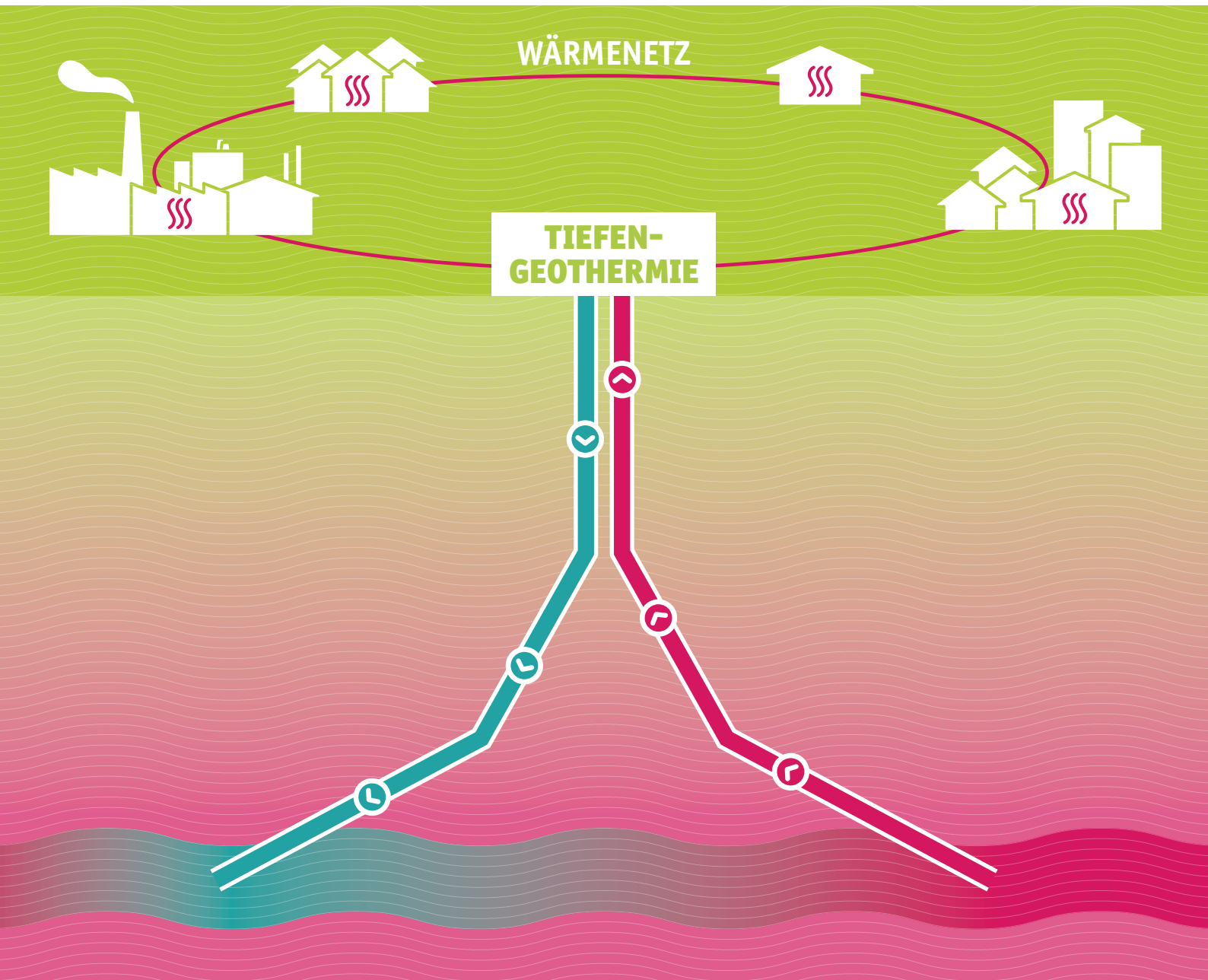




Tiefengeothermie

Die unterschätzte Wärmequelle

Einleitung

Wärmenetze sind eine Schlüsseltechnologie, damit Gebäude zukünftig ohne Öl und Gas beheizt werden können. Der Anteil von Wärmenetzen an der Wärmeversorgung muss dafür laut Wuppertal Institut von heute rund 12 Prozent¹ auf mindestens 30 Prozent bis 2035² steigen.

Wärmenetze können aus verschiedenen klimafreundlichen Wärmequellen gespeist werden. Die Tiefengeothermie ist eine dieser Quellen. Die Technologie ist etabliert und wird in Deutschland schon über Jahrzehnte angewandt. Dennoch wird Tiefengeothermie häufig als Forschungsthema gesehen. Das Potenzial wird nicht annähernd ausgeschöpft. Ende 2023 wurden in Deutschland rund 1,6 TWh Wärme mittels Tiefengeothermie bereitgestellt. Damit ist nur ein winziger Bruchteil des technisch machbaren Potenzials von 300 TWh gehoben.

Auch politisch fristet die Tiefengeothermie in Deutschland ein Schattendasein. Zwar schreiten einige Bundesländer voran und erstellen Pläne für die Geothermie: So befindet sich in Nordrhein-Westfalen ein Masterplan in Ausarbeitung³, Berlin hat eine Roadmap⁴ und das Bayrische Staatsministerium hat ein Gutachten für einen Masterplan Geothermie⁵ erarbeiten lassen. Doch ein bundesweiter Rollout lässt auf sich warten. Aus dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gab es 2022 lediglich „Eckpunkte für eine Erdwärmekampagne“⁶. Eine wirkliche Strategie fehlt bisher.

Die EU wiederum möchte die Geothermie stärken. Im Januar 2024 hat das Europäische Parlament eine Entschließung angenommen, in der eine europäische Strategie zur Beschleunigung des Einsatzes geothermischer Energie gefordert wird. Ein Grund mehr, sich auch auf bundespolitischer Ebene mit einer Strategie zum Ausbau der Geothermie auseinanderzusetzen.

Unsere Forderungen

Die Tiefengeothermie ist eine erneuerbare Wärmequelle, deren Potenzial in Deutschland deutlich unterschätzt wird. Um es zu heben, bedarf es politischer Maßnahmen.

