

POSITIONSPAPIER

WÄRMEVERSORGUNG IN BERLIN UND BRANDENBURG DURCH GEOENERGIE

Empfehlungen der GeoEnergie Allianz Berlin Brandenburg
zu Forschung und Umsetzung

Autor*innen: David Bruhn, Silke Köhler, Simona Regenspurg, Felix Schumann

Unter Mitwirkung von Ralph Bäßler, Elisa Dunkelberg, Ernst Huenges, Maximilian Frick, Bernd Hirschl, Ingo Sass



Inhalt

Synthese

Kapitel 1: Geoenergie und Geologie der Region

Kapitel 2: Potenzial der geothermischen Wärmebereitstellung in Berlin und Brandenburg

Kapitel 3: Umsetzungsschritte

Kapitel 4: Beitrag der GEB² zur Erreichung der Ziele

Synthese

Das gesellschaftliche Ziel der Defossilisierung der Energieversorgung erfordert eine disruptive Veränderung der Wärmebereitstellung. In Berlin und in den größten Brandenburger Städten Potsdam und Cottbus werden noch über 80 % der Nutzwärme über fossile Energieträger bereitgestellt (Hirschl et al., 2021, 2023). Die notwendigen Veränderungen erfordern Lösungen, die den tiefen Untergrund der Region nutzen. Allein die Nutzung der tiefen Geothermie kann mindestens 25% des Wärmebedarfs in Deutschland decken (Roadmap Tiefe Geothermie, 2023). Die Infrastruktur zur Verteilung dieser erneuerbaren Wärme ist bereichsweise vorhanden. Sie muss allerdings lokal und in ländlichen Gebieten weiter ausgebaut werden.

Für die Sektoren Strom und Verkehr steht zwar Energie insbesondere aus Sonne und Wind bereit, aber wegen des zeitlich variablen Angebots besteht ein erheblicher Bedarf an großtechnischen Speichern für Strom und Wärme oder auch für Energieträger (z. B. Wasserstoff). Die saisonale oder temporale Überproduktion an Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien zwingt dazu, eine urbane Speicherinfrastruktur aufzubauen, um eine grundlastfähige und bedarfsgerechte Lieferung zu realisieren. Hinzu kommt die Aufgabe das Treibhausgas Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu reduzieren und unterirdisch dauerhaft zu lagern. Auch hier werden Speichertechnologien und -räume benötigt.

Die nachhaltige energetische Nutzung des unterirdischen Raumes ist geeignet, entscheidende Beiträge zu einer zukünftigen Energiewirtschaft ohne fossile Brennstoffe zu leisten. Diese große interdisziplinäre Aufgabe erfordert die Zusammenarbeit vieler Fach-, und Forschungseinrichtungen, die im Raum Berlin-Brandenburg vorhanden sind und in einer regionalen Forschungsallianz gebündelt werden sollen. Für die Region Berlin-Brandenburg ergibt sich daraus die Chance, eine Schlüsselrolle in der Grundlagen- und angewandter Forschung zur Transformation des Energiesystems zu übernehmen und weltweit als Vorbild zu dienen, denn sie zeichnet sich aus durch:

- **Große Energie-Potenziale und gute Kenntnisse des geologischen Untergrundes:** Das Norddeutsche Becken mit seinen unterschiedlichen, sedimentären Gesteinsschichten bietet vielseitige Möglichkeiten der geoenergetischen Nutzung. Gerade Brandenburg weist große Potenziale an erneuerbarer Energie auf, die zuverlässig verfügbar sein sollen.
→ *Aber es herrscht erheblicher Forschungsbedarf im regionalen Detail*
- **Kompetenzen in Forschung und Bildung:** Spitzenforschung zu Geoenergethemen an den Berlin-Brandenburger Universitäten, Forschungsinstituten und Hochschulen in der Region → *Aber die bisherige Vernetzung der Disziplinen ist noch gering*
- **Politischer Wille,** Demonstrationsprojekte zu fördern: Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung sowohl für urbane Räume als auch im ländlichen Raum, verbunden mit Speicherinfrastruktur, ist ein notwendiges, aber komplexes Unterfangen. Die Bereitschaft, die notwendigen Demonstrationsprojekte zu unterstützen, ist in der Region vorhanden
→ *Aber bisher werden kaum Demonstratoren gefördert*

Um das Potenzial der Geoenergie zu heben, besteht Handlungsbedarf bei der Ergänzung des lückenhaften Untergrundwissens, der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften, dem Anpassen der politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen, der Ertüchtigung, Anpassung und Errichtung technischer Infrastruktur, kooperativen Geschäftsmodellen sowie der Verbesserung der Systemintegration. Diese Themen müssen zeitgleich adressiert werden, um die gesetzten Dekarbonisierungsziele bis 2030 und 2045 zu erreichen. Eine Bündelung der Kräfte ist daher das Gebot der Stunde. Der Zusammenschluss der vielseitigen Forschungskompetenz der Region in einer Forschungsallianz ermöglicht, die offenen Fragen geschlossen, gemeinsam und kompetent zu bearbeiten.

Die Geoenergieallianz Berlin Brandenburg GEB² setzt sich zum Ziel, das notwendige Wissen der verschiedenen Disziplinen zu bündeln und bereitzustellen, um die Fragen von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zu beantworten. Die GEB² ist ein Angebot zur Vernetzung von Forschung, Lehre und Ausbildung mit Verwaltung, Politik und Wirtschaft. Somit können Antworten auf dringende Fragen schneller gefunden und die Aus- und Weiterbildung für Berufe und Qualifikationen in den erneuerbaren Energien in konzertierten Aktionen beschleunigt werden.

Im vorliegenden Papier werden die Formen einer nachhaltigen Geoenergienutzung, das geologische Potenzial der Region Berlin Brandenburg und dessen bisherige geoenergetische Nutzung dargestellt. Aus diesem Wissen wird der Ist-Zustand hinsichtlich des energiewirtschaftlichen Potenzials und der sich daraus ergebenden Nutzungsoptionen abgeleitet, um darauf aufbauend Maßnahmen darzustellen, mit denen spürbare Beiträge zur Dekarbonisierung erreicht werden können. Daraus ergeben sich Handlungsempfehlungen für die Region, verbunden mit einem möglichen Beitrag der GEB² zum Risikomanagement, Investitionen in Schlüsseltechnologien, der Aus- und Weiterbildung, sowie der Akzeptanzerhöhung für geoenergetische Projekte.

1. Geoenergie und Geologie der Region

Formen der nachhaltigen Geoenergienutzung

Unter nachhaltiger geoenergetischer Nutzung des Untergrundes werden generell Anwendungen oberflächennaher und tiefer Geothermie, Wärme- und Kältespeicherung, sowie die Speicherung von Wasserstoff und Kohlendioxid verstanden. Dabei wird entweder die im Untergrund vorhandene thermische Energie oder der unterirdische Raum zur Speicherung von Energie oder CO₂ genutzt. Seit einigen Jahren wird auch an der Co-Nutzung der tiefen Formationswässer geforscht, d.h. neben der Nutzung der Geothermie können gleichzeitig kritische Rohstoffe, die ggf. in erhöhten Konzentrationen im Thermalwasser vorliegen (z.B. Lithium) gewonnen werden. Je nach Form der Geoenergie (Abb. 1) muss der Untergrund unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Diese Anforderungen an die Untergrundbeschaffenheit sowie die mögliche Gefährdung bzw. Maßnahmen zur Vermeidung der Gefährdung sind in Tabelle 1 dargestellt.

