

FTI-Roadmap Geothermie

Vision und
FTI-politische
Fragestellungen



FTI-Roadmap Geothermie

Vision und FTI-politische Fragestellungen

Wien, 2022

Impressum

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

1030 Wien, Radetzkystraße 2

Verantwortung und Koordination

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Abteilung Energie- und Umwelttechnologien

Leitung: DI Theodor Zillner

Klima- und Energiefonds

1190 Wien, Leopold-Ungar-Platz 2/1/Top 142

Geschäftsführung: DIⁱⁿ Theresia Vogel

Redaktion

Mag. Hannes Bauer (BMK),

Mag.^a Elvira Lutter (Klima- und Energiefonds),

Mag. (FH) Hannes Warmuth (ÖGUT)

Mitwirkung

DIⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Edith Haslinger (AIT Austrian Institute of Technology),

Mag. Gregor Götzl (Geologische Bundesanstalt)

Fotonachweis: Coverfoto stock.adobe.com

Layout: Projektfabrik Waldhör KG, projektfabrik.at

nachhaltigwirtschaften.at/de/publikationen/fti-roadmap-geothermie.php
nachhaltigwirtschaften.at/geothermie

Wien, 2022

Vorwort BMK

Der Wärme- und Kältesektor ist von zentraler Bedeutung für den Übergang zu einer ressourceneffizienten, wettbewerbsfähigen und klimaneutralen Wirtschaft bis 2040 in Österreich. Das Ziel der Klimaneutralität, zu dem wir uns im Regierungsprogramm bekannt haben, setzt ein grundlegendes Umdenken in der Bereitstellung, Verteilung, Speicherung und Nutzung von Energie voraus und erfordert grundlegende Veränderungen in unserem derzeitigen Energiesystem. Geothermie ist eine verlässliche und saubere Energiequelle, dessen Potenzial sehr groß und in naher Zukunft wesentlich stärker ausgeschöpft werden soll. Neben der Weiterentwicklung von Einzeltechnologien und -komponenten, richtet sich der Fokus in Zukunft verstärkt auf Systemintegration und Sektorkopplung, gerade bei der Dekarbonisierung urbaner Fernwärme- und Kältenetze.

Mit der vorliegenden FTI-Roadmap sollen anhand strategischer Forschungs-, Technologie- und Innovationsfelder das Fundament zu einer verstärkten Nutzbarmachung geothermischer Potenziale in Österreich gelegt und der strategische Rahmen für die Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik (FTI-Politik) verankert werden. Durch die enge Partnerschaft der öffentlichen Hand mit österreichischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen bis hin zu zivilgesellschaftlichen Initiativen setzen wir diesen Rahmen gemeinsam und ermöglichen die Entwicklung und großflächige Erprobung technischer Innovationen „Made in Austria“. Auch durch ihre mehrjährige Ausrichtung soll die Strategie einen wichtigen Orientierungspunkt darstellen, in der sehr dynamischen Welt der Geothermie neue Entwicklungen zu antizipieren und FTI-Maßnahmen umzusetzen. Mit dem Strategiepapier soll nicht zuletzt ein Baustein geliefert werden, die Forschungs- und Technologiepolitik der kommenden Jahre auszurichten und zu gestalten, sondern auch einen Beitrag zu übergeordneten Strategie des Bundes (z. B. Wärmestrategie) zu liefern.

In einem vom Klimaschutzministerium initiierten, partizipativen Prozess gemeinsam mit dem Klima- und Energiefonds konnten Vertreter:innen aus Unternehmen und Forschung sowie relevanten Verbänden, Anregungen und Beiträge zur Ausrichtung der Forschungs- und Innovationsagenda in der Geothermie einbringen. Dieser Expert:innen-Community wurde die Möglichkeit eingeräumt, die für die Geothermie relevanten Forschungs- und Innovationsfelder zu identifizieren, zu kommentieren und Schwerpunkte zu priorisieren. Der Einsatz innovativer, geothermischer Technologien und Systemlösungen und ihre Einbettung in Gesellschaft und Wirtschaft sind wichtige Eckpfeiler für mehr Klimaschutz in Österreich.



Leonore Gewessler,
Bundesministerin für Klima-
schutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und
Technologie
© Cajetan_Perwein

Vorwort Klima- und Energiefonds



Theresia Vogel,
Geschäftsführerin des
Klima- und Energiefonds
© Johannes Hloch

Österreich steht – wie Europa und die gesamte Welt – vor einer Jahrhundertaufgabe: Die Klimakrise eindämmen und damit die Lebensqualität, die Gesundheit und den Wohlstand seiner Bürger:innen erhalten. Die Bundesregierung hat sich daher ein großes Ziel gesetzt: Österreich soll bis 2040 klimaneutral werden. Um dieses Ziel zu erreichen, braucht es vor allem eines: Tempo. Unserem Energiesystem steht daher ein rascher Umbau bevor. Es muss klimafreundlich, zuverlässig, robust und bezahlbar werden.

Geothermie ist eines der Themenfelder, von dem wir uns einen enormen Beitrag zur Energiewende erwarten. Sie ist eine erneuerbare Energiequelle, die die importunabhängige Energieversorgung dezentral und langfristig sicherstellt. Insbesondere im Wärmebereich liegen die Vorteile auf der Hand: Geothermie ist bandlastfähig, saisonal speicherbar und kostengünstig.

Damit die Geothermie mit anderen erneuerbaren Technologien in vergleichbaren Anwendungs- und Leistungsspektren konkurrenzfähig wird, müssen jedoch nicht nur die Kosten für Bohrungen und Bohrtechnologien gesenkt, sondern auch die Entwicklungszeiträume um 30 bis 50% reduziert werden. Forschung und Entwicklung sind daher gefragt – sie müssen noch offene, richtungsweisende Fragen beantworten.

Für den Ausbau der Geothermie sind darüber hinaus beträchtliche Investitionen – auch aus privater Hand – nötig. Damit dieses Geld fließen kann, braucht es zum einen langfristige Planungssicherheit für die Investor:innen und zum anderen eine deutliche Steigerung des öffentlichen Forschungs- und Innovationsbudgets.

Wie auch andere erneuerbare Energien wird Geothermie einen Platz im Zukunftsportfolio der Energieversorgung für Bürger:innen einnehmen. Die vorliegende Roadmap zeigt, wie dies gelingen kann, wie die vorhandenen Kompetenzen aus- und noch fehlendes Wissen aufgebaut werden kann, damit unser Wärmesystem profitiert. Wie eingangs erwähnt – die Zeit drängt, bis 2040 müssen die identifizierten Themenfelder rasch bearbeitet und daraus Ergebnisse für die Praxis abgeleitet werden. Wir freuen uns auf zahlreiche neue Projekte in diesem Bereich.

Inhalt

Vorwort BMK	3
Vorwort Klima- und Energiefonds	4
1 Einleitung	6
1.1 Von der Vision zur Umsetzung – Die FTI-Roadmap Geothermie.....	7
2 Aktueller Stand der Geothermie	12
2.1 Oberflächennahe Geothermie.....	14
Manage_GeoCity – Effiziente Nutzung von Erdwärme im urbanen Raum.....	15
2.2 Tiefe Geothermie.....	16
GeoTief – Erforschung der Geothermiepotenziale im Wiener Becken.....	18
2.3 Untergrundspeicher.....	20
SANBA – Geothermie zur Wärmespeicherung in lokalen Anergienetzen nutzen.....	21
3 Technologien und Potenziale nach Anwendungsbereichen	22
3.1 Oberflächennahe Geothermie.....	24
3.2 Tiefe Geothermie.....	24
3.3 Untergrundspeicher.....	25
4 Vision und Ziele	26
4.1 Vision.....	27
4.2 Übersicht über die Forschungs- und Innovationsziele.....	30
4.3 Forschungs- und Innovationsziele Oberflächennahe Geothermie.....	31
4.4 Forschungs- und Innovationsziele Tiefe Geothermie.....	34
4.5 Forschungs- und Innovationsziele Untergrundspeicher.....	38
5 FTI-relevante Chancen und Herausforderungen der Geothermie in Österreich	40
5.1 Oberflächennahe Geothermie.....	42
5.2 Tiefe Geothermie.....	42
5.3 Untergrundspeicher.....	43

1

Einleitung



1.1 Von der Vision zur Umsetzung – Die FTI-Roadmap Geothermie

Um politisch verbindliche Ziele zur Minderung des Klimawandels einzuhalten, müssen alle Anwendungen erneuerbarer Technologien gebündelt und großflächig umgesetzt werden. Energieforschung und Innovation sind zentrale Wegbereiter einer schrittweisen Dekarbonisierung des Energiesystems und tragen dazu bei, dass spezifische Kosten gesenkt und der volkswirtschaftliche Nutzen erhöht werden. Da die Entwicklung und der Einsatz von Technologien in der Regel mit mehrjährigen Vorlaufzeiten verbunden sind, um zur Marktreife zu gelangen, müssen Forschungsaktivitäten strategisch ausgerichtet und geplant werden. Geothermie ist unter den erneuerbaren Energien diejenige, bei der die Lücke zwischen Potenzial und derzeitiger Nutzung am weitesten auseinanderklafft. Dies ist ein wesentlicher Grund, warum die Bedeutung der Geothermieforschung in Österreich zunimmt und auch an Fahrt gewinnt.