1. Die Bundesregierung muss noch 2024 eine **Geothermie-Strategie** vorlegen. Aufbauend auf dem Eckpunktepapier und analog zur Wind- oder Solarstrategie muss auch für die Tiefengeothermie eine konkrete Strategie inklusive Ausbaupfad erarbeitet werden.
2. **Ziel-Anhebung:** Das Ziel der Bundesregierung für die Tiefengeothermie ist mit 10 TWh bis 2030 viel zu niedrig und muss für 2030 auf mindestens **100 TWh** angehoben werden. Bis 2040 könnten es sogar 300 TWh Wärme bei einer installierten Leistung von 72 GW werden – was einem Viertel des deutschen Wärmebedarfs entspricht. (Siehe Kap. 4)
3. Als Technologie sollte aktuell **ausschließlich die hydrothermale Geothermie** zur Anwendung kommen. Die sogenannte petrothermale Geothermie ist hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen noch nicht ausreichend erforscht. (Siehe Kap. 1)
4. Energie aus Tiefengeothermie sollte **vorrangig für die Wärmeversorgung** genutzt werden. Für die Stromerzeugung gibt es bessere erneuerbare Alternativen. (Siehe Kap. 1)
5. **Förderprogramme** für Wärme aus Tiefengeothermie müssen erhöht werden. Für die Erschließung von 300 TWh bis spätestens 2045 braucht es einschließlich des Ausbaus der Fernwärmenetze jährlich bis zu 9 Mrd. Euro. Durch den Abbau bestehender klimaschädlicher Subventionen könnten Gelder dafür freigesetzt werden. (Siehe Kap. 5)
6. Instrumente für die **Absicherung des Fündigkeitsrisikos** müssen bereitgestellt werden. Die vergleichsweise risikoreiche Anfangsphase könnte zum Beispiel durch einen staatlichen Risikofond abgesichert werden. (Siehe Kap. 6)
7. Der **Zugang zu geologischen Daten** muss erleichtert und bundesweit vereinheitlicht werden. In einer bundesweiten Datenbank müssen standortbezogen und für verschiedene Tiefen Daten zur hydrothermalen Geothermie wie Temperatur, Fließrate und hydraulischer Widerstand bereitgestellt werden, die leicht abrufbar sind. Aktuell gibt es in den Bundesländern unterschiedliche Datenbanken. (Siehe Kap. 6)
8. **Genehmigungshemmnisse** für Geothermie-Anlagen müssen abgebaut werden. So muss zum Beispiel das Bundesberggesetz angepasst werden. (Siehe Kap. 6)
9. Eine **Informationskampagne des Bundes** muss Länder und Kommunen beim Ausbau der Tiefengeothermie unterstützen. Die kommunale Wärmeplanung ist eine Riesenchance für die Tiefengeothermie. Vor Ort fehlt es jedoch häufig an notwendigem Wissen und Ressourcen, um diese Schlüsseltechnologie für die Wärmewende zu nutzen. Die Entscheidung für die Tiefengeothermie muss durch kundige Ansprechpartner:innen sowie Planungs- und Argumentationshilfen verbessert werden.

1 Tiefengeothermie – zuverlässige Wärme aus dem Untergrund

Geothermie ist die in der Erdkruste gespeicherte Wärmeenergie. Sie wird auch Erdwärme genannt. Über Bohrungen kann diese Wärme genutzt werden, zum Beispiel zum Heizen. Bei hohen Temperaturen besteht auch die Möglichkeit, Strom zu erzeugen. Erdwärme ist klimafreundlich, da keine Verbrennungsprozesse notwendig sind. Sie ist eine erneuerbare Energie und geeignet, fossile Energieträger zu ersetzen.

Als Faustregel kann man davon ausgehen, dass die Temperatur pro Kilometer Tiefe um rund 35 bis 40 Kelvin ansteigt. In 3.000 m Tiefe können Temperaturen um 100 °C erreicht werden.

Je nachdem, aus welcher Tiefe die Wärme gewonnen wird, kann in folgende geothermische Systeme unterschieden werden⁷ (siehe auch Abbildung 1):

Oberflächennahe Geothermie

Oberflächennahe Geothermie: Bohrtiefen bis 400 m. Zum Entzug der Erdwärme werden dabei bspw. Erdwärmesonden oder -kollektoren benutzt.

Tiefengeothermie

Mitteltiefe Geothermie: Bohrtiefen von 400 bis 1.500 m. Zum Entzug der Erdwärme werden vor allem Erdwärmesonden genutzt. Auch hydrothermale Systeme sind möglich.

Tiefe Geothermie: Bohrtiefen ab 1.500 m. Die Erdwärme wird mittels hydrothormaler oder petrothormaler Technologie gewonnen.

Falls die Temperatur in der erbohrten Tiefe für die Nutzung nicht ausreicht, kann die entnommene Wärme mittels Wärmepumpen noch auf ein höheres Temperaturniveau angehoben werden.

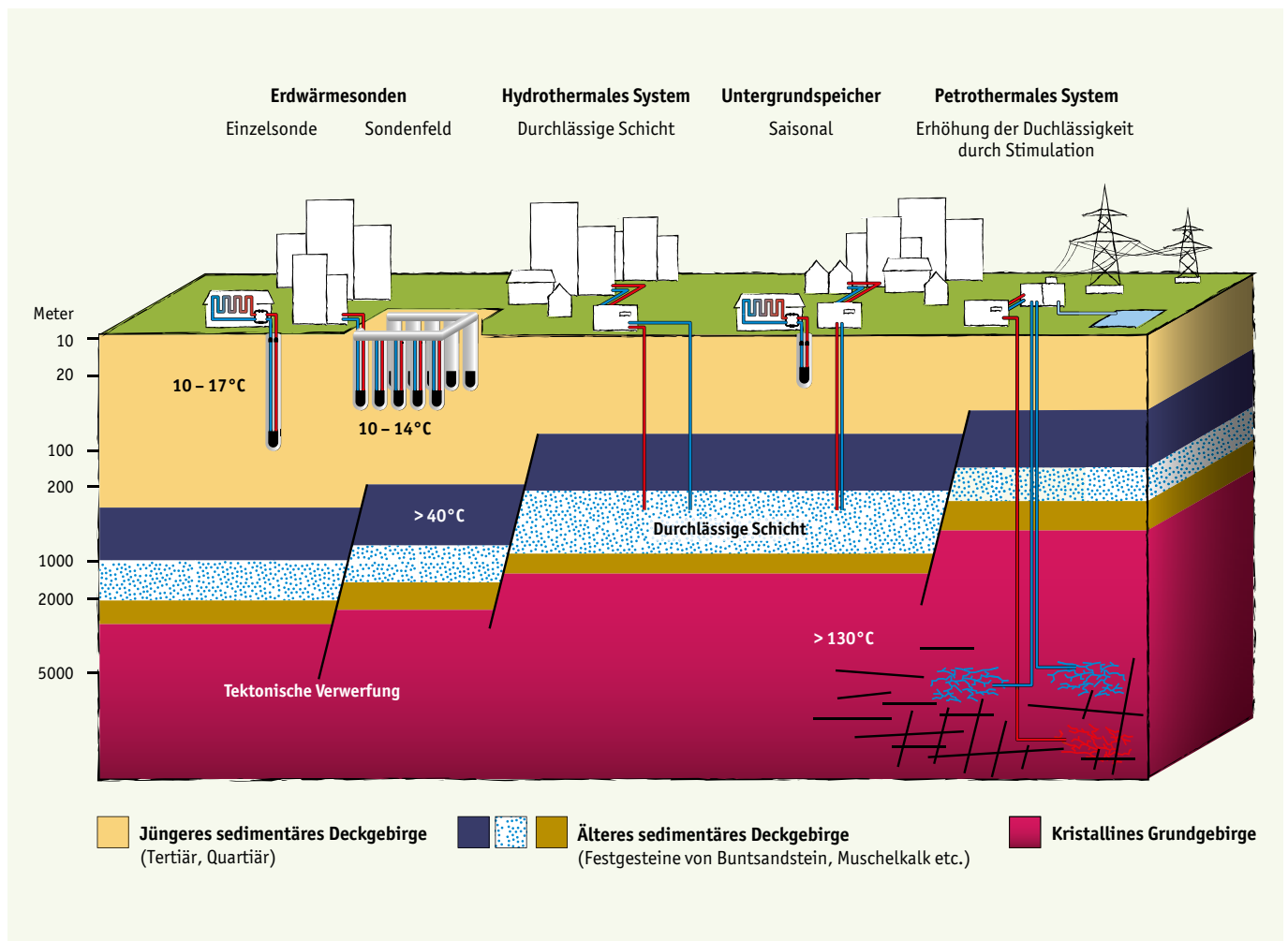


Abb. 1: Darstellung von Nutzungssystemen der Geothermie

(Quelle: Landesforschungszentrum Geothermie 2022: Fragen und Antworten zur Tiefen Geothermie, S.10)