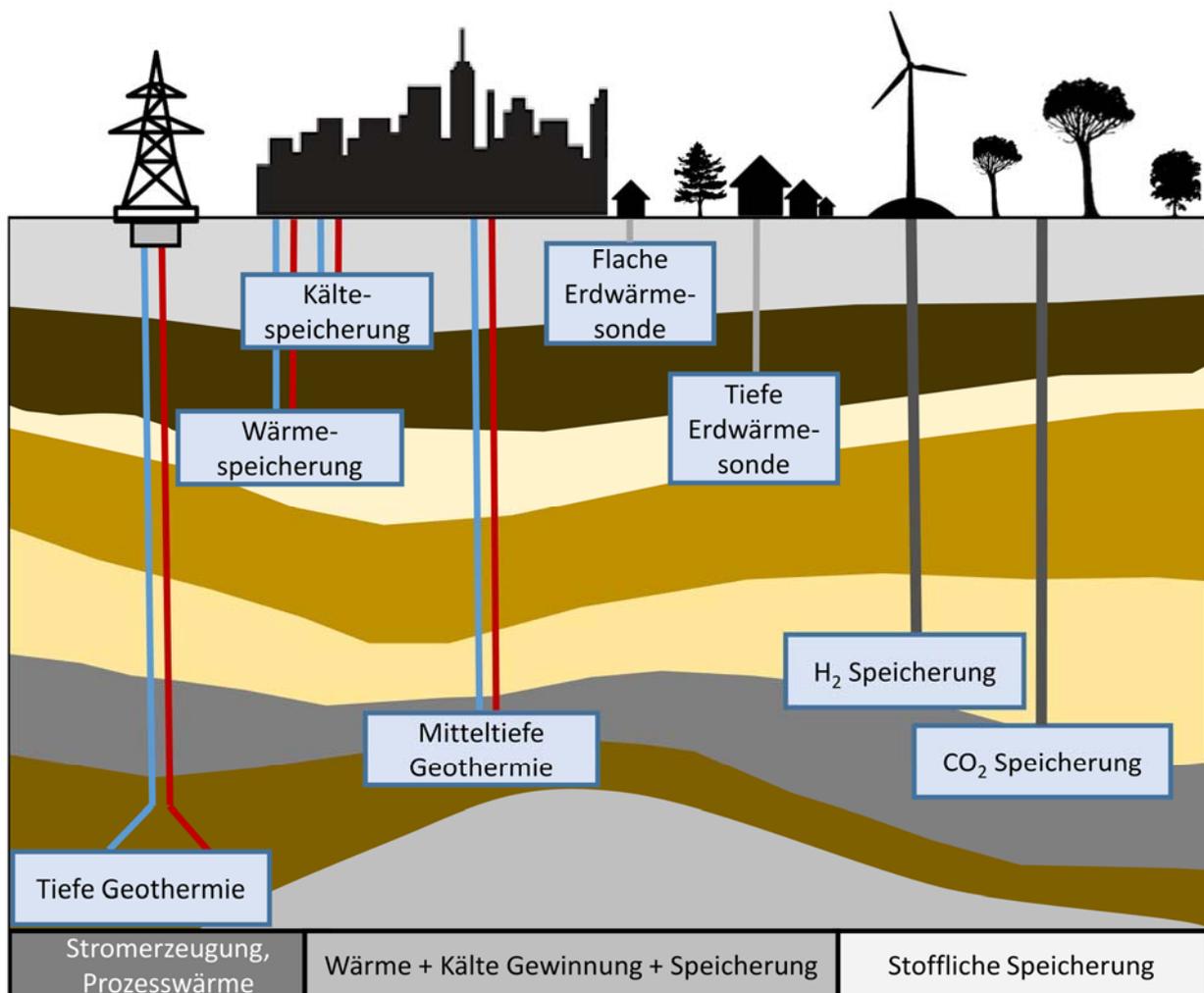


Abbildung 1: Mögliche Nutzungsformen der Geoenergie in unterschiedlichen geologischen Formationen (Schema)

Tabelle 1: Formen der Geoenergie, geologische Voraussetzungen und Risiken für die Region Berlin Brandenburg

Form der Geoenergie	Prinzip	Voraussetzung an den Untergrund	Mögliche Gefährdungen oder Risiken	Maßnahmen zur Vermeidung der Gefährdung/ Risikoverringerung
Oberflächen-nahe Geothermie (bis 400 m) und tiefe Erdwärmesonden (400-2000 m) ³	In der Regel geschlossene Systeme: Erdwärme wird über eine bis zu mehreren 100 Bohrungen konduktiv aufgenommen und mit einer Wärmeträgerflüssigkeit nach Übertage gefördert.	Gute Wärmeleitfähigkeit, sonst wenige, da das System geschlossen ist (keine Entnahme von Grundwasser)	Nutzungskonflikt mit/ Beeinflussung von Trinkwasseraquiferen	<ul style="list-style-type: none"> Bohrlochintegrität sichern (korrekter Bohrlochausbau) Temperaturmonitoring in Bohrungsnahe
Tiefe & mitteltiefe Geothermie (> 400 m) ³	Nutzung heißer (ca. 40-200 °C) Tiefenwässer, die in Poren und Klüften zirkulieren zur Wärme- oder Strom-Bereitstellung. Über eine Bohrung wird i.A. das heiße Wasser gefördert und über eine zweite das abgekühlte Wasser wieder versenkt (Dublette).	<ul style="list-style-type: none"> Hohe hydraulische Durchlässigkeit, die durch technische Maßnahmen erhöht werden kann (Stimulation) hohe Temperaturen im Reservoir 	<ul style="list-style-type: none"> Fündigkeitsrisiko¹ Induzierte Seismizität Betriebliche Risiken z.B. Korrosion 	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung des geologischen Kenntnisstandes Verbesserte Technologien (Bohrungen, Stimulation, Verfahrenstechnik) Betriebliches Monitoring
Wärme- und Kälte-speicherung (ATES = Aquifer Thermal Energy Storage)	Speicherung von überschüssiger Wärme oder Kälte im Grundwasser in mehreren hundert Metern Tiefe. zur saisonalen Ein- und speicherung über Brunnenanlagen	Hohe hydraulische Durchlässigkeit, Verwendung salinärer Grundwässer, die durch eine hydraulische Barriere (Tonschicht) von den Süßwasserschichten getrennt sind (→Vermeidung von m Nutzungskonflikten)	<ul style="list-style-type: none"> Fündigkeitsrisiko² Unerwartete chemische Prozesse: durch veränderte Temperaturen erfolgen chemisch/ mikrobiologische Reaktionen 	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung des geologischen Kenntnisstandes hoher Forschungsbedarf (bisher kaum Hochtemperatur ATES) Monitoring
H ₂ Speicherung	Speicherung von (grünem) H ₂ als zukünftigen Energieträger im Untergrund, um ihn bei Bedarf zu nutzen.	Speicherung in Salzkavernen oder porösen Gesteinen mit dichter Trennschicht (Ton) nach oben	Kaverne: bei hoher Frequenz der Druck-änderung ungenügende Stabilität Poröse Gesteine: Deckschicht undicht; Reservoir nicht abgeschlossen	Großer Forschungsbedarf (Grundlagen und Anwendung); in Deutschland bisher kein Demonstrationsprojekt in porösen Gesteinen
CO ₂ Speicherung (CCS)	Speicherung von flüssigem CO ₂ im Untergrund nach der Sequestrierung zur dauerhaften Fixierung	Ausreichend tiefe Sedimentschichten (hoher Druck), damit das CO ₂ flüssig vorliegt	Nicht ausreichend dichte Tonbarriere nach oben	<ul style="list-style-type: none"> Vorerkundung Gasmonitoring betriebs-sichere Auslegung kritischer Bereiche der Prozesskette
Stoffliche Nutzung (Rohstoffe)	Co-Nutzung von Energie und Rohstoffen: Extraktion von z.B. Lithium während der Thermalwasserförderung	Formationswasser enthält ausreichend hohe Konzentrationen der kritischen Rohstoffe	Wirtschaftlichkeit noch nicht nachgewiesen da Extraktionstechniken noch in Demophasen.	Forschung und Entwicklung

¹Fündigkeitsrisiko: Unsicherheit vor dem Bohren, ob eine Formation mit gewünschten Eigenschaften vorhanden ist.

³ Angaben aus dem Lexikon der Geothermie: <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/>

Geologie der Region Berlin Brandenburg

Geologisch gehören Berlin und Brandenburg zum Norddeutschen Becken. Dieses zeichnet sich durch bis zu mehrere km mächtige Sedimentschichten aus, die regional unterschiedlich ausgeprägt sein können aber an vielen Stellen sehr gute Voraussetzungen für eine energetische Nutzung des Untergrunds bieten. Diese Voraussetzungen sind vor allem eine hohe Durchlässigkeit der Schichten und je nach Nutzungszweck hohe Temperaturen. Die Temperaturen steigen im Schnitt in Norddeutschland mit 3 °C pro hundert Meter Tiefenzunahme an. Oberflächennahe Aquifere, die zur Trinkwasserversorgung genutzt werden, sind durch effektive Trennschichten aus Ton oder anderen dichten Gesteinsarten von den tiefer liegenden, versalzten Grundwasservorkommen, die zur energetischen Nutzung geeignet sind, getrennt. Hier ist besonders der Rupelton zu nennen, der in großen Teilen des Norddeutschen Beckens auftritt und die süßwasserführenden Schichten (potenzielle Nutzung als Trinkwasser) vom tieferen Salzwasser trennt (Abb.2).