Der Wärmesektor wird sich durch die europaweiten Dekarbonisierungsziele in den nächsten 10–20 Jahren grundlegend verändern. Die Geothermie wird durch ihre vielseitigen Einsatzmöglichkeiten – Heizen/Kühlen, Stromgewinnung und Wärmespeicherung – eine maßgebliche Rolle bei diesem Transformationsprozess spielen. Manche Entscheidungsträger:innen sprechen auch vom bevorstehenden „Geothermischen Jahrzehnt“.

WÄRME AUS DER ERDE NUTZEN

Als Erdwärme bezeichnet man die unterhalb der festen Erdoberfläche in Gesteins- und Erdschichten sowie in unterirdischen Wasserreservoirs gespeicherte Wärmeenergie. Geothermie stellt eine umweltschonende und nachhaltige Technologie zur Nutzung dieser Wärmequellen dar. Die im Untergrund gespeicherte Wärme kann zum Heizen und Kühlen sowie zur Erzeugung von elektrischem Strom oder in der kombinierten Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden und bietet sich vor allem für lokale Energieversorgungskonzepte an. Zunehmende Bedeutung gewinnt die Technologie auch für die saisonale Speicherung von Wärme im Untergrund. Bei der geothermischen Wärmeversorgung wird grundsätzlich zwischen zumeist mit Wärmepumpen unterstützten Niedertemperatur-Anwendungen (Quellentemperatur < 25 °C) und direkten Wärmeanwendungen mit Temperaturen > 60 °C unterschieden. Die Gewinnung elektrischer Energie ist ab einer Temperatur von ca. 90 °C mit Hilfe binärer Verstromungsprozesse möglich. Die direkte Verstromung von Thermalwässern mittels Dampfturbine kann ab Temperaturen über 150 °C stattfinden. In Österreich liegen die höchsten Temperaturen von derzeit genutzten Thermalquellen aufgrund der geologischen Rahmenbedingungen bei maximal 130 °C, eine Direktverstromung findet daher derzeit keine Anwendung. Geothermische Wärmespeicherung (UTES – Underground Thermal Energy Storage) findet derzeit im Temperaturbereich zwischen < 10 °C und 90 °C statt.

OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE

Bei der oberflächennahen Geothermie wird Wärme- oder Kühlenergie mit Hilfe von Erdwärmesonden, Flächenkollektoren oder in Form von direkter thermischer Grundwassernutzung aus den oberen Erd- und Gesteinsschichten gewonnen. Der Untergrund wird dabei bis zu einer Tiefe von ca. 400 Metern und Temperaturen von bis zu 25°C genutzt. Erdwärmesonden und -kollektoren sind Rohrsysteme mit zirkulierendem Wasser, über die dem Boden Wärme entzogen oder zugeführt werden kann. Gekoppelt mit einer Wärmepumpenanlage wird diese zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser oder auch zur Kühlung von Gebäuden verwendet. Die thermische Nutzung des Grundwassers mittels Brunnenanlagen ist unter der Voraussetzung, dass ein oberflächennaher, ergiebiger Grundwasserkörper vorhanden ist (abseits von Grundwasserschutzgebieten), ebenfalls möglich. Erdwärme kann so dazu beitragen, fossile Energieträger bei der Wärme- und Kälteversorgung zu ersetzen.

TIEFE GEOTHERMIE

Tiefengeothermische Anlagen nutzen die Wärme aus einer Tiefe von etwa 1.500 bis 5.000 Metern mit Temperaturen von typischerweise über 60°C. Bei der Tiefen Geothermie werden hydrothermale Anlagen (TRL 7-9), die den Energiegehalt von warmem bis heißem Thermalwasser befördern, und petrothermale Systeme (TRL 4-7), die Wärme aus tiefliegenden trockenen, bis kaum wasserführenden Gesteinsschichten nutzbar machen, unterschieden. Die Wärme aus dem tiefen Untergrund kann zur Wärmeversorgung sowie zur Erzeugung von Strom genutzt werden. Bei einem hydrothermalen System wird mit Hilfe einer Tiefenbohrung heißes Wasser an die Oberfläche transportiert. Die thermische Energie wird über einen Wärmetauscher z.B. an ein Fernwärmenetz abgegeben. Anschließend wird das abgekühlte Wasser wieder in den Untergrund zurückgeführt. Ein petrothermales System benötigt dicht gelagerte Sedimentgesteine oder Kristallingestein. Die Nutzung der Wärme des heißen Gesteins erfolgt durch Aufbrechen von vielen kleinen Klüften, um neue Fließwege für künstlich eingebrachtes Wasser zu schaffen. Das durch das neue Kluftsystem zirkulierende aufgeheizte Wasser wird über eine Förderbohrung an die Oberfläche gebracht und über eine Injektionsbohrung wieder in das Reservoirgestein zurücktransportiert.

Eine Zwischenstellung nimmt die so genannte mitteltiefe Geothermie ein, die Temperaturen zwischen 30 und 60°C nutzt. Mögliche Anwendungen sind tiefe Erdwärmesonden inklusive Nachnutzung von Kohlenwasserstoffsonden, Tunnelgeothermie und seichter liegende Thermalwasserkörper.

GEOTHERMISCHE WÄRMESPEICHERUNG (UTES – UNDERGROUND THERMAL ENERGY STORAGE)

Die thermische Trägheit des Untergrunds ermöglicht die großvolumige und langfristige Speicherung von Wärme und Kälte im Temperaturbereich zwischen $<10\text{ °C}$ und derzeit ca. 90 °C . Hierzu stehen verschiedene technische Konzepte zur Verfügung, die über unterschiedliche technologische Reifegrade verfügen.

- **Erdwärmesondenspeicher (BTES – Borehole Thermal Energy Storage)** besitzen einen sehr hohen technologischen Reifegrad (TRL 7-9) und werden vorrangig zur Speicherung von Niedertemperatur-Wärme (bis ca. 30 °C) in Tiefen von 50 bis ca. 200 Meter angewendet. Der Einsatz erfolgt zumeist in großvolumigen Gebäuden (insbesondere Bürogebäuden) mit alternierendem Heiz- und Kühlbedarf sowie in Niedertemperatur-Wärme- und -Kältenetzen („Anergienetzen“). Außerhalb Österreichs existieren auch BTES-Pilotanlagen, die Wärme im Temperaturbereich bis über 50 °C einspeichern, um auf den Einsatz von Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung verzichten zu können (z. B. Crailsheim, Deutschland).
- **Thermisch aktivierte, erdberührte Gebäudeelemente inkl. Tunnel:** Das technologische Anwendungsprinzip sowie der technologische Reifegrad sind ähnlich zu den Erdwärmesondenspeichern. Der Einsatz erdberührter Gebäudeelemente als Speicher ergibt sich zumeist „schleichend“ aufgrund des alternierenden Heiz- und Kühlbedarfs der Gebäude.
- **Niedertemperatur-Aquiferspeicher (LT-ATES):** Dieses Konzept beruht auf einer alternierenden Nutzung oberflächennaher Grundwasserkörper im Temperaturbereich unter 30 °C (in Österreich wird eine maximale Einleitetemperatur von 20 °C empfohlen). Der Vorteil dieser Anwendungsmethode besteht in der Verringerung der thermischen Auswirkung von Grundwassernutzung durch negative Interferenz der infolge der Anwendung resultierenden Temperaturfahne im Grundwasser. Bei lokal begrenztem und stagnierendem Grundwasservorkommen erfolgt die Wärmespeicherung durch Änderung der Fließrichtung in den thermisch genutzten Grundwasserbrunnen (mindestens ein Brunnenpaar). Bei einer alternierenden thermischen Grundwassernutzung ohne Änderung der Fließrichtung in den Brunnen erfolgt streng genommen keine echte Speicherung, sondern eine thermische Regeneration des genutzten Grundwasservorkommens. Der technologische Reifegrad von Niedertemperatur-Aquiferspeichern ist ebenfalls sehr hoch, insbesondere bei Kleinanlagen. In manchen Staaten, wie z. B. den Niederlanden, ist LT-ATES mittlerweile die Standardanwendung in der thermischen Grundwassernutzung.
- **Hochtemperatur-Aquiferspeicher (HT-ATES)** basieren auf der Nutzung tiefliegender Aquifere in Tiefen zwischen 300 und ca. 2.000 Metern unter Gelände. Das technologische Anwendungsprinzip ist ähnlich wie bei der Niedertemperatur-Aquiferspeicherung. Die Beladung und Entladung der im Regelfall räumlich begrenzten Aquifere erfolgt durch Änderung der Fließrichtung in Tiefbohrungen,

die als Brunnenanlagen genutzt werden. Ein HT-ATES-Speicher besteht wiederum aus zumindest zwei Tiefbohrungen. Im Gegensatz zu Niedertemperatur-Aquiferspeichern besitzt das HT-ATES-Konzept einen etwas geringeren technologischen Reifegrad von TRL 5-7, obgleich erste Pilotanlagen in Deutschland, darunter das Reichstagsgebäude in Berlin, seit ca. 20 Jahren in Betrieb sind. Die bereits bestehenden Hochtemperatur-Aquiferspeicher operieren im Temperaturbereich zwischen 30 °C und 90 °C und bieten Speicherkapazitäten von 10 GWh bis über 50 GWh. Derzeit sind einige Pilotanlagen in Europa in Vorbereitung (Schweiz, Niederlande, Deutschland).

