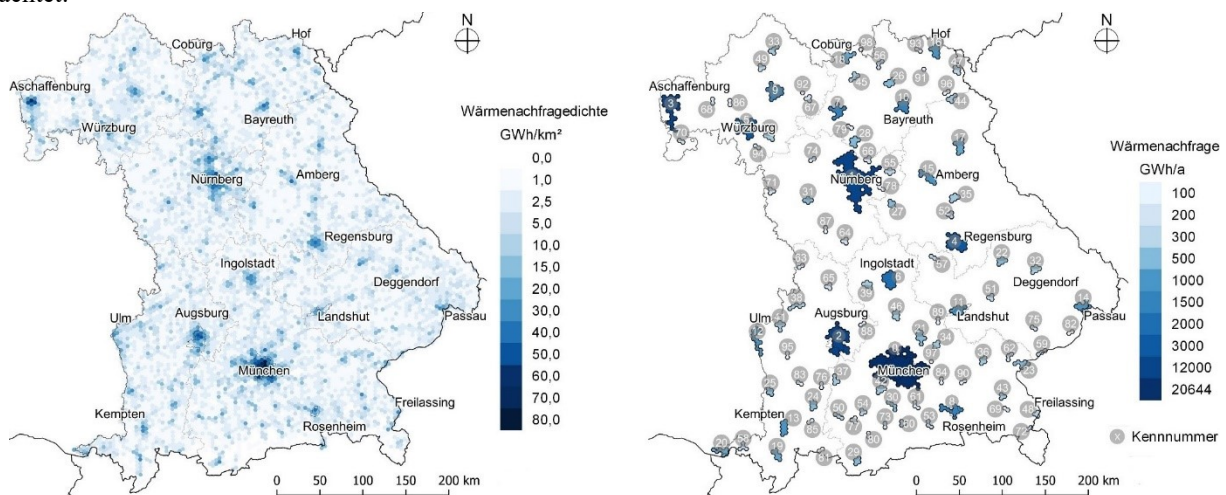


Abbildung 1: Wärmenachfragedichte in Bayern (links) & abgeleitete Wärmecluster die aufgrund ihrer Abnehmerdichte zur Fernwärmeversorgung geeignet sind (rechts).

Im Süden von Bayern (Bayerisches Molassebecken) liegen im Untergrund außerordentlich gute Bedingungen für die Tiefengeothermie vor. In den letzten 20 Jahren wurden hier 25 Geothermieprojekte erfolgreich umgesetzt, die größtenteils Wärme in Fernwärmenetze einspeisen. Das in dieser Studie berechnete technische Potential für Tiefengeothermie entspricht allein im Bayerischen Molassebecken 40 % (7.655 MW<sub>th</sub>) des Wärmebedarfs Bayerns (vgl. Abbildung 2). Zur Hebung des gesamten technischen Potentials in diesem Bilanzraum wären theoretisch knapp je 500 Förder- und Injektionsbohrungen (Dubletten) notwendig.