Der tiefe Untergrund im Norddeutschen Becken ist wesentlich durch die Salztektonik geprägt. Hierbei handelt es sich um das Aggregieren und Aufsteigen von ursprünglich z. T. mehr als 1.000 m mächtigen Salzablagerungen der Zechsteinformation durch die jüngeren Deckschichten hindurch Richtung Tagesoberfläche. Die treibende Kraft ist hier vor allem die geringere Dichte der Steinsalze im Vergleich zu den überlagernden Sedimentgesteinen. Unter hoher Auflast kann das Salz duktil ausweichen und an Schwächezonen im Deckgebirge nach oben vordringen und Salzstöcke, -kissen und -mauern bilden. Diese als Halokinese bezeichneten Vorgänge führten dazu, dass die darüber liegenden geologischen Schichten deformiert, angehoben oder ausgedünnt wurden, so dass die Voraussage, ob eine Formation in einer bestimmten Tiefe vorhanden ist, oft schwierig ist. Das dadurch bedingte sogenannte Fündigkeitsrisiko (also das Risiko die geologische Zielformation dort anzutreffen, wo sie prognostiziert wurde) vermindert sich aber, je mehr Bohrungen in der Region vorhanden sind. Dies wird in Abbildung 3 ersichtlich, die zeigt, in welchen unterschiedlichen Tiefenlagen beispielsweise die Formation des Buntsandsteins in Berlin und in Brandenburg vorkommt.

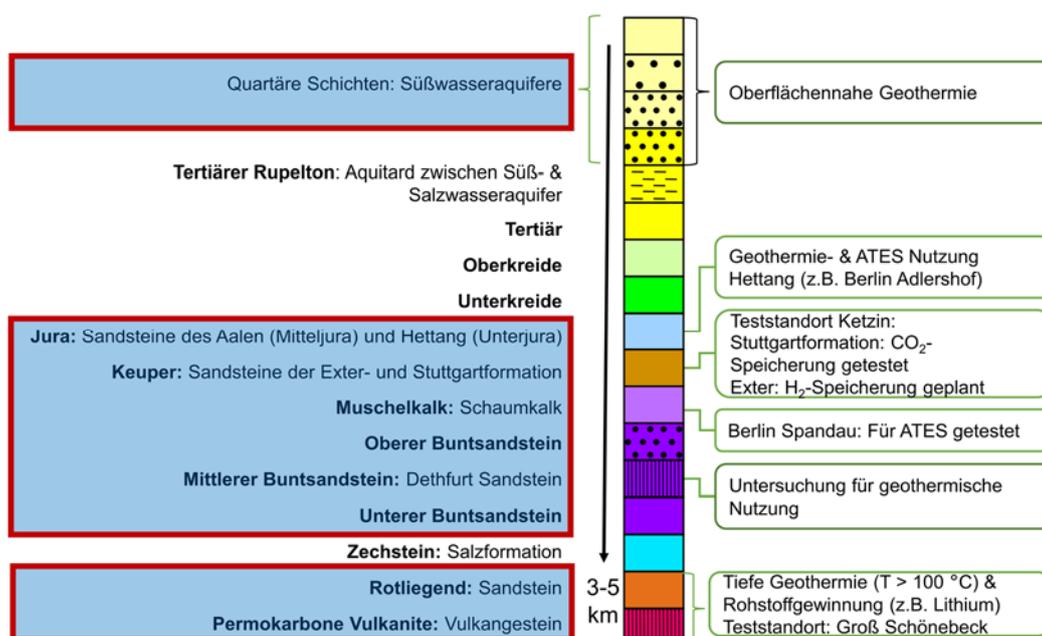


Abbildung 2: Geologische Formationen (links) und deren Bedeutung/ Nutzung in der Region Berlin Brandenburg (Stratigraphie aus Sippel et al., 2013). Rot umrandet sind die potenziellen, geothermischen Nutzhorizonte des Norddeutschen Beckens)

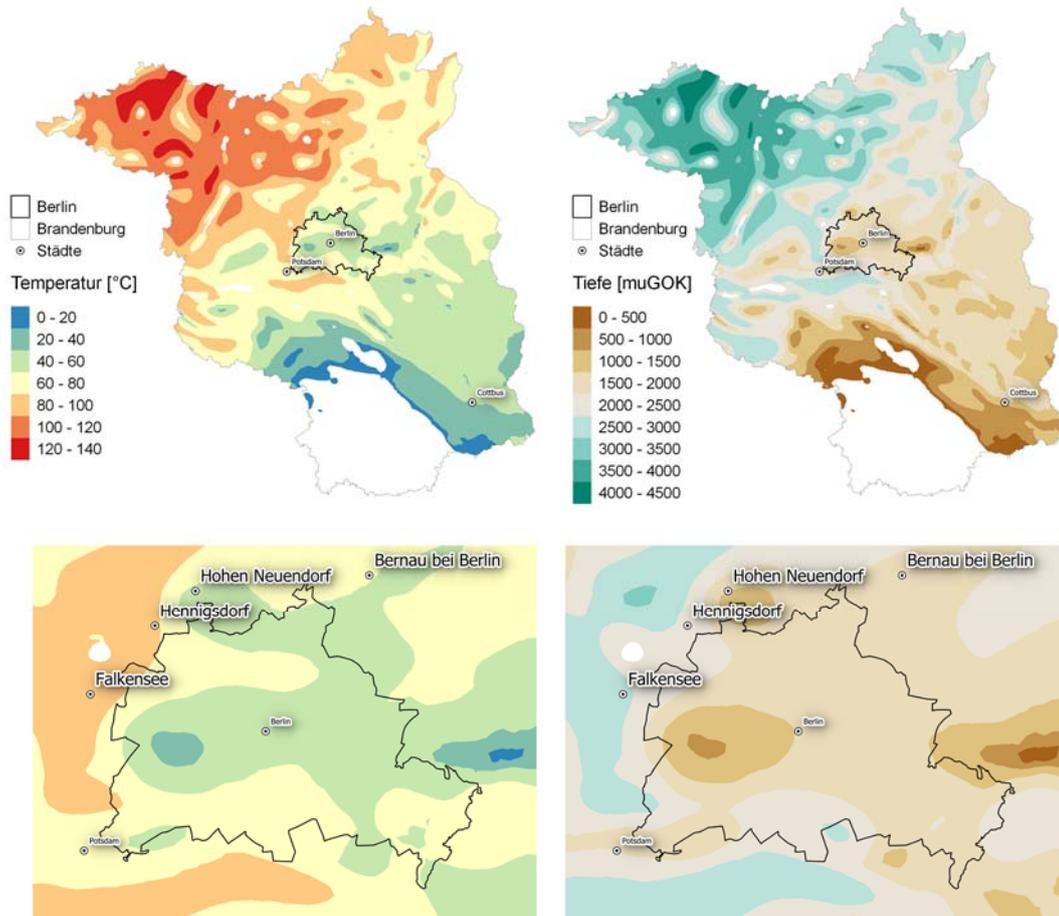


Abbildung 3: Temperatur und Tiefenverteilung des Buntsandsteins in Berlin (unten) und Brandenburg oben (Daten aus Frick et al., 2022)

2. Potenzial der geothermischen Wärmebereitstellung in Berlin und Brandenburg

Für Berlin und Brandenburg liegen mit der *Machbarkeitsstudie Berlin Paris-konform machen* (Hirschl et al., 2021) und dem *Gutachten zum Klimaplan Brandenburg* (Hirschl et al., 2023) wissenschaftliche Studien vor, die beschreiben, wie die beiden Bundesländer jeweils über alle Sektoren hinweg, Klimaneutralität erreichen können. Die Studien enthalten auch Schätzungen zu den Geothermiepotenzialen und ihrem möglichen und notwendigen Beitrag zur Dekarbonisierung insbesondere der Wärmeversorgung. Die *Potenzialstudie klimaneutrale Wärmeversorgung Berlin 2035* berücksichtigt ebenfalls Geothermie als wichtiges Element für das Erreichen der gesetzten Klimaziele (Egelkamp et al., 2021). In beiden Bundesländern basiert noch 2020 die Versorgung mit Fernwärme überwiegend auf fossilen Energieträgern sowie auf Wärme aus der Müllverbrennung.