- **Kavernenspeicher und Minenspeicher (CTES – Cavern Thermal Energy Storage)** werden in Festgesteinsgebieten oder zur Nachnutzung von bereits bestehenden Hohlräumen, insbesondere stillgelegten Bergwerken eingesetzt. Kavernenspeicher profitieren von der thermischen Trägheit des umgebenden Gebirges sowie von ökonomischen Synergieeffekten in der Nachnutzung bereits vorhandener Hohlräume. Die Beladung bzw. Entladung der Speicher erfolgt durch Schächte, Bohrungen oder Zuleitungen in Zugangsstollen. Der technologische Reifegrad der Kavernenspeicher liegt ähnlich dem HT-ATES-Konzept im Bereich TRL 5-7. Pilotanlagen existieren z. B. in Schweden (Kavernenspeicher) oder den Niederlanden (ehemalige Kohlemine).

Auf andere unterirdische Speicherkonzepte, wie z. B. Erdbeckenspeicher, die hauptsächlich auf etablierten geotechnischen Konzepten beruhen und nicht die Charakteristika geologischer Speicher (geringer Platzverbrauch an der Erdoberfläche) aufweisen, wird nicht eingegangen; sie sind nicht Gegenstand dieser Roadmap.

VON DER VISION IN DIE UMSETZUNG

Forschung und Entwicklung (FTI) sind Eckpfeiler für die Weiterentwicklung geothermischer Anwendungen und deren Marktakzeptanz. Eine neue Generation geothermischer Systeme und Technologien sowie die Verbesserung bestehender Systeme für neue Anwendungen und Märkte werden dazu beitragen, den Einsatz und die Marktdiffusion von Geothermie zu fördern. Österreichische Unternehmen und Forschungseinrichtungen sind weltweit führend und haben starke Kompetenzen in der geothermischen Wertschöpfungskette, die auch international eingesetzt werden können. Österreichs Akteur:innen können im Gegenzug aus europäischen und internationalen Erfahrungen schnell und effizient Lehren ziehen, damit die Geothermie ihrer Rolle in einem klimaneutralen Österreich gerecht wird.

Diese FTI-Roadmap ist zentraler Bestandteil einer übergeordneten Gesamtstrategie (Wärme, Kälte, Strom), in dem die Forschungs- und Innovationsprioritäten im Bereich geothermischer Technologien, inklusive einer effektiven Integration in bestehende Netze und Infrastrukturen, offengelegt und die Vision einer klimaneutralen und energieeffizienten Zukunft integriert werden. Die Perspektive wird auf **alle Phasen** von Geothermieprojekten gelegt: **Exploration, Erschließung, Errichtung und Betrieb**. Die daraus abgeleiteten FTI-Prioritäten sind weitreichend und spiegeln die Interaktion zwischen Technologien und den beteiligten Gewerken wider.

Auf Basis dieser FTI-Roadmap wird das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) mit Instrumenten der Forschungs- und/oder Umweltförderung langfristig Anreize schaffen, die Forschungs- und Entwicklungsdynamik im Bereich der Geothermie voranzutreiben.

2

Aktueller Stand der Geothermie



In Österreich liegen die installierten Kapazitäten geothermischer Anlagen bei 1,2 MW_{el} (Stromerzeugung), 95,1 MW_{th} (direkte Nutzung) und rund 1.000 MW_{th} (Erdwärmepumpen). Wie in vielen anderen europäischen Ländern wird der Geothermiemarkt von Erdwärmepumpensystemen dominiert (Faktor von etwa 1:10 bei den installierten Kapazitäten). Allerdings ist der Anteil der Geothermie an den installierten erneuerbaren Energien für Heizzwecke noch sehr gering (1,6%) und für die erneuerbare Stromerzeugung vernachlässigbar (<0,1%). Zurückzuführen ist dies in erster Linie auf den allgemein geringen Kenntnisstand über geothermische Technologien und Lösungen in der Öffentlichkeit, hohe Investitionskosten in der Erschließung und Errichtung und einen bislang hemmenden Rechtsrahmen.

Seit 2016 nimmt die direkte geothermische Nutzung (hydrogeothermische Nutzung) wieder zu, was auf eine Anlage für die landwirtschaftliche Nutzung in der Steiermark (Fruturaprojekt) und die bemerkenswerte Erweiterung des Fernwärmeprojekts von Ried/Mehrnach im oberösterreichischen Molassebecken zurückzuführen ist. Im kommenden Jahrzehnt ist mit neuen Fernwärmeprojekten in den Städten Wien und Salzburg zu rechnen. Generell hat sich Fernwärme auf Basis von Geothermie als wirtschaftlich erfolgreich erwiesen, sodass die bestehenden Netze stetig ausgebaut werden.

Die historische Entwicklung des Wärmepumpenmarktes in Österreich ist von einer ersten Phase einer starken Marktdiffusion von Brauchwasserwärmepumpen in den 1980er Jahren, einem deutlichen Markteinbruch in den 1990er Jahren und einer zweiten Phase einer starken Marktdiffusion von Heizungswärmepumpen ab dem Jahr 2001 gekennzeichnet. Die Verbreitung von Heizungswärmepumpen fand ab dem Jahr 2001 parallel zur Marktdiffusion von energieeffizienten Gebäuden statt, die durch einen geringen Heizwärmebedarf und geringe Heizungsvorlauftemperaturen gute Bedingungen für den energieeffizienten und wirtschaftlich attraktiven Einsatz von Wärmepumpen boten. Gemäß Biermayr et al. (2020) steigerte sich der Gesamtumsatz von Wärmepumpen (Inlandsmarkt plus Exportmarkt für alle Anwendungen und Leistungsklassen) von 43.665 Anlagen im Jahr 2019 auf 47.192 Anlagen im Jahr 2020. Dies entspricht einem Zuwachs von 8,1%. Ein Wachstum war dabei sowohl im Inlandsmarkt (+8,0%) als auch im Exportmarkt (+8,3%) zu beobachten. Vor allem die Zahl der Heizungswärmepumpen in der kleinsten Leistungsklasse bis 10 kW wuchs stark. Die Verkaufszahlen für Brauchwasserwärmepumpen zeigten im Inlandsmarkt einen Anstieg von 3,1% und im Exportmarkt einen Anstieg um 1,7%.

Der steigende Bedarf an Kühlung und saisonaler Wärmespeicherung könnte weitere Möglichkeiten bieten, den Gesamtanteil der Geothermie am EE-Markt in Österreich zu erhöhen.

2.1 Oberflächennahe Geothermie

Der Wärmepumpenmarkt in Österreich wächst nach wie vor moderat auf einem recht hohen Niveau der Marktdiffusion.