Bei der hydrothermalen Tiefengeothermie wird warmes bzw. heißes Tiefenwasser durch eine Bohrung aus dem Untergrund zur Erdoberfläche hochgepumpt. Dem Tiefenwasser wird seine Wärmeenergie über Wärmeüberträger entnommen. Danach fließt das abgekühlte Tiefenwasser durch eine zweite Bohrung vorzugsweise in die gleiche Untergrundschiefer zurück, samt gelöster Bestandteile. Voraussetzung sind durchlässige Gesteinsschichten, aus denen ausreichende Mengen Tiefenwasser gefördert werden können.

Die petrothermale Tiefengeothermie wird bei Gesteinsschichten genutzt, die nur wenig durchlässig sind und nicht ausreichend Wasser führen. Hier wird durch hydraulische und chemische Stimulation im Untergrund zunächst ein künstliches Kluftsystem geschaffen. Danach wird Wasser von der Erdoberfläche durch eine Bohrung in diese Klüfte und Risse gepumpt. Dieses Wasser erhitzt sich durch das umgebende heiße Tiefengestein. Dann wird das erhitzte Wasser durch eine zweite Bohrung hochgepumpt und seine Wärmeenergie über einen Wärmetauscher entnommen. Das abgekühlte Oberflächenwasser wird zurück in den Untergrund gepumpt, sodass bestenfalls ein Wasserkreislauf entstehen kann.

Als neue Technologie werden aktuell auch sogenannte Closed-Loop-Systeme erprobt⁸. Hierbei wird kein Tiefenwasser gefördert. Die Wärme wird über ein Wärmemedium aufgenommen, das in einem geschlossenen Rohrkreislauf fließt. Diese Technologie ist noch nicht marktreif, hätte aber den Vorteil, dass kein Tiefenwasser an die Oberfläche geholt werden muss. Die Erprobung muss unter anderem zeigen, ob der Wärmenachschub im Untergrund ausreichend für einen dauerhaften Betrieb ist.

Neben der Entnahme von natürlicher Erdwärme, können die tiefen Gesteinsschichten auch als (saisonale) Wärmespeicher genutzt werden – so kann zum Beispiel Überschusswärme aus Freiflächen-Solarthermieanlagen eingespeichert und im Winter entnommen werden.

Die Wärme aus dem tiefen Untergrund lässt sich am besten in Wärmenetzen nutzen. Geothermisch erhitztes Wasser wird dabei über Rohre in die angeschlossenen Gebäude und Gewerbebetriebe geleitet und dort zum Heizen oder für Prozesse genutzt. Tiefengeothermie-Anlagen haben den Vorteil, dass sie **ganzjährig erneuerbare Wärme zur Verfügung** stellen und so auch im Winter rund um die Uhr grüne Fernwärmenetze bedienen können. Allenfalls für sehr kalte Tage kann eine zusätzliche Wärmequelle notwendig sein. Ein Vorteil ist zudem, dass die **Energieversorgung regional organisiert** wird – dies reduziert die Abhängigkeit vom Import fossiler Energieträger und erhöht die Versorgungssicherheit.

Bei Wassertemperaturen ab 180°C ist auch die Stromerzeugung mittels Erdwärme möglich. Solche Temperaturen werden bei den bisherigen Bohrtiefen in Deutschland jedoch kaum erreicht. Unter 180°C kann durch spezielle technologische Verfahren, wie dem *Organic Rankine Cycle* (ORC)⁹ oder dem *Kalinaprozess*¹⁰ eine Stromerzeugung ermöglicht werden. Der Wirkungsgrad ist aber relativ gering. Die

Stromerzeugung mit PV- und Windenergieanlagen ist im Vergleich viel effizienter. Daher sollte die **Nutzung von Tiefengeothermie in Deutschland auf den Wärmesektor** fokussiert werden. Die geothermische Wärme kann sowohl für Raumwärme und Warmwasser als auch im Industriesektor als industrielle Prozesswärme genutzt werden.

2 Hydrothermale Tiefengeothermie: sauber und sicher

Hydrothermale Tiefengeothermie ist eine langjährig erprobte Technologie mit vertretbaren Eingriffen in den Untergrund. Petrothermale Systeme befinden sich hingegen im Pilotstadium und sollten weiter erforscht werden, bevor über eine breite Anwendung entschieden wird. Aktuell ist die hydrothermale Technologie das Mittel der Wahl. Neben der Klimafreundlichkeit hat diese Technologie folgende Vorteile¹¹:

- » Es gibt **keine Umwandlungsverluste**, da Energie nicht umgewandelt, sondern nur übertragen werden muss.
- » Der **Flächenbedarf ist gering**. Sie kann in dichten urbanen Räumen Platz finden. Es müssen keine fossilen Energieträger (z.B. Kohle) ausgebeutet oder andere flächenintensive Ressourcen (z.B. Maiskulturen für Biogas) angebaut werden.
- » Lediglich beim Bau von Tiefengeothermie-Anlagen werden Ressourcen gebraucht – der sonstige Betrieb ist als **ressourcenarm** einzustufen. Das Tiefenwasser befindet sich in einem Kreislauf. Allenfalls der in Fälen hohe Gehalt an Salzen und Schwermetallen im Tiefenwasser kann technische Probleme mit Korrosion oder Verstopfungen verursachen.
- » Da aus dem Erdinneren ausreichend Wärme nachgeliefert wird, können tiefengeothermische Lagerstätten nachhaltig und **lange genutzt werden**. Das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) geht von 30 Jahren aus, wobei heute bereits Anlagen existieren, die hydrothermale Lagerstätten seit mehr als 30 Jahren nutzen, z.B. in Paris.
- » Tiefengeothermie-Anlagen haben nur einen **geringen Ausstoß von Luftschadstoffen**.

Die Umwelt- und Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit tiefer hydrothermalen Geothermie sind gering und die Auswirkungen beherrschbar. Der Nutzen hydrothermalen Anlagen überwiegt deutlich.

Um das Grundwasser vor Verunreinigung zu schützen, muss die Bohrung gut abgedichtet werden, damit kein Kontakt zu Schichten hergestellt wird, in denen Grundwasser zirkuliert. Anderenfalls könnten Schadstoffe eindringen. Bohrungen richtig abzudichten ist Stand der Technik und Vorschrift bei jeder Bohrung. So wird auch

verhindert, dass Wasser in quellfähige Gesteinsschichten eindringt, wie es vor einigen Jahren in Staufen¹² bei einer unsachgemäßen Bohrung passiert ist.