Wärmeversorgung Berlin

Die *Machbarkeitsstudie Berlin Paris-konform* legt in mehreren Szenarien (für 2030, 2040, 2050) dar, wie und bis wann Berlin klimaneutral werden kann. Sie zeigt auf, dass die Klimaneutralität, definiert als die Senkung der CO₂-Emissionen um 95 % gegenüber 1990, bei Berücksichtigung von Restriktionen wie etwa dem Fachkräftemangel und wasserschutzrechtlicher Einschränkungen im Laufe der 2040er Jahre erreichbar ist (Hirschl et al. 2021). Die Studie beziffert den Endenergieverbrauch an Wärme im

Gebäudesektor in 2020 auf 34 TWh, welcher mit Erdgas (44 %, bezogen auf Endenergie), Fernwärme (33 %) und Heizöl (18 %) gedeckt wird. Im ambitioniertesten Szenario mit dem Ziel der Klimaneutralität in 2030 (KnB 2030) wird in 2030 eine Reduktion auf 27 TWh erreicht.

Der Fernwärmeanteil an der gesamten Wärmeversorgung muss dazu in allen Szenarien deutlich steigen, wie z.B. im Szenario KnB 2050 von aktuell 32 % auf 49 % (Abbildung 4). Die Tiefe Geothermie soll für die Fernwärmeerzeugung erschlossen werden: Im KnB 2030 wird eine Leistung an tiefer Geothermie von 48 MWth aufgebaut, die 3% des Fernwärmebedarfs deckt. In weiteren Szenarien werden bis zu 126 MWth mit tiefer Geothermie bereitgestellt. Überschlüssig sind damit bei einer Wärmeleistung von 5 – 10 MWth je Bohrloch-Dublette insgesamt ca. 12 – 24 Dubletten erforderlich. Diese Angaben decken sich mit der Potenzialeinschätzung des Landes Berlin (50 MWth in ca. 15 Anlagen, *Abgeordnetenhaus Berlin 2022*).

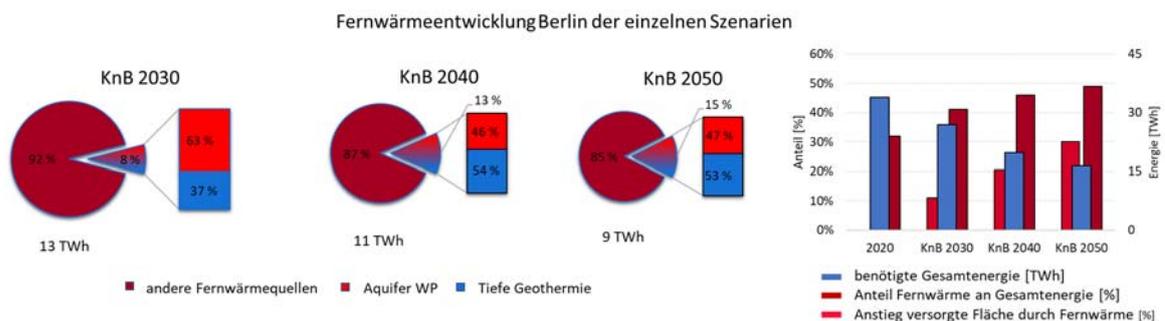


Abbildung 4: Entwicklung der Fernwärmeversorgung in Berlin für die 3 untersuchten Szenarien (Daten aus Hirschl et al., 2021)

Die restliche Wärme wird über Umweltwärme und Strom (Wärmepumpen) und in geringem Anteil durch Gas, welches dann klimaneutral sein muss, erzeugt. Dabei sieht die Studie in Ein- und Zweifamilienhausgebieten einen nahezu umfassenden Umstieg auf Wärmepumpen vor. In Ein- und Zweifamilienhaus-Gebieten, in denen keine wasserrechtlichen Restriktionen bestehen, sollen die effizienteren erdgekoppelte Wärmepumpen eingesetzt werden, in den übrigen Gebieten Luft-Wärmepumpen. Dies bedeutet, dass in Berlin jährlich etwa 10.000 Ein- und Zweifamilienhäuser, zuzüglich weiterer Gebäude mit höherer Bebauungsdichte, durch oberflächennahe Geothermie erschlossen werden müssen (Hirschl et al. 2021).

Wärmeversorgung Brandenburg

Das *Gutachten zum Klimaplan Brandenburg* beziffert den Endenergieverbrauch für Wärme im Gebäudesektor im Basisjahr 2018 auf 26 TWh. Bis 2030 soll er nach dem empfohlenen Szenario auf 20 TWh sinken und bis 2045 auf 13 TWh (Hirschl et al., 2023). Bis 2045 sollen Wärmepumpen 58 % der Wärme bereitstellen, Fernwärme 26 % und der Rest verteilt sich auf Biomasse, Solarthermie und kleinere Mengen an Mischgas, welches dann klimaneutral sein muss.

Dabei sinken die Fernwärmeverbräuche von 9 TWh in 2018 auf 6 TWh in 2045, obgleich deutlich mehr Gebäude durch Nachverdichtung und Neuerschließung mit Fernwärme versorgt werden. Die Reduktion ergibt sich durch die energetische Gebäudesanierung (Hirschl et al., 2023). Mitteltiefe und tiefe Geothermie tragen mit jeweils 11 % zur Fernwärmeerzeugung bei. Die oberflächennahe Geothermie trägt dabei weitere 6 % der Fernwärmeerzeugung bei. Die Studie geht dabei davon aus, dass bis 2045 insgesamt 108 MW an oberflächennaher Geothermie, 100 MW an mitteltiefer Geothermie und 80 MW an tiefer Geothermie (Hirschl et al., 2023) errichtet werden (Abb. 5).

Fernwärmeentwicklung Brandenburg

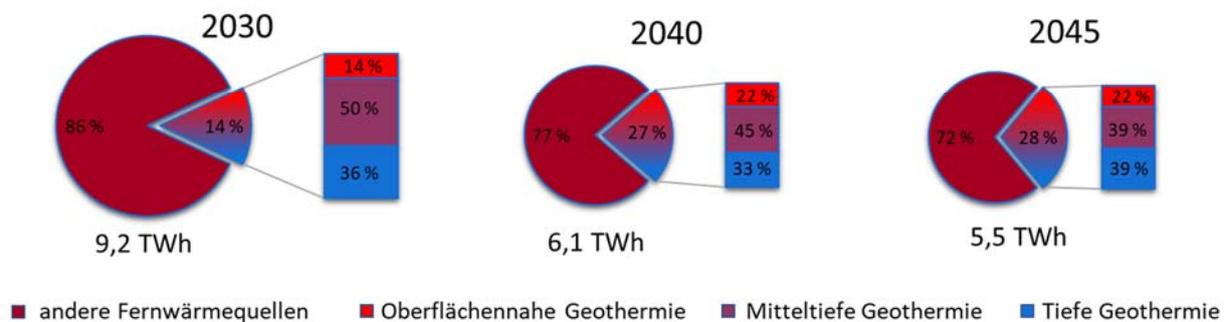


Abbildung 5: Entwicklung der Fernwärmeversorgung Brandenburg (Daten aus Hirschl et al., 2023)

Wärmespeicher Berlin und Brandenburg

Die Berliner Studie empfiehlt des Weiteren zur Speicherung der sommerlichen Überschusswärme mindestens einen Aquiferspeicher zu errichten (Hirschl et al., 2021). In der *Potenzialstudie klimaneutrale Wärmeversorgung Berlin 2035* (Egelkamp et. al., 2021) bilden Speicher mit 200 GWh Kapazität für die Flexibilisierung und saisonale Speicherung sowie 700 GWh saisonale Speicherkapazität für Solarthermie ein zentrales Element der Dekarbonisierung. Der natürliche Untergrund wird aber nicht als Speicheroption berücksichtigt. Die Studie empfiehlt Energieparks, in denen industrielle Abwärme und/oder Geothermie mit Solarthermie zusammengefasst werden. Sie gibt hierfür acht exemplarische Standorte in Brandenburg an (u.a. Rüdersdorf, Hennigsdorf). Die Studie betont die Notwendigkeit der länderübergreifenden Zusammenarbeit beim Aufbau der nachhaltigen Wärmeversorgung.