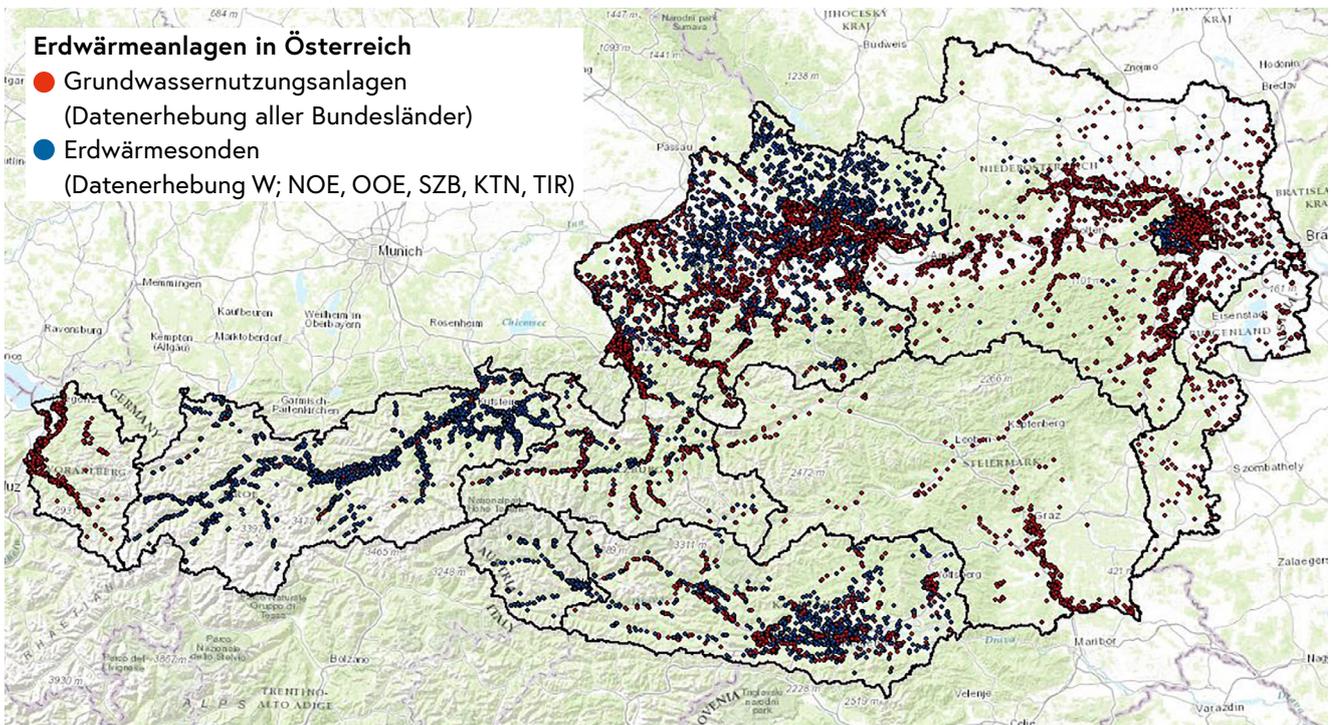
Er wird derzeit von luftgekoppelten Systemen dominiert, die im Jahr 2017 mit insgesamt 18.994 verkauften Einheiten einen Marktanteil von 72% hatten. Der rückläufige Trend begann im Jahr 2008 und führte zu einem Rückgang der erdgekoppelten Wärmepumpen von 60% auf 24% der installierten Systeme im Jahr 2017.

Der Marktanteil von Wasser-Wasser-Wärmepumpen lag 2017 bei nur 3,6%. Bei den Erdwärmetauschern gab es einen Zuwachs von 3,7% bei Anlagen im Leistungsbereich <10 kW und 9,1% im Bereich >10 kW bis <20 kW, was bemerkenswert ist. Bei größeren Anlagen gingen die Verkaufszahlen 2017 hingegen um 9,6% zurück und folgten damit dem negativen Trend von 2016 (-7,3 %). Der Anteil der Wärmepumpen auf Basis von Erdwärmesonden lag 2017 bei 20,1%.

Die gesamte installierte thermische Leistung von erdgekoppelten Wärmepumpen bis Ende 2018 kann auf 1.000 MW_{th} geschätzt werden. Diese Zahl basiert auf einer Wärmeleistung von 840 MW für 2015, veröffentlicht von Goldbrunner & Götzl (2016), und einer jährlichen Wachstumsrate von 53 MW_{th}.

Gemäß Biermayr et al. (2018) zeigt sich, dass Erdwärmepumpensysteme aufgrund der technischen und emissionsbedingten Einschränkungen von Luftwärmepumpensystemen nach wie vor den Sektor der Großanlagen (< 50 kW Gesamtleistung der Wärmepumpe) dominieren.

Abbildung 1:
Projekt GRETA,
Stand 2018



Aktueller Bestand in Österreich (2020)

- Ca. 90.000 Installationen
- Breites Anwendungsspektrum vom Neusiedlersee bis zum Pitztaler Gletscher
- Installierte Erdwärme: 1.100 MW
- Produzierte Wärme: 2.300 GWh
- Anteil am erneuerbaren Wärmemarkt: ca. 4%

Manage_GeoCity

Effiziente Nutzung von Erdwärme im urbanen Raum

Im Projekt Manage_GeoCity wurde anhand der Modellregion Graz eine Methodik für die koordinierte Nutzung und Bewirtschaftung oberflächennaher Erdwärme entwickelt. Mit dem Entzug der Wärme aus dem Untergrund für Heiz- und Kühlzwecke wird ein Abkühleffekt erzielt. Doch die unkoordinierte Nutzung der Erdwärme führt rasch zur gegenseitigen Beeinflussung und einer ineffizienten Bewirtschaftung.

In den Analysen werden Grundwasserströmungen, unterschiedliche geologische Verhältnisse, Wärme- und Kühlbedarf, Wärmeeintrag von Solaranlagen und betrieblicher Abwärme sowie Optionen für die saisonale Speicherung von Wärme im Untergrund berücksichtigt.

FALLBEISPIELE AUS DER MODELLREGION GRAZ

Es wurden Wärme- und Kühlbedarfsanalysen durchgeführt und dem Wärme- und Kältepotenzial des Untergrunds gegenübergestellt. Mit Hilfe von Simulationen konnte die Beeinflussung der Untergrundtemperaturen durch die Wärmeentnahme und -speicherung analysiert werden. Die Methodik berücksichtigt auch etwaige thermische Vorbelastungen des Untergrunds sowie wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen und schafft damit die Basis für eine effiziente und nachhaltige Nutzung von Erdwärme in Stadtgebieten. Sie kann als Grundlage für zukünftige Nutzungs- und Bewirtschaftungspläne herangezogen werden und ist auf andere Städte übertragbar.

PROJEKTERGEBNISSE

Die Simulationsergebnisse für die zwei Fallbeispiele mit grundwasserbürtiger Geothermie zeigen, dass der Einsatz von Wärmepumpen für Heizzwecke eine deutliche Abkühlung des Grundwassers bewirken kann. Für das Fallbeispiel mit Erdwärmesondenfeld sind die räumlichen Auswirkungen im Erdreich begrenzt. Die ökologische Bewertung zeigt, dass für Systeme mit Wärmepumpe die Art der Strombereitstellung einen entscheidenden Einfluss hat. So liegt die Treibhausgasreduktion mit österreichischem Strommix im Vergleich zu fossilen Heizsystemen zwischen 75 und 85%. Um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern, müssen noch die Investitionskosten und die erforderlichen Temperaturen für die Wärmeversorgung der Gebäude optimiert werden.

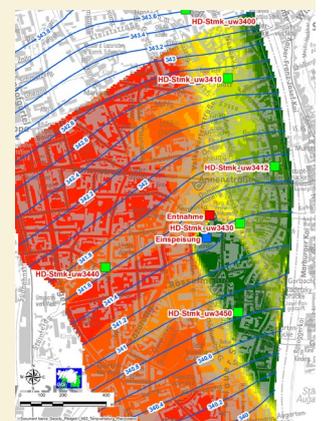


Abbildung 2:
Temperaturverteilung im
Pilotgebiet mit Wasserent-
nahme und Einspeisung,
Abbildung: Joanneum
Research

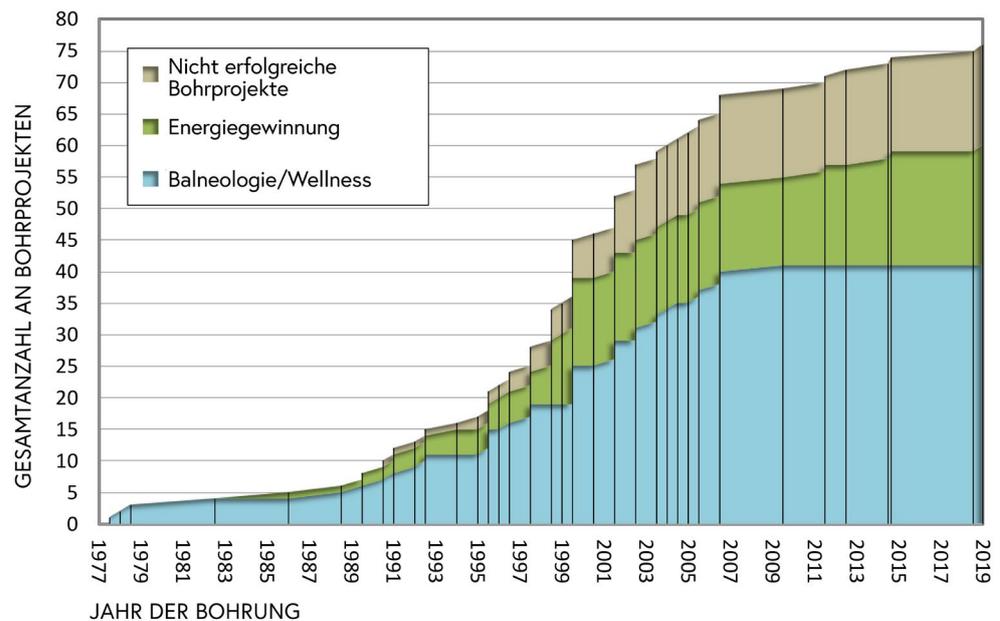
2.2 Tiefe Geothermie

Die Nutzung natürlicher Thermalwässer (hydrogeothermische Nutzung) für balneologische und energetische Zwecke hat in Österreich eine lange Tradition und führte zu mehr als 70 Geothermieprojekten und derzeit 135 km Bohrungen (siehe Tabelle 1). Nach einer Periode intensiver Entwicklung in den 1990er und frühen 2000er Jahren war eine Periode reduzierter Aktivitäten zu beobachten (siehe auch Abbildung 2). Seit 2014 haben die Entwicklungen für die energetische Nutzung des Thermalwassers leicht zugenommen, während die balneologische Nutzung stagniert.