Tiefengeothermische Projekte können vorhandene Spannungen im Untergrund lösen und dadurch Erdbeben hervorrufen. Die Gebiete mit solchen Spannungen im Untergrund sind bekannt. **Erdbeben im Zusammenhang mit Tiefengeothermie sind in der Regel sehr schwach und werden nur von Messgeräten erfasst, sind also für den Menschen nicht spürbar.** Leichte Schäden an Gebäuden können nicht gänzlich ausgeschlossen, aber durch Vorsichtsmaßnahmen minimiert werden. Dazu gehören erdbebensicheres Bauen und systematische Messungen mittels sogenannter Schwingungsaufnehmer. Sobald die Schwingungen einen Grenzwert überschreiten, wird die geothermische Anlage gestoppt bzw. die Fahrweise angepasst. So werden Schäden verhindert. Nicht selten werden die stärksten Schwingungen durch den Straßenverkehr hervorgerufen. Bei gründlicher Voruntersuchung der geologischen Strukturen und Einhaltung der bestehenden Vorschriften zum Bohren und zur Nutzung des Tiefenwassers, ist eine hydrothermale Anlage eine sichere Quelle für die Wärmeversorgung vor Ort.

Um beim Bohren die Bohrreste, sogenanntes Bohrklein, an die Erdoberfläche zu transportieren, werden beim Spülen Bohrspülungsmittel eingesetzt. **Um eine Wassergefährdung auch an der Oberfläche auszuschließen, muss das Spülwasser inklusive Bohrklein von einem Fachbetrieb für Sonderabfälle entsorgt werden.** Diese Betriebe haben spezielle Klärwerke und Behandlungsanlagen.

Beim Betrieb einer geothermischen Anlage kommen auch Chemikalien zum Einsatz, zum Beispiel zum Schutz vor Verkalkung oder Versalzung. **Für den Einsatz braucht es eine wasserrechtliche Genehmigung, die sorgfältig zwischen Nutzen und Risiken abwägen muss und Auflagen für die Nutzung ausspricht.** Das geförderte Tiefenwasser sollte immer über eine zweite Bohrung wieder in den Untergrund zurückgepumpt werden, da anderenfalls eine aufwändige Entsorgung notwendig wäre, um Umweltauswirkungen zu vermeiden. Zudem wird so das Wasserreservoir im Untergrund wieder aufgefüllt und kann erneut genutzt werden.

Grundsätzlich können in Tiefengeothermie-Anlagen radioaktive Ablagerungen entstehen, wenn im Wasser gelöste Radionuklide ausgefällt werden. Dies ist insbesondere bei Tiefenwässern mit hohem Salzgehalt der Fall. Bei den Ablagerungen handelt es sich um Carbonat- bzw. Sulfatsalze oder Ablagerungen unedler Metalle wie Blei. Die spezifische Radioaktivität liegt dabei typischerweise bei mehreren zehn Becquerel pro Gramm, kann aber auch bis auf mehrere Hundert Becquerel pro Gramm steigen. Anlagenteile mit radioaktiven Ablagerungen müssen am Ende der Nutzung fachgerecht deponiert werden.¹³ Für die Bevölkerung besteht nach aktuellem Kenntnisstand kein Grund zur Sorge. Der Richtwert von 1 Millisievert pro Jahr wird für Anwohnende nicht überschritten.¹⁴ **„Eine Strahlenexposition für Anlieger einer geothermischen Anlage**

besteht nicht.“¹⁵ Für die Mitarbeitenden einer Geothermieanlage können unter Umständen Schutzmaßnahmen – u.a. Schutzkleidung, Abschirmungen – notwendig sein. Dies muss jeweils im Einzelfall entschieden werden. Die abgeschätzte jährliche obere Grenze der Strahlenexposition für Beschäftigte liegt bei 3 Millisievert. Zum Vergleich: die jährliche mittlere Strahlenbelastung durch natürliche Quellen liegt bei 2,1 Millisievert. Für ein Maximum an Sicherheit sollten Geothermie-Projekte regelmäßigen Untersuchungen unterzogen und die Auswirkungen radioaktiver Anteile des Tiefenwassers evaluiert werden.

Das Umweltbundesamt (UBA) schätzt hydrothermale Tiefengeothermie-Anlagen insgesamt als sichere Technologie ein: „Im bestimmungsgemäßen Betrieb hydrothermalen Systeme sind keine umweltschädlichen Wirkungen zu erwarten. Im nicht bestimmungsgemäßen Betrieb können reversible Wirkungen auftreten, die nur lokal relevant und technisch beherrschbar sind.“¹⁶ Die Genehmigungsbehörden sind in der Verantwortung, zum Schutz von Mensch und Umwelt den ordnungsgemäßen Betrieb sicherzustellen. Dann kann die hydrothermale Geothermie zu einem wichtigen Baustein für die Wärmewende vor Ort werden. Sollte es trotz aller Schutzmaßnahmen zu Schadensfällen kommen, müssen die Sanierungs- und Entschädigungsprozesse transparent und schnell vonstattengehen.

3 Wärme aus der Tiefe – Stand der Anwendung in Deutschland und Europa

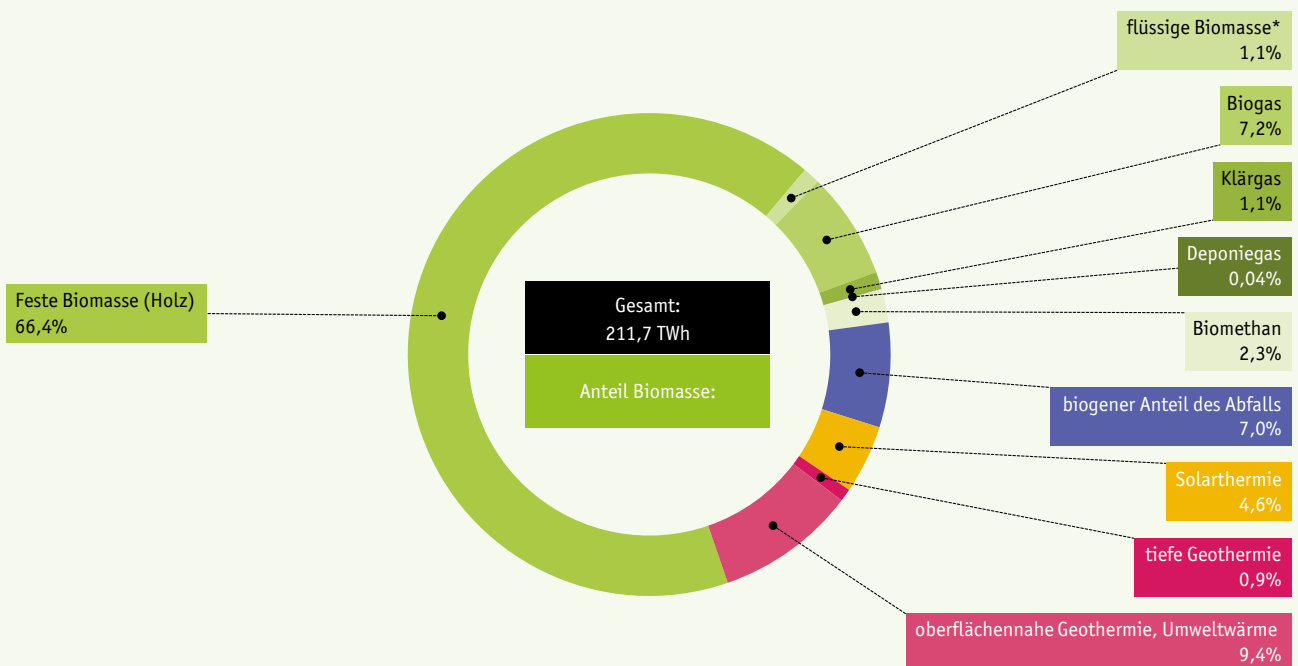
Der Anteil erneuerbarer Energien im Wärmesektor schwankt in Deutschland seit vielen Jahren um die 15 Prozent¹⁷. Der weitaus größte Teil ist Bioenergie. Umweltwärme und oberflächennahe Geothermie machten im Jahr 2022 nur 10,2 Prozent, **Tiefengeothermie nur 0,9 Prozent (ca. 1,9 TWh) der erneuerbaren Wärme** aus (siehe Abbildung 2, nächste Seite). Über 80 Prozent der Wärmebereitstellung ist immer noch klimaschädlich und fossilen Ursprungs.