Keine der drei genannten Studien betrachtet explizit den perspektivisch aufgrund des Klimawandels ansteigenden Bedarf an Kühlung und Kälte. Zur Deckung dieses Bedarfs kommt sowohl die direkte Bereitstellung von Kälte mit durch Geothermie angetriebenen Absorptionskältemaschinen in Frage als auch die Nutzung des Untergrundes als Kältespeicher. Solche Systeme können zudem Kühltürme bzw. Rückkühlanlagen ersetzen, Wärmelasten für die Umwelt senken und Wasserverbräuche reduzieren.

Fazit: *Trotz der genannten hohen Potenziale stellen sich die Fragen, warum diese bisher nicht erschlossen wurden und was dafür nötig wäre. Handlungsempfehlungen für die Erschließung werden in der „Roadmap Tiefe Geothermie Deutschland“ (Bracke & Huenges, 2022) gegeben. Speziell für die Region Berlin-Brandenburg fehlen Demonstratoren und Diffusionsmaßnahmen². Hierfür werden sowohl getrennt für Berlin und Brandenburg Analysen, Projekte und Empfehlungen – als auch länderübergreifende Geoenergie-basierte Wärmelösungen (regulativ, akteurbezogen, infrastrukturell) gebraucht.*

² Diffusion: vom Einzel/Demovorhaben durch entsprechenden Aufbau von Prozessen und Strukturen gezielt in die Fläche/in die Verbreitung zu kommen. Dafür braucht es einen passenden regulativen Rahmen, Monitoring & Indikatoren, Verwaltungsprozesse und -Personal, Information und Beratung, Förderung und Finanzierung.

3. Umsetzungsschritte zur Nutzung des geoenergetischen Potenzials

Auf dem Weg zur klimaneutralen Wärmeversorgung spielt neben der energetischen Sanierung von Gebäuden die Umgestaltung des Wärmesektors die entscheidende Rolle. Wie in Kapitel 2 dargelegt, ist in Ballungsräumen die Fernwärmeversorgung, die z.B. in Berlin ein Drittel des Wärmebedarfs abdeckt und deren Anteil zukünftig noch deutlich steigen soll, von großer Bedeutung. Die effiziente Nutzung von Energiequellen wie Abwärme, Oberflächenwasser, oberflächennahe und tiefe Geothermie erfolgt in der Regel mittels dezentraler Wärmeerzeugung in sinnvoller Kombination durch verschiedene Erzeuger. Abwärme und Geothermie bieten dabei eine gute Grundlastversorgung, da sie ganzjährig und wetterunabhängig zur Verfügung stehen. Spitzenlasten können durch Wasserstoff und Biogas abgedeckt werden. Falls erforderlich, kann die geothermisch gewonnene Wärme auch mit Wärmepumpen auf das benötigte Temperaturniveau angehoben werden. Damit die Geothermie die Transformation des Wärmesektors ermöglicht, sind die im Folgenden beschriebenen Umsetzungsschritte notwendig:

I. Vorerkundung – Schließen der Wissenslücken zum geologischen Untergrund

Wie in Kapitel 1 dargestellt, sind Lage, Mächtigkeit und Beschaffenheit der für die Geoenergie geeigneten geologischen Horizonte oft nicht im Detail bekannt. Flächendeckende indirekte und punktuelle direkte Erkundungsmethoden müssen daher im großen Maßstab eingesetzt werden. Dazu gehören seismische Verfahren, vor allem in 3D, sowie das Abteufen von Explorations- oder Forschungsbohrungen mit dem Zweck lokal die Untergrundbeschaffenheit zu ermitteln. Bei den Bohrungen ist es wichtig kernende Verfahren einzusetzen, da an Gesteinsproben wesentlich bessere Aussagen insbesondere zur Durchlässigkeit der Formationen getroffen werden können

Generell nehmen Unsicherheiten zur Ausprägung und Mächtigkeit der Formationen mit zunehmender Tiefe zu. Insbesondere unterhalb der Trinkwasserhorizonte ist die Datenlage meist spärlich, da Untergrunderkundung meist in den Grundwasserleitersohlschichten endet. Zudem nehmen die Kosten von Bohrungen generell mit der Tiefe zu.

Neben geophysikalischen und bohrtechnischen Erkundungen sind Demonstrationsprojekte notwendig, wobei hier unterschiedliche Teufen und unterschiedliche geologische Einheiten für die sehr variablen technologischen Anforderungen (Speicherung/Wärme/Kälte) berücksichtigt werden müssen. Die gewonnenen Daten sollten in ein zu erstellendes Geothermie-Kataster einfließen. D.h. die Art der durchgeführten Untersuchungen zusammen mit ihren Metadaten und den jeweiligen Mess- und Untersuchungsergebnissen sollten über ein benutzerfreundliches Onlineportal verfügbar gemacht werden. Auch der Datentransfer- und Austausch sollte vereinfacht werden, optimalerweise so, dass auch Belange nach dem Geologiedatengesetz berücksichtigt werden. Idealerweise ermöglicht das Datenportal eine Veröffentlichung der Messergebnisse als Datenpublikation. Das Onlineportal sollte nach Möglichkeit auch eine Austauschmöglichkeit mit den Bohrkernlagern der Bundes- und Ländereinrichtungen aufweisen, um die noch vorhandenen Bohrkern aus Bohrungen für mögliche weitere Untersuchungen nutzbar zu machen. Dafür ist neben der Kenntnis der Eigentümer- und Nutzungsverhältnisse an den Bohrkernen auch ein transparentes Vorgehen für die Bewertung von geplanten destruktiven Laborversuchen an den Bohrkernen notwendig.

Die gewonnenen Daten sollten in geologische Untergrundmodelle fließen und die bereits vorhandenen Modelle sind zu integrieren. Neben den geologischen Informationen sind genaue Kenntnisse zu den Fluideigenschaften wichtig, da diese kontrollieren, welche Risiken (z.B. Korrosion oder mineralische Ausfällungen) ggf. im Anlagenbetrieb auftreten.

II. Ausweisung von Vorzugsgebieten, Monitoringkonzepte definieren und etablieren, Nutzungskonkurrenz vermeiden

Damit die Geoenergie den oben genannten Beitrag zur Transformation der Wärmewende im städtischen Bereich mindestens wie gefordert leisten kann, bedarf es eines Raum- bzw. Nutzungsmanagements durch die Kommunen bzw. der Städte, um eine Nutzungskonkurrenz zu vermeiden. Dies ist die Voraussetzung dafür, den Untergrund als Ganzes langfristig und effizient zu nutzen, Beeinflussungen durch verschiedene geothermische Systeme untereinander auszuschließen bzw. aufeinander abzustimmen und auch die Ressource Grundwasser zu schützen. In diesem Zusammenhang sollten die zuständigen Behörden Vorzugsgebiete ausweisen, in denen der Untergrund mit vereinfachten Genehmigungsverfahren geothermisch genutzt werden kann. Dadurch kann auch die oberirdisch orientierte Raumplanung mittels eines Nutzungsmanagements des Untergrundes ergänzt und der Energieressource angepasst werden (Hirschl et al., 2023). Für die Vorzugsgebiete müssen jedoch klare physikalische und chemische Monitoringauflagen festgelegt werden, um Grund- und Trinkwasser zu schützen: Insbesondere im städtischen Raum erfordert die intensive Erschließung der oberflächennahen Geothermie ein Monitoring des Untergrundes im Hinblick auf dauerhafte Temperaturänderungen und thermische Beeinflussung des Grundwasserleiters. Bei der Planung und Ausweisung von Vorzugsgebieten muss national und international grenzüberschreitend gearbeitet werden, da sowohl Ballungs- als auch Wirtschaftsräume über Grenzen hinweg existieren. Dies würde die Zeiten für die Planung und den Ablauf von geothermischen Projekten deutlich reduzieren.

Abgleich von Nachfrage und Angebot

Beide Länder sind derzeit dabei, Wärme- und Kältekataster zu erstellen. Brandenburg plant, bis Ende 2023 die Daten als Wärmekataster öffentlich über das Energieportal Brandenburg bereit zu stellen (MWAE 2023 und <https://energieportal-brandenburg.de/cms/inhalte/themen/kommunale-waermeplanung>). Die Daten sollen gebäudescharf aufgenommen werden. Für die Abfrage soll aus Datenschutzgründen eine Aggregation mit mindestens 4-5 Gebäuden erfolgen. Weiterhin werden vorhandene Netze sowie Wärmebedarfe anhand von Wärmelinienindichten dargestellt. Eine Bestands- und Potenzialanalyse sowie ein Prognosemodell vervollständigen das Werkzeug. Das LBGR Brandenburg stellt die öffentlich zugänglichen Daten in einem Portal zur Verfügung (LBGR 2023). Berlin stellt ebenfalls bereits jetzt den Bezug von netzgebundener Endenergie (Fernwärme, Strom, Gas) aufgelöst nach Postleitzahlen zur Verfügung (Berlin 2023a). Die Erstellung eines Wärmekatasters mit Bedarfs- und Potenzialanalyse soll bis ca. 2024 abgeschlossen sein (Berlin 2023b). Beide Länder nutzen für die Werkzeuge frei verfügbare Daten. Fragestellungen, die sich aus der verstärkten und teilweise regional intensiven Nutzung der Geothermie ableiten, werden (noch) nicht adressiert.