Tabelle 1: Geothermische Bohrungen in Österreich (1977–2018)

	Anzahl Bohrungen	Kumulierte Bohrtiefe [m]
Steirisches Becken	28	48.600 m
Oberösterreichisches Molassebecken	14	30.828 m
Wiener Becken und niederösterreichisches Molassebecken	8	12.605 m
Nördliche Kalkalpen und oberostalpine Einheiten (vorrangig Karbonate)	7	14.802 m
Zentralalpine Einheiten (vorrangig kristalline und metamorphe Gesteine)	19	27.483 m
Pannonisches Becken	1	860 m
Gesamt	77	135.178 m

Abbildung 3:
Geothermische Bohrungen
in Österreich für den
Zeitraum 1977–2018



Neben zahlreichen Thermen sind in Österreich derzeit zehn hydrogeothermische Anlagen in Betrieb. Sie befinden sich im Molassebecken und im Steirischen Becken. Diese Regionen weisen die günstigsten Voraussetzungen für die hydrogeothermische Nutzung hinsichtlich Wärmestromdichte, Aquiferkapazität und Grundwasserchemie auf. Allerdings sind die beiden Regionen bereits intensiv genutzt und bieten laut Könighofer et al. (2014) nur noch begrenzte Restreserven von rund 100 MW_{th}.

Aktueller Bestand in Österreich (2020)

- 2 Anlagen zur Verstromung: ca. 0,5 MW
 >> Elektrische Produktion: ca. 1 GWh
- 10 Anlagen zur Wärmegewinnung: ca. 100 MW
 >> Wärmeproduktion: ca. 300 GWh
- Über 30 Thermalbäder

Potenziale	Nutzung
Thermalwasservorkommen über 100°C	Thermalbad
Thermalwasservorkommen unter 100°C	Wärmegewinnung
Lokal begrenzte Thermalwasservorkommen	Stromgewinnung
	Strom- und Wärmegewinnung
	Wärmegewinnung und Thermalbad

www.geothermie-oesterreich.at

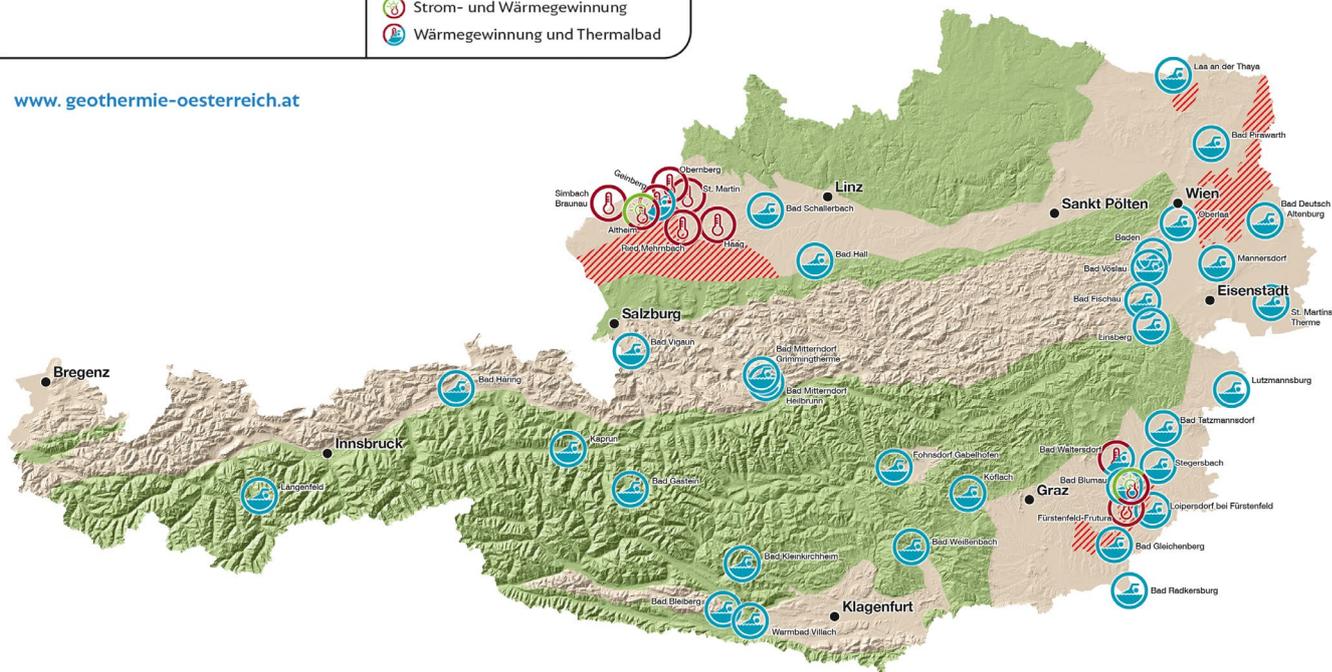


Abbildung 4:
 © Verein Geothermie
 Österreich (2019)

GeoTief

Erforschung der Geothermiefpotenziale im Wiener Becken

Im Projekt GeoTief geht es um die systematische Erforschung und Vermessung des geologischen Untergrunds im Wiener Becken. Ziel ist es, die Potenziale der Tiefengeothermie für die Wärmeversorgung des Großraums Wiens zu quantifizieren und damit eine Entscheidungsgrundlage für Wärmeprojekte zu schaffen. Hydrothermale Geothermie steht als grundlastfähiger Einspeiser für Fernwärmenetze zur Verfügung und wird in den Strategiekonzepten der Stadt Wien als wichtige nachhaltige Zukunftstechnologie erkannt.

Dem Wiener Becken wird ein Anteil von 40 bis 60% an der geschätzten Anwendungskapazität dieser Energieform in Österreich (450 MW bis 700 MW thermisch) zugeschrieben. Die Geothermie könnte den Anteil an erneuerbarer Energie in der Fernwärmeversorgung weiter erhöhen und das Wiener Fernwärmenetz effizienter und nachhaltiger machen. Bis 2030 will Wien Energie 140 MW Geothermie installieren.

SEISMISCHE MESSUNGEN

Im Rahmen des Projekts GeoTief BASE (2D) wurden 2017 erstmals in Österreich im dicht bebauten Stadtgebiet seismische 2D-Messungen für die detaillierte Erkundung des tiefen Untergrunds durchgeführt. Darauf aufbauend erfolgte im Herbst 2018 im Folgeprojekt GeoTief EXPLORE (3D) eine flächendeckende 3D-Seismik-Messung. Entlang von Straßen und Wegen (ausschließlich an der Erdoberfläche) werden Schwingungen in die Tiefe gesandt. Das Signal wird im Untergrund reflektiert und von Sensoren, die in der Nähe der Messfahrzeuge ausgelegt sind, aufgezeichnet.