Ohne den Ersatz fossiler Energieträger im Wärmesektor können die Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes zur Treibhausgasreduktion nicht erreicht werden¹⁸. Die Nutzung von Erdwärme ist ein Schlüsselbaustein. Hydrothermale Tiefengeothermie hat zurzeit einen sehr geringen Anteil an der Wärmeversorgung, obwohl sie eine langjährig bewährte Technologie ist. Stand Februar 2023 sind 42 tiefengeothermische Anlagen in Deutschland in Betrieb, davon 30 mit ausschließlicher Wärmeerzeugung, die meisten davon in Südbayern. 2023 befanden sich zwölf Anlagen im Bau und 82 in der Planung¹⁹. Die installierte geothermische Leistung **für Fernwärme** liegt 2023 bei 391 MW_{th}. Die Jahresproduktion lag 2021 bei gleicher installierter Leistung bei 1,3 TWh²⁰.

Nachfolgend einige **erfolgreiche bzw. vielversprechende hydrothermale Tiefengeothermie-Anlagen in Deutschland:**

Erneuerbare Energie für Wärme und Kälte im Jahr 2022

Endenergieverbrauch aus erneuerbaren Quellen für Wärme und Kälte (einschließlich Fernwärme)



* inklusive Biodieselvebrauch in der Land- und Forstwirtschaft, Baugewerbe und Militär

Abb. 2: Erneuerbare Energien für Wärme und Kälte im Jahr 2022, getrennt nach Energieträgern

Quelle: Umweltbundesamt (UBA) auf Basis UBA, AGEE-Stat: „Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland“ (Stand 09/2023); www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme, Zugriff: 12.01.2024

- » **München (Großstadt/Süddeutschland):** In München werden bereits heute mehrere Zehntausend Menschen mit grüner Fernwärme aus Tiefengeothermie versorgt²¹. Mittelfristig planen die Stadtwerke München, Erdwärme mit einer Leistung von mindestens 400 MW zu erschließen und damit ein Viertel des gesamten Münchner Fernwärmebedarfs mittels hydrothormaler Tiefengeothermie abzudecken.²² Einem Gutachten der Technischen Universität München zufolge könnten hydrothermale Lagerstätten 40 Prozent (7,6 GW Leistung) des Wärmebedarfs Bayerns abdecken.²³
- » **Potsdam (Großstadt/Norddeutschland):** Ab 2024 werden rund 6 Prozent des Wärmeverbrauchs der Landeshauptstadt Brandenburg durch eine hydrothermale Tiefengeothermie-Bohrung (4,3 MW, 6.900 Haushalte) abgedeckt werden können. Die hydrothermalen Lagerstätten unter der Stadt haben perspektivisch sogar das Potenzial, 60 Prozent der Haushalte mit grüner Fernwärme zu versorgen.²⁴
- » **Schwerin (Mittelstadt/Norddeutschland):** Eine neue Tiefengeothermie-Bohrung kann zukünftig 15 Prozent des Schweriner

Fernwärmebedarfs decken (5,7 MW Leistung).²⁵ Zur Temperaturerhöhung des relativ niedrigtemperierten hydrothermalen Wassers werden mehrere Wärmepumpen eingesetzt, deren Strom perspektivisch aus Biogas erzeugt werden soll.²⁶ Eine zweite Tiefengeothermie-Bohrung wird bereits geplant.²⁷

- » **Neustadt-Glewe (Kleinstadt/Norddeutschland):** In Neustadt-Glewe, unweit von Schwerin, sind 355 Kund:innen an das Fernwärmenetz angeschlossen. Dort stammen „im regulären Betrieb teilweise über 90 Prozent der abgegebenen Fernwärme aus geothermischer Energie“.²⁸

Hydrothermale Tiefengeothermie wird auch in anderen Ländern als erneuerbarer Energieträger eingesetzt. In und um **Paris** sind etwa 50 Tiefengeothermie-Anlagen mit einer Leistung von rund 500 MW in Betrieb, die 600.000 – 700.000 Personen mit Wärme versorgen.²⁹ In den **Niederlanden** ist die Nutzung noch gering, hat aber laut einem Masterplan der niederländischen Geothermieverbände großes Potenzial: Laut Plan könnten tiefengeothermische Lagerstätten im Jahr 2050 knapp ein Viertel des Gesamtwärmebedarfs decken.³⁰

4 Hydrothermale Tiefengeothermie: erhebliches verschenktes Potenzial klimafreundlicher Fernwärme

In einer Roadmap für die Tiefengeothermie sind die aktuell bekannten Potenziale für Deutschland dargelegt³¹. Darin heißt es:

- » **Hydrothermale Lagerstätten könnten bis 2040 in Deutschland um die 300 TWh/a (72 GW) in den Wärmesektor einspeisen** (rund 25 Prozent des heutigen Gesamtwärmebedarfs).
- » Die potenzielle Nutzung der 300 TWh/a teilt sich folgendermaßen auf: Raumwärme (150 TWh/a), Warmwasser (20 TWh/a), industrielle Prozesswärme (120 TWh/a) und Prozesskälte (10 TWh/a).
- » **Vier Regionen** haben in Deutschland besonders großes Potenzial: Norddeutsches Becken (NDB), Rhein-Ruhr-Region (RRR), Oberrheingraben (ORG) und Süddeutsches Molassebecken (SMB) (siehe Abbildung 3).