III. Revision des rechtlichen und regulatorischen Rahmens, bergrechtliche Maßnahmen, Beteiligung

Ergänzend zum aufgeführten Punkt ‚Monitoring‘ sind grundsätzliche Lösungen für Zielkonflikte zwischen dem Einsatz von Geothermie als Wärmequelle und Wärmespeicher und dem Schutz des Grundwassers notwendig (Hirschl et.al. 2021). Diese sind sowohl in der Technik als auch in der Regulierung und der Genehmigungspraxis angesiedelt.

So können die notwendigen Umsetzungsgeschwindigkeiten (z.B. Fertigstellung einer Anlage zur Nutzung der tiefen Geothermie innerhalb von 6 – 7 Jahren nach Projektbeginn, der Neubau langer Trassen zur Erschließung der Wärmequellen im Berliner Umland innerhalb weniger Jahre oder die Errichtung von Anlagen zur Nutzung flacher Geothermie in der notwendigen großen Anzahl) nur mit vorausschauender Raumplanung, Einbindung der Genehmigungsbehörden und vorauslaufende, intensive Beteiligung der Bewohner*innen erreicht werden. Das Land Berlin bestätigt standardisierte Genehmigungsverfahren und optimale Ausnutzung bergrechtlicher Genehmigungsfelder als Voraussetzung für die Umsetzbarkeit der hydrothermalen Anlagen in der vorgesehenen Zeit und im vorgesehenen Umfang (*Abgeordnetenhaus 2022*).

Als Maßnahmen zur Erschließung der Geothermie sieht das Gutachten zum Klimaplan Brandenburg vor, dass das Land Brandenburg die Grenze für das Bergrecht im Landesrecht auf 400 m Teufe verschiebt, um die Genehmigung der oberflächennahen Geothermie zu vereinfachen. Es sollen kurze Verfahrensfristen für die Erstellung des bergrechtlichen Betriebsplans festgelegt werden, die Wasserwirtschaft personell aufgestockt und eine einheitliche Weiterbildung mit regelmäßigen Treffen zur Qualifizierung und zum Informationsaustausch mit Behörden, Planenden, Nutzenden und Ausführenden durchgeführt werden. Außerdem empfiehlt die Studie die Erstellung eines Fachgutachtens zu den Potenzialen der Geothermie und Nutzungsstrategien und die Erstellung einer Roadmap zur Erschließung der Geothermiepotenziale (Hirschl et al., 2023).

IV. Ausbau und Ertüchtigung von Fernwärmenetzen

Ein weiterer wichtiger Punkt zur klimaneutralen Wärmeversorgung ist die Transformation und der Ausbau von Wärmenetzen, dazu gehört auch das Fernwärmenetz. Bei Wärmenetzen in Quartieren müssen diese hydraulisch abkoppelbar von den Hauptleitungen sein, damit die Einbindung verschiedener Wärmequellen möglich ist. Dies bedarf punktuell größerer Querschnitte aufgrund höherer Durchflussmengen, um die Wärmekapazität im Netz beizubehalten.

Quartiersbezogene Wärmenetze

Im ländlichen Raum bietet insbesondere die Agrothermie (Wärmegewinnungsanlagen der oberflächennahen Geothermie auf Agrarflächen) eine gute Möglichkeit zur Wärmeversorgung durch kalte Nahwärmenetze. Der ländliche Raum bietet viel Platz sowohl für horizontale- als auch für vertikale geothermische Systeme. Insbesondere für geplante Neubausiedlungen bietet die gemeinschaftliche Nutzung von oberflächennaher Geothermie eine gute Möglichkeit effiziente und günstige Wärme- und Kälteversorgung bereitzustellen. Hier bedarf es aber politischer Handlung die Wärmeversorgung festzuschreiben und den Untergrund als Energiequelle bzw. -senke zu managen. In diesem Rahmen müssen auch die offenen geothermischen Systeme angesprochen werden, die deutlich kostengünstiger und effektiver funktionieren als die geschlossenen. Diese finden aufgrund des Grundwasserschutzes kaum Anwendung. Um dies entsprechend anzupassen, gibt es auch hier Handlungsbedarf auf Seiten des Gesetzgebers.

Die Nutzung von Abwärme bietet auch ein hohes Potenzial für die Wärmeversorgung und Zwischenspeicherung in ländlichen Gebieten. In Gewerbegebieten oder Industrieparks fallen große Mengen an Abwärme an, die durch Aquiferspeicher zwischengespeichert werden können. Insbesondere die Ansiedlung neuer Industrie und der damit verbundene Neubau von Wohnraum könnte eine Wärmeversorgung über Abwärme/Fernwärme ermöglichen. Ein Pilotprojekt zur Nutzung des Abwärmepotenzials, z.B. in Grünheide/Tesla könnte in dieser Hinsicht wegweisend sein.

Die Möglichkeit von Nahwärmenetzen und Quartierskonzepten sollte bezüglich der Art der Integration in das Gesamtkonzept und in der konkreten Konzeption der Standortgestaltung ausgearbeitet werden. Idealerweise werden standardisierte Systemkonzepte entwickelt, die an verschiedenen Standorten mit geringen Anpassungen umgesetzt werden können. Zudem sind neue, kooperative Geschäftsmodelle zur Umsetzung dieser Konzepte zu entwickeln und zu erproben.

V. Installation von Wärme- und Kältespeichersystemen im Untergrund

Eines der Hauptprobleme der Wärmewende ist die effektive Speicherung von überschüssiger Wärme, die insbesondere in den Sommermonaten anfällt, da viele Wärmequellen auch oder sogar überwiegend im Sommer Wärme erzeugen. Aquiferspeicher bieten ein großes Potenzial für die Speicherung dieser Wärme (z.B. Abwärme oder Solarwärme), da große Mengen thermischer Energie bei höheren Temperaturen sowohl für kurze als auch für längere Zeiträume zwischengespeichert werden können. Aquiferspeicher haben auch das Potenzial für eine direkte Nutzung im Wärmenetz bei Neubauten und/oder sanierten Gebäuden. Im Rahmen des Transformationsprozesses können die Aquiferspeicher in Verbindung mit Hochtemperatur-Wärmepumpen problemlos mit der Fernwärme vernetzt werden. Auch die enormen Überschüsse solarer Stromerzeugung im Sommer können durch power-to-heat Verfahren im Untergrund gespeichert und im Winter als zusätzliche Wärmequelle zur Verfügung gestellt werden.

Die Nutzung des natürlichen Untergrundes zum saisonalen Ausgleich des Wärme- und Kältebedarfs ist ein Schlüsselement der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung (Hirschl et. al. 2021). Hier müssen möglichst standardisierte Konzepte für die Nutzung der oberflächennahen und mitteltiefen Horizonte entwickelt werden: dabei geht es sowohl um Konzepte zur sommerlichen Regeneration von Erdwärmesonden, z.B. durch Solarthermie, als auch um die Nutzung des tieferen Untergrundes (in Aquiferspeichern) als Wärme- und Kältespeicher.