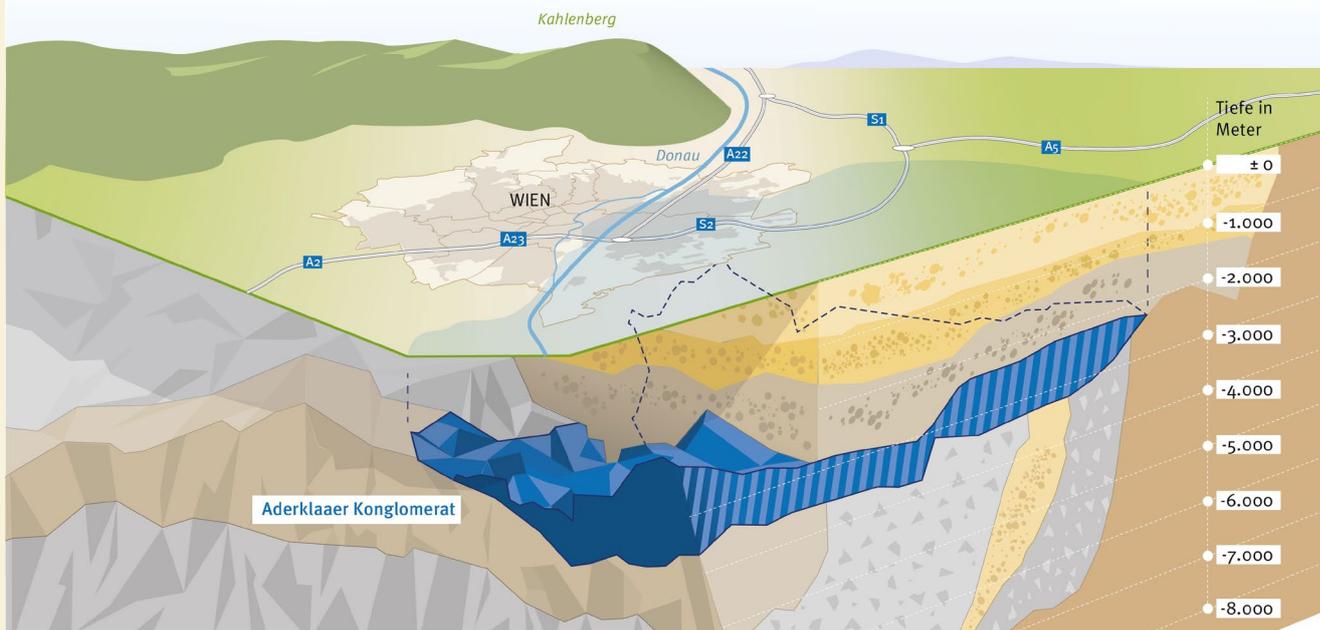
AUSWERTUNG DER DATEN

Aktuell wird das Datenmaterial aus den Seismik-Messungen von rund 50 Terabyte in einer zweijährigen Analysephase wissenschaftlich ausgewertet. Sämtliche Informationen und Daten fließen in ein geologisches 3D-Modell ein, das ein klares Abbild des Untergrunds gibt und die Identifikation und Analyse von potenziellen Thermalwasservorkommen ermöglichen wird.

Abbildung 5:
Impulsfahrzeuge bei
2D-Seismik-Messungen
im Raum Wien und Groß-
Enzersdorf, Fotos: Wien
Energie/Christian Hofer



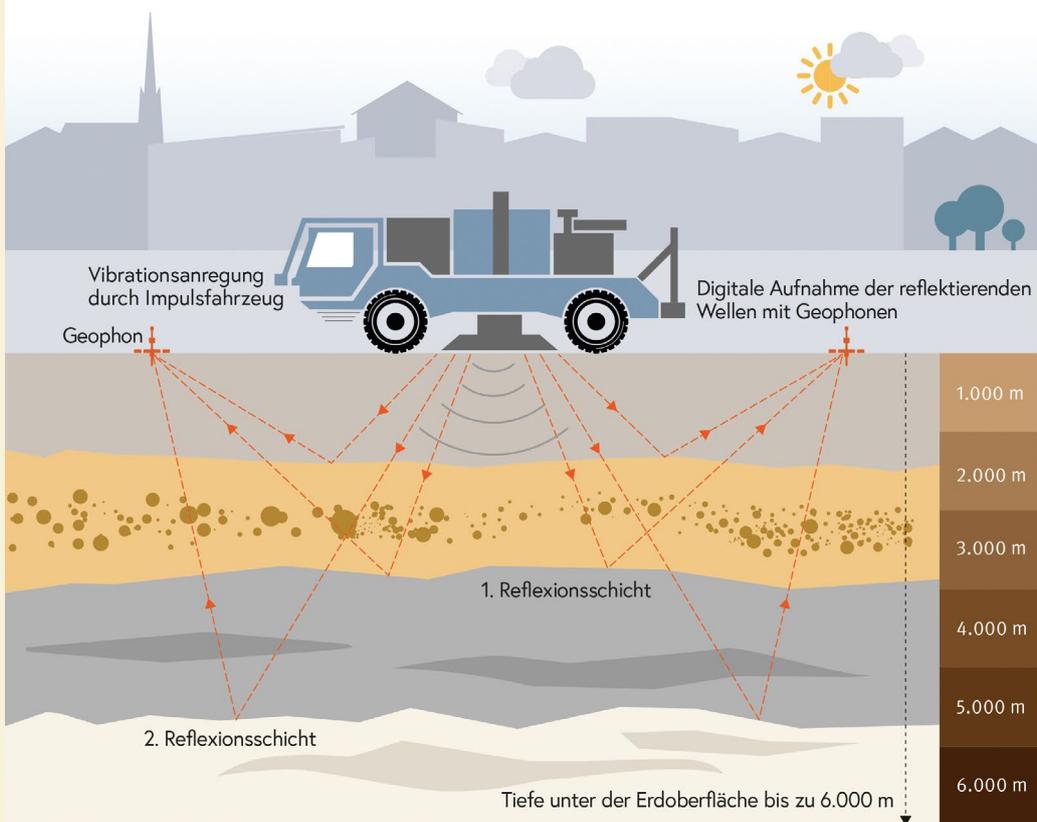
Wiener Wärmewende: Geothermie-Forschung blickt unter die Stadt



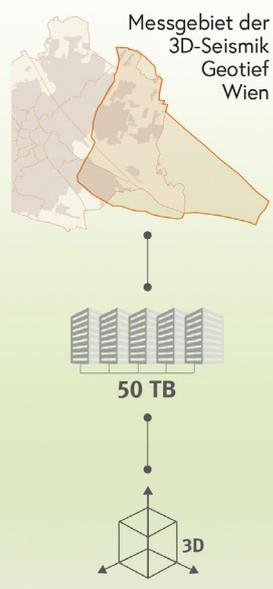
Im Forschungsprojekt **GeoTief** wurde ein detailliertes 3D-Modell vom Wiener Untergrund erstellt. Das Modell zeigt die unterschiedlichen Gesteinsschichten unter der Stadt. Mit dem **Aderklaaer Konglomerat**, rund **3.000 Meter** unter der Erde, konnte das Forschungsteam ein vielversprechendes **Heißwasservorkommen** identifizieren. Dieses will Wien Energie für **Tiefe Geothermie** und damit die **umweltfreundliche Wärmeversorgung** in Wien nutzen.

Auftraggeber, Quelle: Wien Energie

APA-AUFTRAGSGRAFIK



Insgesamt werden **50 Terabyte** Daten gesammelt, die anschließend ausgewertet werden und ein geologisches 3D-Modell des Wiener Untergrunds entstehen lassen



2.3 Untergrundspeicher

Wärme-/Kältespeicher im oberflächennahen Untergrund

Im oberflächennahen Untergrund erfolgt die Wärmeeinspeisung bzw. -rückgewinnung im Allgemeinen mit Erdwärmesonden, jedoch sind grundwasserbasierte Systeme, also Aquiferspeicher, auch in geringen Tiefen möglich. Die geothermische Klimatisierung ist Stand der Technik bei Industrie- und Bürogebäuden oder Einkaufszentren, ein steigender Bedarf ergibt sich bei der Kühlung von Rechenzentren. Mit fortschreitender Klimakrise ist davon auszugehen, dass auch zunehmend Wohngebäude klimatisiert werden, wie dies in anderen Klimazonen seit langem üblich ist.

Zusätzlich zu Erdwärmesonden kommen thermisch aktivierte Betonbauteile, z.B. Energiepfähle, zum Einsatz. Die Speicherung von Solarwärme im Untergrund zur Versorgung von öffentlichen und privaten Gebäuden ist bereits an einigen Standorten realisiert. In Crailsheim und Neckarsulm (beide DE) erfolgt die Wärmeversorgung von Siedlungen durch in Sondenfeldern gespeicherte Solarwärme, in Brædstrup (DK) ist ein derartiges System in das lokale Wärmenetz integriert. Zum Speichern von Wärme im oberflächennahen Bereich ist hauptsächlich ein Untergrund mit geringer hydraulischer Durchlässigkeit geeignet. Dadurch wird ein Abstrom der gespeicherten Wärme mit dem Grundwasserfluss verhindert, es erfolgt auch keine Erwärmung des oberflächennahen Grundwassers.

Wärme-/Kältespeicher im tieferen Untergrund

Für den tieferen Untergrund ist die Speicherung von Wärme/Kälte unter anderem in Aquiferspeichern möglich. Geeignete Aquifere sind z.B. Sandstein oder Kalkstein, in deren Poren- und/oder Klufträumen sich Grundwasser befindet und bewegen kann. Da Aquiferspeicher mit Kapazitäten von bis mindestens zu 10 GWh (36 TJ) ausgeführt werden können, ist eine saisonale Speicherung auch größerer Mengen thermischer Energie möglich. Aquifer-Kältespeicher nutzen die niedrigen Umgebungsbedingungen im Winter für die Kältebereitstellung in den Sommermonaten. Aquiferspeicher sind in Deutschland bislang erst an drei Standorten realisiert, während in anderen Ländern weit mehr Anlagen (z.B. in den Niederlanden über 2.000 Anlagen) realisiert sind. Neben Aquiferen können z.B. auch Salzkavernen oder geflutete Bergwerke für Wärmespeicher geeignet sein. Für den Bereich der zukünftigen Nah- und Fernwärmeversorgung mittels Geothermie/Wärmespeicherung könnte auch die Kombination mit Groß- und Hochtemperatur-Wärmepumpen sinnvoll sein. Weltweit befinden sich derzeit rund 3.000 Aquiferspeicher in Betrieb (Fleuchaus et al. 2018).