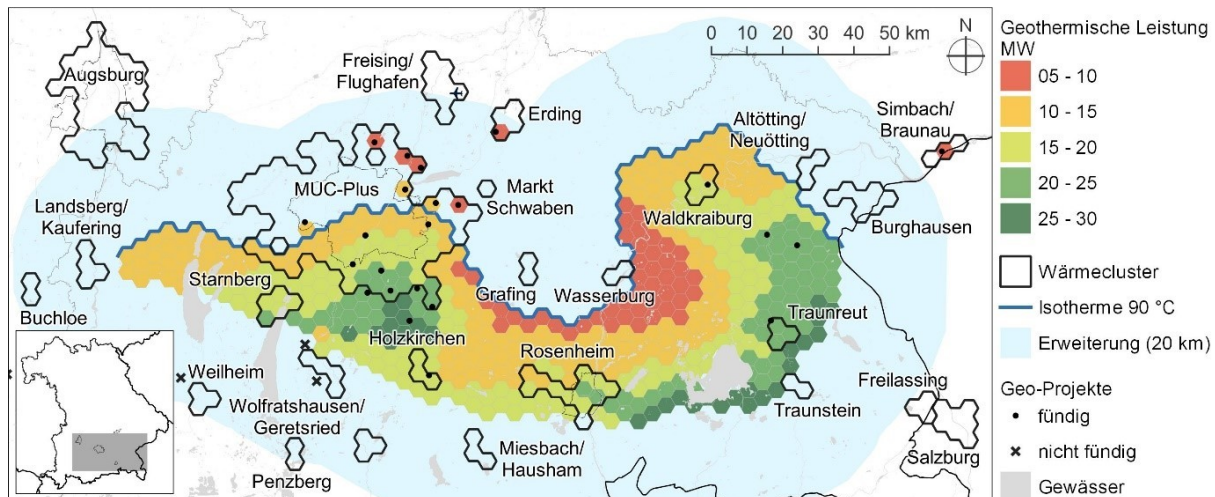


Abbildung. 2: Geothermische Potentialkarte mit Wärmeclustern (in schwarz umrandet), die bis zu 20 km entfernt von der für Tiefengeothermie besonders geeigneten Region liegen. Das Potenzialgebiet wird nach Norden durch geringere vorhandene Fördertemperaturen ( $< 80^{\circ}\text{C}$ ) begrenzt. Jedes farbige Hexagon stellt eine Dublette dar und umfasst die Fläche von  $7\text{ km}^2$ .

## Mehrwert von Verbundleitungen zwischen Geothermieprojekten in Südbayern

Um das tiefengeothermische Potential optimal zu nutzen, ist der Bau von Verbundleitungen notwendig. Diese ermöglichen u. a. die Versorgung von Fernwärmebedarfsgebieten mit geothermischer Wärme, die außerhalb des Gebiets mit hohem geothermischem Potential liegen (siehe z. B. Augsburg oder Salzburg), aber auch die optimierte Wärmeausschöpfung innerhalb des Potentialgebiets (z. B. Süden von München oder Osten von Rosenheim). Durch den Bau größerer Verbundleitungen erhöht sich zudem die geförderte geothermische Energiemenge für jedes Projekt und folglich ihr Anteil an der Wärmeversorgung. Optimierungsberechnungen zeigen, dass bei angestrebter Grundlastdeckung durch den Verbundleitungsbau eine Steigerung der geförderten Energiemenge um ein Drittel möglich ist, während die jährlichen Projektkosten nur um 11 % steigen. Somit stellen die Verbundleitungen aus technologischer, ökonomischer und ökologischer Perspektive eine attraktive Möglichkeit dar, die hohe Einsatzfähigkeit der Tiefengeothermie optimal auszunutzen. Die Berechnungen zeigen zudem, dass sich die Fernwärme über längere Strecken mit nur geringen Verlusten transportieren lässt (etwa 2 % Wärmeverlust auf 20 km). Durch den Verbund einzelner Geothermieanlagen und Fernwärmenetze lassen sich die Volllaststunden steigern und zeitgleich die Spitzenlastzeugung bei allen Anlagen verringern und Redundanz schaffen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn eine Anlage im Verbund eine höhere geothermische Leistung besitzt, als zur Abdeckung der lokalen Spitzenlast notwendig ist. Damit können Verbundleitungen auch außerhalb von großen Wärmeclustern attraktive Vorteile mit sich bringen. Sowohl die Effizienz der Fernwärmeversorgung, als auch jeder einzelnen Geothermieanlage lässt sich durch den Verbund optimieren: Dadurch vergrößert sich das Verhältnis von geothermischer Energieausbeute zu Wärmegestehungskosten. Bei einer angestrebten Grundlastdeckung der Wärmenachfrage über Tiefengeothermie lassen sich fast zwei Millionen Tonnen  $\text{CO}_2$ -Äquivalent pro Jahr einsparen. Bei angestrebter Abdeckung der Wärmenachfrage von 70 % der für Fernwärme geeigneten Gebiete, die maximal 20 km vom Gebiet des technischen Potentials entfernt sind (Wärmecluster in Abbildung 2), würden etwa 200 Dubletten benötigt. Dabei wären bis zu 6 Millionen Tonnen  $\text{CO}_2$ -Äquivalent pro Jahr an Einsparungen möglich. Kaskadennutzung in Industrie und Landwirtschaft, der Einsatz von Industriewärmepumpen sowie die Kälteproduktion sind weitere sinnvolle technische Lösungen, um die Auslastung zu erhöhen und zur Wirtschaftlichkeit von Geothermieprojekten beizutragen.