Der Untergrund kann nicht nur als Wärmequelle, sondern auch als Wärmesenke verstanden werden. Mit steigenden Außentemperaturen als Folge des Klimawandels wächst auch der Bedarf an Kühlung. Insbesondere die oberflächennahe Geothermie mit Untergrundtemperaturen von 10 - 12° C in Berlin und Brandenburg bietet dafür eine gute Grundlage. Diese lässt sich ebenfalls am besten mit einem saisonalen Speicher realisieren. Wichtig ist dabei, dass die Energie, die dem Erdreich entzogen wird, später wieder zurückgeführt wird. In diesem Rahmen müssen auch offene geothermische Systeme angesprochen werden, die deutlich kostengünstiger und effektiver sind als geschlossene Systeme. Diese finden aufgrund des Grundwasserschutzes kaum Anwendung. Trotz einer ersten, erfolgreichen Wärme und Kältespeicheranlage in Berlin (Parlamentsbauten; Rockel et al., 1999), gibt es weder regional noch deutschlandweit die entsprechenden Umsetzungsprojekte. Maßnahmen, um hier in der Entwicklung voranzuschreiten, sind weitere Demonstrationsprojekte und damit verbundene Grundwasser-Monitoringprogramme, die überwachen, inwieweit Temperaturveränderungen sowohl in der Speicherformation als auch in angrenzenden und hangenden (darüber liegenden) Formationen einen Effekt auf

die biotische und abiotische Wasserzusammensetzung haben. Basierend auf den Ergebnissen der Forschungsprojekte können dann Regularien im Grund- und Trinkwasserschutz ggf. angepasst werden.

VI. Fachkräfteausbildung

Ein entscheidender Engpass in der Umsetzung der Maßnahmen zum Erreichen der hier skizzierten Ausbauziele besteht in der bundesweiten Verfügbarkeit ausreichend qualifizierten Fachpersonals. In der Roadmap Tiefe Geothermie (Bracke & Huenges 2022) wird der Bedarf an technischem und akademischem Fachpersonal deutschlandweit mit ca. 50 000 beziffert, mittelfristig jedoch auf weit über 100 000 geschätzt. Die Kapazitäten für die Fortbildung von 10 000 Fachkräften pro Jahr wird dafür empfohlen. Hier bedarf es einer gezielten Aus- und Fortbildungsinitiative sowohl akademischer Kapazitäten in Innovation und Entwicklung als auch im Bereich der handwerklichen Qualifikation. Durch die Forschungseinrichtungen in Brandenburg und Berlin werden jetzt schon neue junge Fachkräfte ausgebildet. Handlungsbedarf besteht für den Quereinstieg in den Bereich der Geoenergie. Hier sollen in Absprache mit den Bildungsministerien beider Länder anerkannte Weiterbildungsangebote für Arbeitnehmer/innen geschaffen werden, die dem Fachkräftemangel entgegenwirken und durch den Transformationsprozess freierwerdenden Arbeitskräften die Möglichkeit zum Einstieg Geoenergie lückenlos ermöglichen sollen. Die Einführung von Hochschulzertifikaten, sowie Weiterbildungsmaßnahmen z.B. im Fernstudium oder sogar die Entwicklung eines Curriculums für einen Geothermie-MSc Studiengang können hierunter erfolgen.

Wichtig ist der interdisziplinäre Ansatz der Ausbildung bzw. Wissensvermittlung, z.B. die Kombination von Maschinenbau- oder Werkstoffkenntnissen neben den Energie-technologischen Themen.

VII. Forschungsbedarf

Die wesentlichen Forschungsempfehlungen zur Geothermie hat der Bundesverband Geothermie zusammengefasst (BVG 2020). Hier wird für die Bereiche Tiefe Geothermie, oberflächennahe Geothermie, Wärmeverteilnetze, Energiespeicher im Untergrund und Umwelteinwirkungen, Nachhaltigkeit und Akzeptanz der Forschungsbedarf zusammengefasst. Dazu gehören beispielsweise:

- Die Einbindung von Geothermie in bestehende und neue Systeme der Wärmeversorgung im ländlichen und im urbanen Raum
- Die Entwicklung von möglichst standardisierten Vorgehensweisen und Konzepten
- Die Weiterentwicklung von Hochtemperatur-Wärmepumpen und Ad- und Absorptionskältemaschinen
- Der Betrieb multivalenter Quartierslösungen einschließlich Entwicklung von Monitoringkonzepten, unter besonderer Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens (Speicherverhalten, Wettereinfluss)

In den Forschungsempfehlungen des BVG wird auch regional unterschieden zwischen den geologischen Besonderheiten in den deutschen Geothermieregionen des Molassebeckens, des Oberrheingrabens und dem Norddeutschen Becken.

Speziell für die Region Berlin Brandenburg gilt hierbei u.a.:

- Die Weiterentwicklung reflexionsseismischer Techniken zur Erkundung der Feinstruktur im Reservoirhorizont wie z.B. zwischengelagerte Tonschichten sowie reduzierte Porosität/Permeabilität durch Zementation des Porenraums, auch unter Verwendung angepasster elektromagnetischer Verfahren. Kartierung von Schüttungsrinnen aus dem skandinavischen Hochland in das Sedimentbecken.
- Laborexperimente zur Gewinnung standort-unabhängiger Modellparameter, die bei der Modellierung thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemischer (THMC) Prozesse für realistische Prognosen benötigt werden (z.B. thermophysikalische Fluidparameter, Minerallöslichkeiten etc.).
- Kompilation der relevanten Daten für geklüftete Sandsteine und Karbonatgesteine des Devons und Karbons im nordwestlichen Raum und Einpflege in das Geothermische Informationssystem.
- Entwicklung eines angepassten Konzeptes für seismische Explorationsmethoden auf tiefliegende Sand- und Karbonatgesteine.
- Ausweisung von möglichen Vorzugsgebieten/Pilotstandorten.

Die flächendeckende Umsetzung der geforderten Anzahl Geothermieprojekte in unterschiedlichen Umgebungen erfordert geeignete, verfügbare und möglichst kostengünstige Materialien. Dies kann durch die Bereitstellung eines Werkstoffkatalogs für anwendungsbezogene Einsatzgebiete erleichtert werden.

Basierend auf den Studien zum Erreichen der Klimaneutralität in Berlin und Brandenburg (Hirschl et. al. 2021 und 2023, Egelkamp 2021) ergibt sich außerdem die Notwendigkeit, bei allen betrachteten Technologien die konkrete technische Umsetzung und damit auch technischen Begrenzungen des Potenzials auszuarbeiten (die Angaben der Studien beziehen sich auf theoretische Potenziale, wichtig ist das technische bzw. erschließbare Potenzial unter Berücksichtigung der Machbarkeit) sowie die lokalen Konsequenzen für die soziale Verträglichkeit zu ermitteln.

4. Beitrag der GEB² zur Erreichung der Ziele

Die Geoenergie-Allianz bündelt die Kompetenzen und das Know-how der größten akademischen Fachgruppen in Berlin und Brandenburg in einem Netzwerk. Dieser Zusammenschluss vereinfacht den Zugang zu neuestem Fachwissen in allen relevanten Fragen rund um die Entwicklung und Nutzung von Geonergie-Anwendungen. Angesichts der vielen offenen Fragen, was die Nutzung des Untergrunds angeht, die ja auch in den aktuellen Potenzialstudien zum Ausdruck kommen, ist eine solche Bündelung des Wissens bzw. der Forschungskompetenz aller wesentlichen Aspekte der Geoenergie ein potenzieller Katalysator für die beschleunigte Implementierung und Einbindung energetischer Lösungen unter Einbeziehung des tieferen Untergrunds.

Ein entscheidender Impuls für die zukünftige Nutzung aller hier genannten geoenergetischen Nutzungsoptionen kann von öffentlich geförderten gemeinsamen Forschungsprojekten ausgehen, die gezielt Wissenslücken adressieren und technologische Entwicklungen vorantreiben. Ein Beispiel erfolgreicher Förderung mit entsprechender industrieller Entwicklung ist die Geothermie-Allianz Bayern, die flankierend zur Erschließung der geothermischen Ressourcen aufgebaut wurde und vom Land

unterstützt wird. Die GEB² fühlt sich ebenso dem Ziel einer angewandten, umsetzungsorientierten Forschung zur Begleitung und Beschleunigung der Energiewende im Allgemeinen und des starken Beitrags regionaler geoenergetischer Lösungen im Besonderen verpflichtet.

Wie in dem Organigramm in Abb. 6 dargestellt, setzt sich die Geoenergieallianz Berlin-Brandenburg aktuell aus neun Mitgliedsinstitutionen (Kernpartner) zusammen, die den Lenkungsausschuss bilden und über einen Kooperationsvertrag miteinander verbunden sind. Die Kernpartner zeichnen sich durch unterschiedliche fachliche Expertise in den Bereichen Geoenergie aus und sind zudem in der Region Berlin Brandenburg ansässig. Die Allianz ist aber offen, auch andere Forschungseinrichtungen, Hochschulen und Universitäten in diesen Steuerungskreis aufzunehmen. Diesem Forschungsverbund steht ein Beirat gegenüber, der sich wiederum aus Vertretern von Politik, Behörden, Wirtschaft und Forschern zusammensetzt. Der Beirat gibt die Ideen, Notwendigkeiten und Bedarfe zur Forschung aus diesem Bereich vor und evaluiert gleichzeitig die Ergebnisse aus den Projekten der GEB². Über Projekte der GEB² werden zusätzliche Partner temporär als Partner der GEB² aufgenommen.