SANBA

Geothermie zur Wärmespeicherung in lokalen Anergienetzen nutzen

Im Projekt SANBA wurde ein lokales Anergienetz für die 2014 aufgelassene „Martinek-Kaserne“ in Baden konzipiert. Neben benachbarter industrieller Abwärme, Photovoltaik und Solarthermie könnte auch oberflächennahe Geothermie zum Einsatz kommen. Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurden die Potenziale und möglichen Einschränkungen für Erdwärmesonden und thermische Grundwassernutzung an diesem Standort analysiert. Die saisonale Wärmespeicherung der industriellen Abwärme stand dabei im Fokus.

ERFORSCHUNG DES UNTERGRUNDS

In der geowissenschaftlichen Standortbeurteilung wurden vorliegende Informationen berücksichtigt und zwei Erkundungsbohrungen durchgeführt. Mit geoelektrischen Messungen können Material, Porosität und Wassersättigung des Untergrunds festgestellt werden. Es zeigte sich in der gesamten Bohrtiefe ein für das Wiener Becken typisches, dichtes, feinkörnig toniges Material.

Um die effektive Wärmeleitfähigkeit zu ermitteln, wurde ein Thermal Response Test (TRT) durchgeführt. Dabei wird der Untergrund mit Hilfe von Kupferdrähten im Kabel gleichmäßig erhitzt. Über ein zusätzlich eingebautes Glasfaserkabel kann die Temperatur direkt tiefenaufgelöst gemessen werden. Sämtliche Informationen dienen als Basis für die Erstellung eines 3D-Untergrundmodells sowie für numerische Modellierungen.

ERKENNTNISSE UND POTENZIALE

Auf dem Areal sind nur geringe Grundwasservorkommen in den obersten 10 bis 20 Metern anzutreffen, die aufgrund lokaler Inhomogenitäten und nur mäßig hydraulisch durchlässiger Bedingungen keine thermische Grundwassernutzung erlauben. Für die geothermische Nutzung mit Erdwärmesonden wurden bis zur geplanten Tiefe von 150 Metern keine Einschränkungen festgestellt. In tieferen Schichten könnte eventuell eine Formation (Gainfarner Brekzie) angetroffen werden, die potenziell mit dem lokalen Thermalwasservorkommen verbunden ist. Die Messungen im Rahmen des TRT zeigten eine gute effektive Wärmeleitfähigkeit (ca. 1,75 W/mK). Die mittlere Untergrundtemperatur vor den Tests liegt bei 13,3°C.

Mit einem Simulationstool konnte in der Folge das gesamte Anergienetz modelliert werden. Neben dem Erdsondenmodell und den errechneten Energiedaten wurden in den Simulationen Wärmepumpen, Solarthermie, PV, Batteriespeicher sowie die Prosumer des lokalen Netzes (Industrie, Gebäude etc.) integriert.

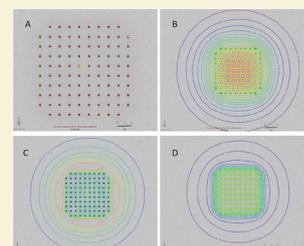


Abbildung 6:
Bohrung, Bohrkern, Absorberschläuche im Bohrloch, Beobachtungspunkte im Sondenfeld, Abbildungen:
Projekt SANBA



3

Technologien und Potenziale nach Anwendungs- bereichen

Die Nutzung der Geothermie ist in der Lage, Teile des Energiebedarfs abzudecken, besonders:

- Fernwärme und Prozesswärme (50 °C bis ca. 150 °C)
- Dezentrale Niedertemperatur-Wärme- und -Kältenetze (weniger als 50 °C)
- Individuelle Gebäudeklimatisierung in Kombination mit Wärmepumpen
- Kühlung (Geo-Cooling)
- Saisonale Wärmespeicherung in Kombination mit der Nutzung von Abwärme und Sektorkopplung
- Gewinnung elektrischer Energie in Kombination mit Fernwärme und Prozesswärme

Die Nutzung der Geothermie weist zudem folgende Vorteile auf:

- Grundlastfähige, preisstabile und ausfallsichere Grundlastbereitstellung
- Vor Ort verfügbare Energiequelle zur Unterstützung der Energieautarkie
- Emissionsfreie Energiebereitstellung und geringer Platzverbrauch an der Oberfläche
- Kühlung ohne Schallemission und Abwärmebelastung des öffentlichen Raums
- Hohe öffentliche Akzeptanz
- Mit Ausnahme von Hot-Dry-Rock-Verfahren und der geologischen Speicherung von Hochtemperatur-Überschusswärme sind die Technologien zur Nutzung der Geothermie in Österreich bereits ausgereift und voll marktfähig
- Signifikante Ausbaufähigkeit der Anwendung erwartet (siehe Tabelle 2)

Der Einsatz und die Verbreitung der Geothermie sind in Österreich trotz traditioneller Nutzung noch gering. Die nachfolgende Tabelle zeigt den gegenwärtigen Nutzungsumfang, bekannte Potenziale sowie von Seiten des Vereins Geothermie Österreich vorgeschlagene Ausbauziele für 2030 und 2050.

Tabelle 2: Übersicht des gegenwärtigen Anwendungsumfangs, bekannte Ressourcen sowie vorgeschlagene Ausbauziele der Geothermie für 2030 und 2050

Anwendungsform	Energieproduktion 2018 ¹ in TWh	Bekannte Ressourcen in TWh	Ausbauziel 2030 in TWh	Ausbauziel 2050 in TWh
Tiefe Geothermie – Hydrogeothermie	Strom: 0,003	9,2	Strom: 0,04	Strom: 0,6
	HT-Wärme: 0,289		Wärme inkl. Speicher: 2,0	HT-Wärme inkl. Speicher: 8,0
Tiefe Geothermie – Hot Dry Rock	--	Bislang existieren noch keine Potenzial-Abschätzungen	--	Strom: 0,1 HT-Wärme: 1,2
Tiefe Geothermie – Wärmetauscher	--	1,2	NT-Wärme: 0,4	NT-Wärme: 1,0
Oberflächennahe Geothermie	NT-Wärme und Kälte: 1,8 - 2,2	Theoretischer Deckungsgrad Niedertemperatur-Bedarf > 50 %	NT-Wärme, Kälte und Speicher ² : 6,2	NT-Wärme, Kälte und Speicher: 15,0

¹ entnommen aus: J. Goldbrunner & G. Goetzl (2019): Geothermal Energy Use, Country Update Austria; Proceedings, European Geothermal Congress 2019, Den Haag, The Netherlands, 11 - 14 June 2019

² entnommen aus: G. Götzl (2019): Rahmenstrategie Oberflächennahe Geothermie im Rahmen des EU-INTERREG-Projekts GeoPLASMA-CE; Geologische Bundesanstalt, Wien

HT ... Hochtemperatur, NT ... Niedertemperatur

3.1 Oberflächennahe Geothermie

Technologische Anwendungen – oberflächennahe Geothermie

(Tiefenbereich bis 300 Meter unter Gelände, Temperatur unter 30 °C)

- Geschlossene Wärmetauschersysteme: Erdwärmesonden (Vertikalkollektoren), Horizontalkollektoren, Ringgrabenkollektoren (in Österreich seit über 30 Jahren in Verwendung)
- Offene Wärmetauschersysteme: Thermische Grundwassernutzung (in Österreich seit über 30 Jahren in Verwendung)

Potenzial

- Möglicher Anteil am erneuerbaren Wärmemarkt: >20 %
- Nutzung als Speicher und zur Kühlung in Anergienetzen (Neubau und Bestand)

3.2 Tiefe Geothermie

Technologische Anwendungen – tiefe Geothermie

(Tiefenbereiche ab 300 Meter unter Gelände, Temperatur ab 30 °C bis über 100 °C)

- Hydrogeothermie: Nutzung natürlicher Thermalwasservorkommen (in Österreich seit über 40 Jahren in Anwendung)
- Petrothermie – Hot Dry Rock: Nutzung von überwiegend trockenen bzw. gering wasserführenden Gesteinsschichten durch hydraulische Stimulation (noch im Entwicklungsstadium, erste Pilotanlagen existieren in Europa seit über zehn Jahren)
- Petrothermie – geschlossene Tiefenwärmetauscher: Zum Beispiel durch Nachnutzung nicht erfolgreicher oder ausgedienter Kohlenwasserstoffbohrungen in Form geschlossener Wärmetauschersysteme (in Österreich wurden zwei Pilotanlagen getestet)

Potenzial

- Gesicherte Reserven: 700–1.000 MW_{th}

3.3 Unterspeicher

Aquiferspeicher

Mit einer Entwicklungsgeschichte von über 50 Jahren haben sich verschiedene Konzepte und Nutzungsformen der Aquiferspeicherung entwickelt (Fleuchaus et al. 2018; Dickinson et al. 2009). Die wichtigste Unterscheidung erfolgt anhand der Speichertemperatur in Niedrigtemperatur(NT)- und Hochtemperatur(HT)-Systeme.