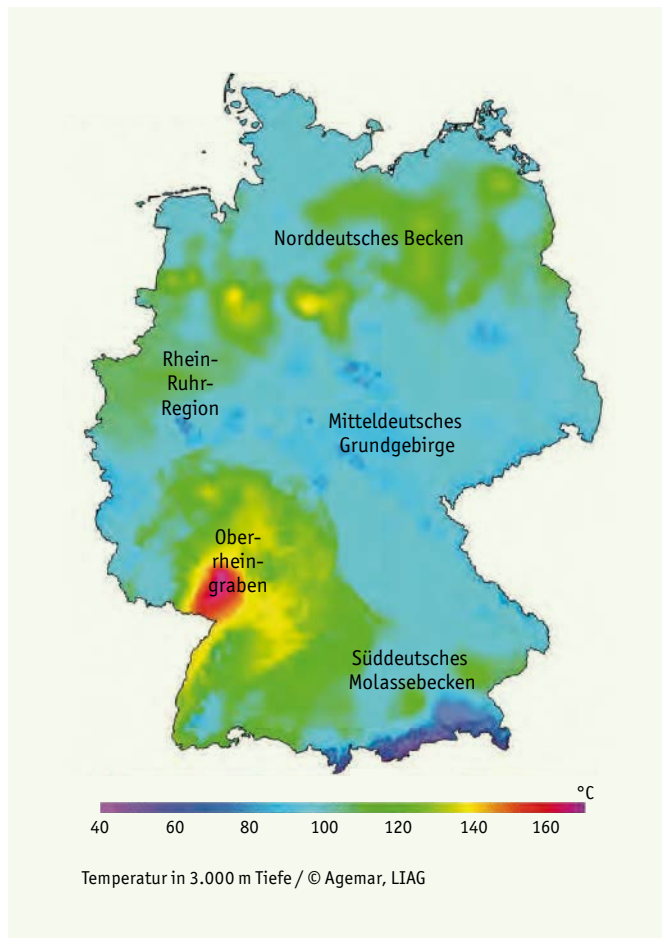


Abb. 3: Tiefengeothermales Angebot in 3.000 m Tiefe.
(Quelle: Bracke et al. 2022: Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland, S. 22)

- » **Bis 2030** könnten bereits **100 TWh/a** (24 GW) tiefengeothermische Wärmeerzeugung installiert werden.

In einer weiteren Studie wurde das Potenzial stärker ausdifferenziert. So wurde geschaut, ob sich das geothermische Wärmeangebot auch mit einer Wärmenachfrage überlappt und wo die Nutzung aus Gründen des Natur- oder Wasserschutzes ausgeschlossen werden muss. Trotz dieser Zusatzkriterien ist das Potenzial erstaunlich hoch:

- » Allein für die untersuchten Regionen SMB, ORG, NDB (siehe Abbildung 3) liegt das sogenannte „technische Bereitstellungspotential“ für Raumwärme und Warmwasser aus Tiefengeothermie bei 118 TWh/a.³²

Das **Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz** (BMWK) strebt laut einem Ende 2022 veröffentlichten Eckpunktpapier bis zum Jahr 2030 jedoch lediglich **10 TWh/a** aus tiefengeothermischen Lagerstätten an. Aktuell werden 1,6 TWh genutzt. **Zwischen den Zielen der Bundesregierung und dem möglichen 100 TWh-Zwischenziel für das Jahr 2030 liegt ein Faktor 10.**

Die enormen Potenziale klimafreundlicher Wärme sind bekannt, werden aber zu wenig genutzt.

5 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Den hohen Investitionskosten von Tiefengeothermie-Anlagen stehen geringe Betriebskosten gegenüber. Im Ergebnis kann die hydrothermale Tiefengeothermie heute schon **wettbewerbsfähig gegenüber fossiler Wärmeerzeugung sein**. Mit steigenden Kosten für fossile Brennstoffe fällt der Vergleich zunehmend zugunsten der Geothermie aus. Ein Vorteil ist auch die Preisstabilität, da die Abhängigkeit von globalen Rohstoffmärkten entfällt. Abhängig vom Erfahrungsgrad mit Tiefengeothermie-Projekten liegen in Deutschland die Wärmegestehungskosten (**LCOH**, levelized cost of heat) zwischen **25 und 40 Euro/MWh**^{16, 32} – damit ist die Tiefengeothermie konkurrenzfähig mit anderen Technologien.

Um das 300 TWh-Ziel spätestens 2045 zu erreichen, bräuchte man für tiefengeothermische Heizwerke langfristig ca. 170 Mrd. Euro. Dazu kommen die Kosten für den Ausbau der Fernwärmenetze, die auf 33 Mrd. Euro beziffert werden.³³ Man bräuchte also rund 200 Mrd. Euro für den Ausbau grüner Fernwärme mit einem bedeutenden Anteil hydrothormaler Tiefengeothermie. Mit 2045 als Zieljahr wären dies ab 2024 **rund 9 Mrd. Euro pro Jahr**. Zum Vergleich: Im Jahr 2018 belief sich laut UBA der **Umfang umweltschädlicher Subventionen im Energiesektor auf mind. 25,4 Mrd. Euro**.³⁴

Die hohen Anfangsinvestitionen für Planung und Bohrung sind ein hohes Projektrisiko für kommunale und private Versorgungsunternehmen, denn es besteht die Möglichkeit, dass die Bohrung eine unzureichende Schüttungsrate bzw. eine unzureichende Durch-

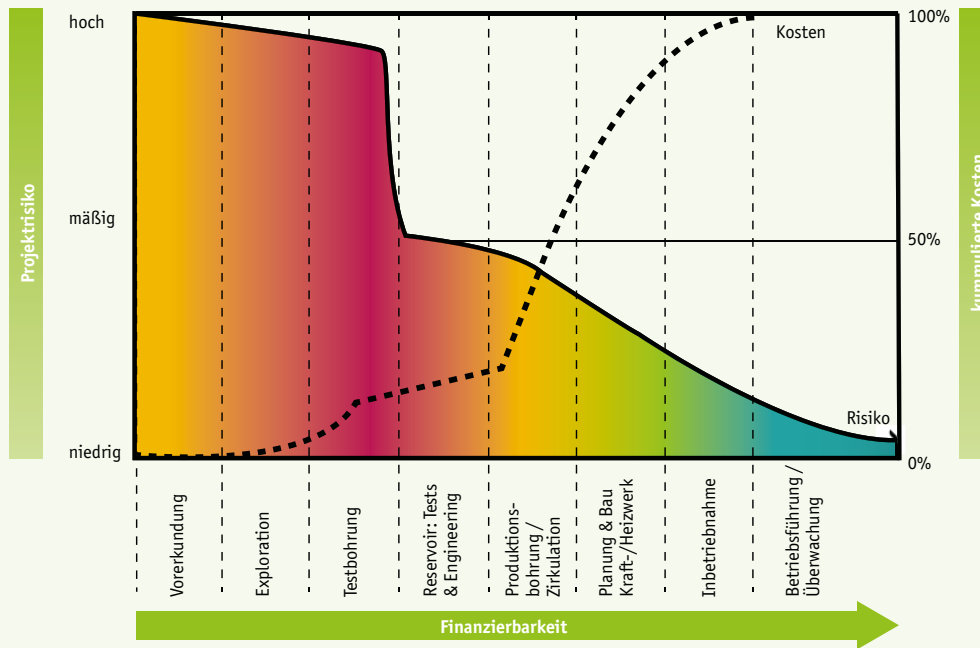


Abb. 4: Entwicklungsphasen einer geothermischen Wärmeanlage mit Verlauf der Kosten und Projektrisiken
(Quelle: Bracke et al., 2022: Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland, S. 29)

lässigkeit der Gesteinsschichten ergibt und der Wärmeertrag nicht den Erwartungen entspricht. Dieses sogenannte **Fündigkeitsrisiko** gehört zu den größten Herausforderungen bei der Ausführung eines Tiefengeothermie-Projektes.³⁵ Abbildung 4 zeigt, wie sich die Projektrisiken und die kumulierten Projektkosten im Verlauf eines tiefengeothermischen Projekts verhalten. Für viele Akteur:innen sind die hohen Anfangsinvestitionen und das zu Beginn hohe Risiko alleine nicht zu stemmen.