Abbildung 6: Organisation der Geoenergieallianz Berlin Brandenburg (GEB²)

Das Strategiepapier „Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland“ (Bracke, Huenges et al., 2022) gibt fünf Empfehlungen für Politik, Behörden, Wirtschaft und Forschung, um die Dekarbonisierung der Wärme mit Hilfe von Geothermie umzusetzen. Diese sind im Wesentlichen auch für die Region und für die Geoenergie allgemein anwendbar (Tabelle 2). **Die GEB² strebt an, diese Forschungsaktivitäten zusammenzuführen, gezielt auszubauen und so die gemeinsame Wirkung zu vergrößern.** Die GEB² kann regional in Berlin Brandenburg entscheidend dazu beitragen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Empfehlungen der Roadmap Tiefe Geothermie und des Bundesverband Geothermie sowie möglicher Beitrag der GEB² für eine erfolgreiche Umsetzung

Empfehlungen	Beitrag der GEB ²
<p>Politische Möglichkeiten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vorgabe klarer Ausbauziele • Beschleunigung von Genehmigungsverfahren • Ausweisung von Vorzugsflächen 	<p>Zusammenarbeit mit Politik und Behörden im Beirat der GEB². Hier können behördliche Vorgaben durch Forschungsergebnisse validiert oder angepasst werden.</p>
<p>Instrumente zur Verminderung der Risiken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zur Reduktion des Fündigkeitsrisiko sind geophysikalische Untersuchungen in Ballungsräumen im Rahmen der geologischen Landesaufnahmen und ein Explorationsbohrprogramm, sowie Demonstrations- und Pilotanlagen mit enger wissenschaftlicher Begleitung notwendig. • Absicherung der Fündigkeit: Einführung eines Instruments zur Risikoabfederung 	<p>Die GEB² plant Forschungs- und Demonstrationsprojekte in der Region sowie begleitende Forschungsmaßnahmen dazu. Sie nimmt sich vor, alle Projektphasen von Vorerkundung, Aufsuchung, Erschließung bis zum langjährigen Betrieb und ggf. Rückbau zu begleiten.</p>
<p>Investitionen in Schlüsseltechnologien – Innovation und Technologie</p> <p>Beispiele: Bohr- und Reservoirtechnologien, Bohrlochpumpen, Hochtemperatur-Wärmepumpen, Entwicklung von Großwärmespeichern, Ausbau von transkommunalen Wärmenetzen, sektorübergreifende Systemintegration</p> <p>➔ Digitalisierung zur Grundlage der Analyse, Planung, Integration, Steuerung und Kontrolle komplexer Energiesysteme</p>	<p>Begleitende Forschungsmaßnahmen der GEB² in allen genannten Bereichen</p> <p>Kartendarstellung: Potenzial des Ausbaus der Fernwärmeversorgung z.B. anhand der vorhandenen Wärmebedarfsdichten, Wärmequellen übertage (Abwärme)</p> <p>Entwicklung kooperativer Geschäftsmodelle zur Finanzierung und Umsetzung von Geoenergie-Projekten</p>
<p>Verstärkung von Aus- und Weiterbildung</p> <p>entlang der Wertschöpfungskette von Forschung und Entwicklung, Komponentenproduktion, Verwaltung, Anlagenbau und -betrieb</p>	<p>Die Berliner und Brandenburger Hochschul- und Forschungslandschaft bietet eine Basis den Nachwuchs aus- und weiterzubilden. Dies kann durch Hochschulzertifikate, Weiterbildung Fernstudium, oder auch durch ein neu entwickeltes Masterstudium erfolgen.</p> <p>Hochschulen und Forschungseinrichtungen unterstützen beim Wissenstransfer/ Unternehmensgründungen / Start-Ups</p>
<p>Erhöhung der Akzeptanz</p> <p>Durch Begleitung einer breiten Öffentlichkeitsarbeit</p>	<p>Forschungsergebnisse der GEB² Partner werden an die Stakeholder inklusive der breiteren Öffentlichkeit auf unterschiedlichen Ebenen und in verschiedensten Formaten kommuniziert (z.B. Citizen Science Projekte, Co-Kreative Workshops, lange Nacht der Wissenschaften,...)</p>

Webseite: (vorläufig)

<https://www.gfz-potsdam.de/sektion/geoenergie/daten-wissenstransfer-netzwerke/geoenergie-allianz-berlin-brandenburg>

Zitierte Literatur

- Abgeordnetenhaus Berlin, 2022, Drucksache 19/12 402 Schriftliche Anfrage des Abgeordneten Stefan Evers (CDU) vom 27. Juni 2022 (Eingang beim Abgeordnetenhaus am 29. Juni 2022) zum Thema: Einsatz und Entwicklungspotenzial von Geothermie in Berlin: <https://pardok.parlament-berlin.de/starweb/adis/citat/VT/19/SchrAnfr/S19-12402.pdf>
- Berlin 2023a. Energieatlas zugänglich über: <https://energieatlas.berlin.de/> (besucht am 28.06.2023).
- Berlin 2023b. [Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt](https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/waermewende-im-land-berlin/waermestrategie/) Wärmestrategie für das Land Berlin (<https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/waermewende-im-land-berlin/waermestrategie/>, besucht am 28.06.2023).
- Bracke, R., Huenges, et al., 2022. Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland - Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft für eine erfolgreiche Wärmewende.
- BVG 2020: Stand der Forschung und Forschungsbedarf in der Geothermie; Dezember 2020 Bundesverband Geothermie e. V. | www.geothermie.de
- Dunkelberg, Elisa; Weiß, Julika; Maaß, Christian; Möhring, Paula; Sakhel, Alice (2021): Entwicklung einer Wärmestrategie für das Land Berlin. Kurzfassung. Studie im Auftrag des Landes Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz; Berlin
- Egelkamp, R., Wett, L. and Kallert, A., 2021. Potenzialstudie klimaneutrale Wärmeversorgung Berlin 2035.
- Frick, M., Kranz, S., Norden, B., Bruhn, D., & Fuchs, S. (2022). Geothermal Resources and ATEs Potenzial of Mesozoic Reservoirs in the North German Basin. *Energies*, 15(6), 1980.
- Hirschl, Bernd; Torliene, Lukas; Schwarz, Uwe; Dunkelberg, Elisa; Weiß, Julika; Katner, Jannes; Hirschberg, Raoul; Schirok, Jörn; Weyer, Gregor; Wagner, Kathrin; Kenneweg, Hartmut; Bluhm, Hannes; Bode, Annika (2022): Gutachten zum Klimaplan Brandenburg – Endbericht. Im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg; Berlin, Potsdam, Cottbus.
- Hirschl, Bernd; Schwarz, Uwe; Weiß, Julika; Hirschberg, Raoul; Torliene, Lukas (2021): Berlin Paris-konform machen. Eine Aktualisierung der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ mit Blick auf die Anforderungen aus dem UN-Abkommen von Paris. Im Auftrag des Landes Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz; Berlin - Betr
- LBGR 2023: Geoportal LBGR Brandenburg: <https://geo.brandenburg.de/> (besucht am 18.07.2023)
- Sippel, J., Fuchs, S., Cacace, M., Braatz, A., Kastner, O., Huenges, E. and Scheck-Wenderoth, M., 2013. Deep 3D thermal modelling for the city of Berlin (Germany). *Environmental Earth Sciences*, 70, pp.3545-3566.
- Rockel, W.I.L.F.R.I.E.D., Brandt, W.U.L.F. and Seibt, P.E.T.E.R., 1999. Ein mesozoischer Aquifer im Zentrum Berlins als saisonaler Wärmespeicher für Parlamentsbauten. *Brandenburgische geowiss Beitr*, 6, pp.91-101.
- MWAE 2023. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie Referat 34: Wärmekataster für Brandenburg – Aktueller Stand und Planung. Verfügbar über https://energieagentur.wfbb.de/sites/wfbb.de/files/2023-04/MWAE_W%C3%A4rmekataster%20f%C3%BCr%20Brandenburg_Melanie%20Scheibe%2029.03.2023.pdf (besucht am 28.06.2023)