Im Gegensatz zur Tiefengeothermie kann in dünn besiedelten Gebieten, die etwa die Hälfte des gesamten Wärmebedarfs in Bayern ausmachen, die oberflächennahe Geothermie ihre Stärken ausspielen. Sie ist zum allergrößten Teil sowohl in technischer als auch in rechtlicher Hinsicht in ganz Bayern umsetzbar, wodurch sich beide Technologien gut ergänzen.

## Tiefengeothermie in Nordbayern

Um auch das Potential in Nordbayern sowie in geringdurchlässigen Gesteinen des Bayerischen Molassebeckens zu nutzen, muss die Forschung im Bereich von EGS (Enhanced Geothermal Systems) gestärkt werden. Für eine fundierte Abschätzung des tiefengeothermischen Potentials ist noch wissenschaftliche Forschung und Begleitung eines Pilotprojektes erforderlich. Dazu müssen die erforderlichen geologischen Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Nutzung untersucht werden. Um die Tiefengeothermie auch in geringdurchlässigen Gesteinen zu ermöglichen, sind finanzielle Mittel für die Identifikation und Untersuchung von Vorkommen sowie die Durchführung eines wissenschaftlich begleiteten EGS-Pilotprojektes

notwendig. Gelingt es, in Nordbayern ein nutzbares geothermisches Vorkommen nachzuweisen, würde Bayern, neben dem Molassebecken, über eine weitere „world-class“ Ressource verfügen.

### Herausforderungen beim Ausbau der Geothermie

Dem Ausbau der Tiefengeothermie, zu dem auch der Bau von Verbundleitungen gehört, stehen bestimmte Hemmnisse entgegen. Die Technologie ist geprägt durch hohe Anfangsinvestitionskosten und lange Abschreibungen, die für viele Kommunen ein Einstiegshindernis darstellen. Tiefengeothermie wird für Kommunen oder Investoren dann wirtschaftlich attraktiv, wenn die Anfangsinvestitionen, insbesondere für Bohrung, Netzausbau und Verbundleitungen geringer werden und gesellschaftlich mitgetragen werden können. Fernwärmenetze werden dann wirtschaftlich, wenn die hohen Vorlaufkosten für die Installation der Rohrleitungsinfrastruktur durch einen ausreichenden Wärmeverkauf über das Netz ausgeglichen werden können. Für kommunenübergreifende Verbundleitungen zum Transport grüner Fernwärme in die Nachbargemeinde und darüber hinaus stehen momentan jedoch keine gleichwertigen Fördermechanismen zur Verfügung, wie es sie für die Wärmeproduktion und -Versorgung innerhalb des Gemeindegebietes gibt.

Die Fündigkeit weiterer Geothermiebohrungen ist die Grundvoraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg der Tiefengeothermie. Die Prognostizierbarkeit des Fündigkeitsrisikos hängt dabei entscheidend von der Anzahl bereits abgeteufter Bohrungen ab. So lässt sich das Fündigkeitsrisiko im Raum München aufgrund der hohen Dichte an erfolgreichen Projekten als sehr gering einstufen und gut prognostizieren (vgl. Abbildung 3). Südlich von München und im Südosten des Bayerischen Molassebeckens besteht ebenfalls ein geringes Fündigkeitsrisiko, jedoch nimmt dieses nach Süden hin zu und die Prognostizierbarkeit ist aufgrund der geringeren Bohrungsdichte weniger verlässlich. Südwestlich von München ist aufgrund von nicht-fündigen Bohrungen von einem hohen Fündigkeitsrisiko auszugehen (vgl. Abbildung 3). Aufgrund nicht vorhandener Bohrungen in Nordbayern ist hier eine Abschätzung der Fündigkeit bisher nicht möglich.