6 Ausbau-Herausforderungen

Hydrothermale Tiefengeothermie ist eine bewährte Technologie, die lange im Schatten fossiler Heizkraftwerke stand. Klimaschutzanforderungen und der Wunsch nach einer sicheren und langfristig bezahlbaren Wärmeversorgung rücken sie nun verstärkt ins Blickfeld. Kommunen sollten immer auch die Machbarkeit eines Geothermie-Projektes prüfen, z.B. im Rahmen einer kommunalen Wärmeplanung. **Wichtig ist, dass hier Fachleute zum Zuge kommen, die schon Erfahrung mit Geothermie haben, da diese Technologie sonst häufig vorschnell abgelehnt wird.**

Tiefengeothermie ist nur in Verbindung mit einem Wärmenetz sinnvoll. Wenn dieses nicht vorhanden ist, müssen auch der Bau des Netzes und der Anschluss der Gebäude mitbedacht werden. Die Planungen werden dadurch komplizierter und müssen zeitlich gut getaktet werden.

Die Verfügbarkeit der notwendigen geologischen Daten ist bundesweit sehr unterschiedlich. Einige Regionen sind sehr gut erkundet, andere weniger; nicht immer sind die Daten öffentlich zugänglich. **Eine gute Datengrundlage könnte die Hemmschwelle für Geothermie-Projekte reduzieren.** Bund und Länder sollten hier mit Bohrungen und Untersuchungen zur sogenannten 2D-Seismik in Vorleistung gehen.

Das Fündigkeitsrisiko könnte über einen staatlichen Risikofond abgesichert werden. Dieser könnte sich zum Beispiel aus Erlösen erfolgreicher Tiefengeothermie-Projekte finanzieren. In Frankreich gibt es bereits seit Jahrzehnten eine Risikoabsicherung. Diese gilt dort als einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren beim Tiefengeothermie-Ausbau.²⁰

Beim Roll-Out der Tiefengeothermie muss des Weiteren die Bevölkerung vor Ort eingebunden werden. **Die Vor- und Nachteile müssen transparent erläutert und die Fragen der Bürgerinnen und Bürger beantwortet werden.** Vertrauen kann zusätzlich durch ein seismisches Messnetz mit öffentlich einsehbaren Daten aufgebaut werden. Bei (sehr seltenen) Gebäudeschäden muss zügig und unkompliziert Beseitigung und Entschädigung organisiert werden.

Generell sollten Maßnahmen ergriffen werden, die die Attraktivität eines Fernwärmeanschlusses erhöhen. Aktuell ist der Markt durch Intransparenz und wenig staatliche Regulierung geprägt – ein Widerspruch zum Monopolcharakter der Wärmenetze. **Gegenmaßnahmen**

wären bspw. die **Einrichtung einer unabhängigen Preisaufsicht für Fernwärme**, ein Wärmenetzregister zur Veröffentlichung von Kerndaten sowie eine genossenschaftliche Organisation der lokalen Wärmeversorgung.

Des Weiteren müssen Genehmigungshemmnisse aufgelöst werden. So müssen z.B. im Bundesberggesetz Fristen für die Zulassung von Betriebsplänen festgelegt werden. Auch sollte die Behörden-Zuständigkeit gebündelt werden: Die Gewinnung von Erdwärme und die Umwandlung derselben in nutzbare Wärme muss zusammengedacht werden. Die Zuständigkeit muss bei ein und derselben Behörde liegen. Bei Gewinnung von Erdwärme sollte auf die Zahlung einer Förderabgabe verzichtet werden. Zudem sollte gesetzlich verankert werden, dass die Errichtung von Anlagen zur Erzeugung

von Wärme aus Erneuerbaren Energien im überragenden öffentlichen Interesse liegt und der öffentlichen Sicherheit dient. Die öffentliche Hand muss verpflichtet werden, ihre Grundstücke zum Zwecke des Ausbaus Erneuerbarer Energien zu angemessenen Bedingungen zur Verfügung zu stellen, soweit dem nicht bestehende Nutzungen oder sonstige überwiegende öffentliche Interessen entgegenstehen.

In einer Studie³⁶ hat sich auch das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) 2023 mit der Frage beschäftigt, welche Faktoren für den Hochlauf der Wärmebereitstellung aus tiefengeothermischen Anlagen von den heutigen 1,6 TWh auf 10 TWh im Jahr 2030 am wichtigsten sind. Tabelle 1 gibt noch mal eine Übersicht, welchen Faktoren eine hohe Relevanz zugeordnet wurde.

WICHTIGSTE EINFLUSSFAKTOREN PRO CLUSTER		
Projektumsetzung	Wissen & Ausbildung	Fördermaßnahmen & Versicherungen
» Verfügbarkeit Bohrgeräte » Ausbau/Vernetzung Wärmenetze » Behördliche Auflagen » Bohrlochgeophysik	» Fachkräfte/Ausbildung	» Förderung Explorationskosten » OPEX-Fördersysteme » Anwendungsnahe Forschungsförderung » Förderung 1. Bohrung » Kommunale Fördersysteme

Tab. 1 Wichtigste Einflussfaktoren für den Hochlauf der Geothermie

(Quelle: Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik 2023: Cross-Impact-Studie zur nationalen Erdwärmekampagne, S. 18)