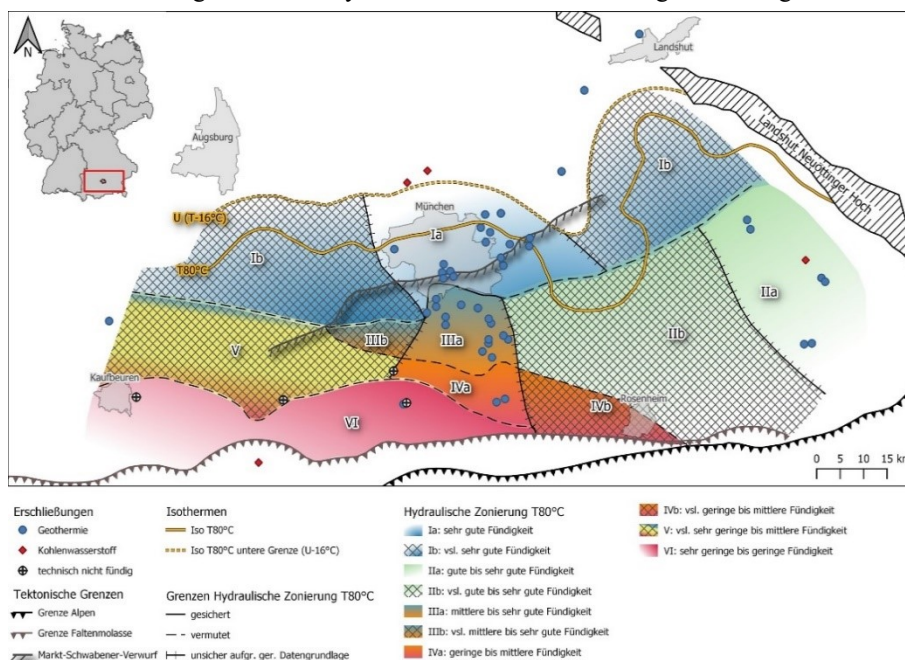


Abbildung 3: Hydraulische Zonierung mit Klassifizierung der Förderraten (Schüttung) im Reservoir für die 90 °C - Isotherme als Gebietsabgrenzung. Die schraffierten Bereiche stellen Gebiete dar, in denen sehr wenige Grundlagendaten für die Interpretation und keine Angaben zu erzielten Schüttungen vorlagen. Für diese Zonen wurden gemäß den verfügbaren Informationen zu den Reservoirbedingungen Schüttungswerte angenommen, die aber mit Unsicherheiten behaftet sind.

### Fazit

Die Tiefengeothermie hat – vor allem im Süden Bayerns – ein außerordentliches Potential. Aufgrund dieses Potentials kann die Tiefengeothermie einen großen Beitrag zur Dekarbonisierung in Fernwärmenetzen und damit zur Wärmewende leisten. Zur optimalen Ausschöpfung des Potentials in Südbayern können Verbundleitungen genutzt werden, die die Wärme von geeigneten Standorten für Tiefengeothermie in die Ballungszentren mit der entsprechenden Wärmenachfrage transportieren. Hier könnte eine strategische Förderung den Ausbau von Verbundleitungen deutlich beschleunigen. Das optimale Ausbauszenario kann in einer detaillierten Ausarbeitung eines Masterplan Geothermie bestimmt und mit wissenschaftlicher Begleitung umgesetzt werden. Für den Norden Bayerns kann die EGS-Technologie eingesetzt werden, deren Einsatz jedoch zuerst die Umsetzung eines wissenschaftlich begleiteten Pilotprojektes erfordert.