Endnoten

- 1 <https://www.agfw.de/energiewirtschaft-recht-politik/energiewende-politik/ueberblick-fakten-und-antworten-zu-fernwaerme> Zugriff 8.1.2024
- 2 Wuppertal Institut Heizen ohne Öl und Gas bis 2035, S. 58 <https://epub.wuppertalinst.org/frontdoor/index/index/docId/7954>
- 3 <https://www.ksta.de/wirtschaft/nrw-plant-geothermie-masterplan-zur-waermewende-562382> Zugriff 2.1.2024
- 4 <https://www.berlin.de/rbmskz/aktuelles/pressemitteilungen/2023/pressemitteilung.1349670.php> Zugriff 11.1.2024
- 5 <https://www.mep.tum.de/mep/aktuelles/news-single-view/article/gutachten-zum-masterplan-geothermie/> Zugriff 2.1.2024
- 6 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. 2022. Eckpunkte für eine Erdwärmekampagne – Geothermie für die Wärmewende <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/eckpunkte-geothermie.html>
- 7 Die Einteilung und die Tiefenangaben variieren bei den unterschiedlichen Quellen.
- 8 In Geretsried wird aktuell ein geschlossenes System erprobt: <https://eavor-geretsried.de/> Zugriff: 05.01.2024
- 9 Weitere Informationen zum Verfahren unter https://de.wikipedia.org/wiki/Organic_Rankine_Cycle Zugriff: 17.01.2024
- 10 Weitere Informationen zum Verfahren unter <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/k/kalinaprozess> Zugriff: 17.01.2024
- 11 Bracke et al. 2022. Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland. URL: <https://doi.org/10.24406/ieg-n-645792>; Leibniz-Institut für angewandte Geophysik 2016: Tiefe Geothermie – Grundlagen und Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland; Umweltbundesamt. 2008. Umwelteffekte einer geothermischen Stromerzeugung. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umwelteffekte-einer-geothermischen-stromerzeugung>; Umweltbundesamt. 2015. Tiefe Geothermie – mögliche Umweltauswirkungen infolge hydraulischer und chemischer Stimulationen. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/tiefe-geothermie-moegliche-umweltauswirkungen>; Umweltbundesamt. 2019. Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. Zuletzt zugegriffen am 22.06.2023. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/rescue>
- 12 Weitere Information unter <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/geothermie/oberflaechnahe-geothermie/erdwaermesonden/ews-schadensfaelle/schadensfall-staufen> Zugriff: 17.01.2024
- 13 https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/rueckstaende/tiefengeothermie/tiefengeothermie_node.html Zugriff: 20.12.23
- 14 Zum Vergleich: Die Dosis durch Höhenstrahlung bei einem Flug von München nach Japan beträgt bis zu 0,1 Millisievert.
- 15 Bundesverband Geothermie 2016: Hintergrundpapier zum Umgang mit natürlicher Radioaktivität in Anlagen der Tiefen Geothermie. URL: https://www.geothermie.de/fileadmin/user_upload/Bibliothek/Downloads/Hintergrundpapiere/Hintergrundpapier_NORM_Radioaktivitaet-Tiefengeothermie.pdf
- 16 Umweltbundesamt. 2019. Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/rescue>. S. 125
- 17 Umweltbundesamt. 2023. Erneuerbare Energien in Deutschland – Daten zur Entwicklung im Jahr 2022. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erneuerbare-energien-in-deutschland-2022>
- 18 Umweltbundesamt. 2023c. Treibhausgasminderungsziele Deutschlands. Zugriff: 11.07.2023. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands>
- 19 Bundesverband Geothermie. 2023. Tiefe Geothermie in Deutschland 2023/24. Zugriff: 22.06.2023. URL: https://www.geothermie.de/fileadmin/user_upload/Aktuelles/BVG_Poster_Tiefe_Geothermie_2023_24_web.pdf
- 20 <https://www.geotis.de/geotisapp/templates/heatsumstatistic.php> Zugriff: 17.01.2024
- 21 <https://www.merkur.de/wirtschaft/geothermie-energie-zukunft-muenchen-deutschland-kraftwerk-anlage-projekt-sendling-zr-91526752.html>; Zugriff: 16.01.2024
- 22 <https://www.merkur.de/lokales/muenchen-lk/landkreis-muenchen-geothermie-swm-investiert-rund-milliarde-euro-91640750.html>; Zugriff: 16.1.2024
- 23 Technische Universität München. 2020. Bewertung Masterplan Goethermie. <https://geothermie-allianz.de/wp-content/uploads/2022/09/Gutachten-Masterplan-Geothermie-Bayern.pdf>
- 24 <https://www.maz-online.de/lokales/potsdam/geothermie-potsdams-erste-erdwaerme-bohrung-ist-ein-erfolg-waerme-fuer-6900-haushalte-aus-der-tiefe-PP5FMVUDLBDNFOLY2YJFMHN76M.html> Zugriff: 12.01.2024
- 25 Stadtwerke Schwerin. https://www.stadtwerke-schwerin.de/home/ueber-uns/geothermie/Geothermie-in-Schwerin-Lankow-Das-Projekt,swsr_id,786,swsr_inhalt_id,2162.html; Zugriff: 16.01.2024
- 26 NDR 2023: <https://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Kanzler-Scholz-weiht-Geothermie-Heizkraftwerk-in-Schwerin-ein,geothermie256.html>; Zugriff: 16.01.2024
- 27 NDR 2023: <https://www.ndr.de/fernsehen/Geothermie-Heisses-Tiefenwasser-fuer-warme-Wohnungen,geothermie262.html>; Zugriff: 16.01.2024
- 28 https://www.erdwaerme-neustadt-glewe.de/waerme_aus_geothermie/geothermie_neustadt_glewe/, Zugriff: 12.01.2024
- 29 Geothermie Schweiz. 2019. Wie alt wird eine geothermische Anlage? URL: <https://geothermie-schweiz.ch/wie-alt-wird-eine-geothermische-anlage/>. Zugriff: 16.01.2024
- 30 Geologischer Dienst NRW. 2023. Geothermie in den Niederlanden. Zuletzt aufgerufen am 02.08.2023. URL: <https://www.seismik.nrw.de/geothermie-den-niederlanden>. Zugriff: 17.01.2024
- 31 Bracke et al. 2022: Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland, 2022. URL: <https://doi.org/10.24406/ieg-n-645792>
- 32 Umweltbundesamt 2020: Kommunalen Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefegeothermischer Ressourcen. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/effiziente-fernwaermeversorgung-mit-niedertemperaturwaerme>
- 33 Bracke et al. 2022. Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland. URL: <https://doi.org/10.24406/ieg-n-645792>
- 34 Umweltbundesamt 2021: Umweltschädliche Subventionen in Deutschland – aktualisierte Ausgabe 2021. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschaedliche-subventionen-in-deutschland-0>
- 35 Umweltbundesamt 2023: Dekarbonisierung von Energieinfrastrukturen. Zuletzt zugegriffen am 22.06.2023. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/dekarbonisierung-von-energieinfrastrukturen>
- 36 Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik 2023: Cross-Impact-Studie zur nationalen Erdwärmekampagne: https://www.geotis.de/homepage/site-content/info/publication_data/public_relations/public_relations_data/LIAG_Impaktstudie_Geothermie_Industrie.pdf

Wärmepumpe

Versorgungssicherheit

Fernwärme

Geologische Daten

Preisstabilität

Wärmequelle

Seismik

Tiefengeothermie

Fündigkeitsrisiko

Bohrung

Speicher

Wärmeplanung

Heizen

Klimaschutz

Erdwärme

Regionale Energie

Stand: 22.02.2024

 Deutsche Umwelthilfe

Deutsche Umwelthilfe e.V.

Bundesgeschäftsstelle Radolfzell
Fritz-Reichle-Ring 4
78315 Radolfzell
Tel.: 07732 9995-0

Bundesgeschäftsstelle Berlin
Hackescher Markt 4
10178 Berlin
Tel.: 030 2400867-0

Ansprechpartner

Judith Grünert
Senior Expert
Energie und Klimaschutz
Tel.: 030 2400867-93
E-Mail: gruenert@duh.de

Jonas Ott
Referent
Energie und Klimaschutz
Tel.: 030 2400867-961
E-Mail: ott@duh.de

 www.duh.de

 info@duh.de

 [umwelthilfe](#)

 Wir halten Sie auf dem Laufenden: www.duh.de/newsletter-abo

Die Deutsche Umwelthilfe e.V. ist als gemeinnützige Umwelt- und Verbraucherschutzorganisation anerkannt. Wir sind unabhängig, klageberechtigt und kämpfen seit über 40 Jahren für den Erhalt von Natur und Artenvielfalt. Bitte unterstützen Sie unsere Arbeit mit Ihrer Spende. www.duh.de/spenden

Transparent gemäß der Initiative Transparente Zivilgesellschaft. Ausgezeichnet mit dem DZI Spenden-Siegel für seriöse Spendenorganisationen.



Initiative
Transparente
Zivilgesellschaft



Unser Spendenkonto: Bank für Sozialwirtschaft Köln | IBAN: DE45 3702 0500 0008 1900 02 | BIC: BFSWDE33XXX