NT-ATES lassen sich über eine maximale Speichertemperatur von 25°C definieren (vereinzelt auch bis 40°C) und werden meist für die Beheizung und Klimatisierung großer öffentlicher oder kommerziell genutzter Gebäude in Kombination mit einer Wärmepumpe eingesetzt (Bloemendal 2018; Fleuchaus et al. 2020b; Sommer 2015). Als thermische Energiequelle dient häufig die Abwärme/Kälte des versorgten Gebäudes selbst (Bakema et al. 1995; Snijders 2000).

HT-ATES zeichnen sich dagegen durch Speichertemperaturen von mindestens 50°C aus (Fleuchaus 2020; Sanner et al. 2003). Aufgrund der hohen Speichertemperaturen ist die Wärmequelle (industrielle Abwärme, erneuerbare Energien) meist unabhängig und getrennt vom Wärmeabnehmer (Fernwärmenetze, industrielle Anwendungen, Gebäudekomplexe). Sowohl NT- als auch HT-Systeme bestehen in ihrer Grundform aus einem oder mehreren Brunnenpaaren (Entnahme- und Eingabeburgen) (Dickinson et al. 2009). Die Einspeicherung und Wiedergewinnung der Wärme und Kälte erfolgt durch eine saisonale Umkehrung der Pumprichtung. Dadurch lassen sich Aquiferspeicher eindeutig von klassischen (direkten) Nutzungsformen der oberflächennahen und tiefen Geothermie abgrenzen (Fleuchaus 2020).

4

Vision und Ziele

4.1 Vision

Die Vision bildet die Grundlage für eine strategische Planung des BMK in der Sektion Technologie und Innovation. Dabei ist es wichtig, sich aus der Zukunftsperspektive eine Vorstellung vom gewünschten Erfolg der FTI-Roadmap zu machen und **Visionen zur Geothermie in Österreich im Jahr 2040** und darüber hinaus zu zeichnen. Das nachfolgende Kapitel versucht aus der Energiewelt von morgen einen Blick zurück auf die Kategorien **Technologische Entwicklungen und Anwendung, Zugang zu Informationen und Dienstleistungen, Finanzierungs- und Geschäftsmodelle** sowie **Gesellschaft und Politik** zu werfen.

Geothermie im Wärmebereich – bandlastfähig, saisonal speicherbar und kostengünstig

Österreich als Hochtechnologieland und Engineering-Standort hat früh erkannt, beste Voraussetzungen für technologische Innovationen und Anwendungen im Bereich der Geothermie zu schaffen. Langfristig ausgerichtete Forschungsaktivitäten haben dazu geführt, dass sich die Geothermie im Wärmebereich, insbesondere im Gebäudebereich, etabliert hat und sowohl in Einzelanwendungen (oberflächennahe Geothermie) als auch in Wärme- und Kältenetzen (insbesondere Deckung der Grund- und Bandlast) als Standard- bzw. wirtschaftlich wettbewerbsfähige Technologie eingesetzt wird. Vor allem in urbanen Räumen wird ein erheblicher Anteil des niederenergetischen Wärme- und Kältebedarfs durch geothermische Anwendungen gedeckt, da gezielt an technologischen Entwicklungen durch wissenschaftliche Forschung gemeinsam mit der heimischen Wirtschaft gearbeitet und diese umgesetzt wurden. Bis 2030 konnten 50% der 2021 bekannten Ressourcen der Hydrothermie erschlossen werden, seit damals wird Geothermie auch verstärkt im gebauten Bestand zur Substitution fossiler Energieträger eingesetzt.

Nachdem die Bedeutung von Wärme-/Kältespeichern beim Umbau zu einem nachhaltigen Energiesystem eine zentrale Rolle einnahm, konnten die Potenziale der Speicherung von Energie im Untergrund früh identifiziert und erschlossen werden. Überschusswärme wird in saisonalen geothermischen Speichern für thermische Anwendungen gespeichert und gleicht die Variabilität in Erzeugung und Verbrauch durch smarte Steuerung aus. Ein ausschlaggebender Faktor war die wesentlich kostengünstigere Speichermöglichkeit von Wärme im Vergleich zu elektrischem Strom, weshalb es Österreich gelungen ist, eine führende Rolle im Bereich der thermischen Speicher einzunehmen und die Stärken der FTI-Einrichtungen und der Anlagenbauunternehmen auszubauen.

Steigerung öffentlicher Forschungs- und Innovationsbudgets mobilisiert den Einsatz privater Investitionen und garantiert Planungssicherheit

Auf dem Weg zum Innovation Leader hat die Steigerung öffentlicher Forschungs- und Innovationsbudgets in der Geothermieforschung langfristig nachhaltige Investitionen ausgelöst. Die Bereitstellung entsprechend dotierter Budgets für Forschung, Technologieentwicklung und Innovation war für die Mobilisierung privater Mittel maßgeblich und haben Unternehmen durch adäquate Anreizstrukturen zu mehr Sicherheit und Vertrauen und letztlich zu mehr Forschung und Innovation stimuliert. Die konsequente Umsetzung der FTI-Roadmap durch ständige Ausrichtung und gegebenenfalls Anpassung von Themenschwerpunkten konnte den Akteur:innen im Innovationssystem entsprechende Planungssicherheit bieten.

Die langfristige Ausrichtung öffentlicher Forschungsprogramme und -missionen führte zu einem deutlichen Kompetenzaufbau und zur Technologieführerschaft Österreichs in vielen Anwendungsbereichen der Geothermie in Europa.

Schaffung eines forschungs- und innovationsfreundlichen Umfelds

Ob steuerliche Anreize, ein zukunftsorientiertes Marktdesign oder neue innovative Finanzierungs- und Betreibermodelle, die Geothermie profitierte von den getroffenen Rahmenbedingungen und einem innovationsfördernden Umfeld. Insbesondere Ansätze und Instrumente (z.B. Geothermie-Leasing, Bürger:innen-Anlagen) zur Überwindung der Hürden zwischen hohen Ersatzinvestitionen und geringen operativen Kosten trugen rückblickend gesehen zu einer Steigerung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit bei. Energiedienstleistungen (wie z.B. Geothermie-Gemeinschaften) ermöglichten neue Geschäfts- und Betreibermodelle für eine verbesserte Erschließung von Ressourcen in urbanen und umliegenden Regionen und entfalteten hierbei eine große Wirkung. Neue Möglichkeiten, Einnahmen zu generieren, sowie der leichtere Zugang zu Finanzierungen zu geringeren Opportunitätskosten beschleunigten die Marktdiffusion von Technologien und Infrastrukturprojekten in Österreich.

System-integriert, Kreislauf-orientiert

Einzeltechnologien wurden aufgrund des verbesserten Informations- und Kommunikationseinsatzes in Gesamtsysteme integriert, ihr Zusammenspiel optimiert und Verluste weitestgehend minimiert. Ein auf Gesamtsystemebene optimierter Betrieb wird standardmäßig auf verschiedenen Ebenen geothermischer Nutzungen angewendet, d.h. auf Explorations-, Bereitstellungs-, Verteilungs-, Verbrauchs-, Design- und Planungsebene. Der technologische Fortschritt und die großflächige Anwendung bei Pilot- und Demonstrationsprojekten führten zu Kostenreduktionen, höherer Effizienz, besserem Systemdesign und besserer Systemintegration sowie einer höheren Ausfalls- sowie Versorgungssicherheit.

Der systemische Ansatz erfolgte entlang von gesamten Wertschöpfungsketten und Produktlebenszyklen, ausgehend von einem wirtschaftlichen Wandel, der auf nachhaltigere Produktionsmuster und Produktpolitiken setzte. Kreislauforientierte geothermische Anwendungen, vor allem im Bereich des nachhaltigen Heizens und Kühlens, der Wärmespeicher- und Wärmepumpensysteme (BTES, UTES) oder der Sektorkopplung von Gebäuden haben einen wichtigen Beitrag zu einer fossilfreien Wärmeversorgung geleistet. Leitend bei der Ausgestaltung und Konkretisierung war die österreichische Strategie zur Implementierung der Kreislaufwirtschaft.

Digitale Anwendungen und e-Government

Vereinfacht gesagt ging es bei der Digitalisierung um verbesserte Kommunikation, Ressourcenoptimierung und Energieflexibilität. Der digitale Fortschritt und die Steigerung der digitalen Fitness der Akteur:innen haben zu einer Öffnung von Wissens- und Innovationsprozessen geführt, die neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Zivilgesellschaft und öffentlicher Verwaltung aktiv ge- und befördert haben.

Geothermie ist als ein zentraler Bestandteil von Energieraumplänen verankert, öffentliche Flächen wurden zudem für die Installation von Geothermieanlagen erschlossen. Intelligente und integrative Bewirtschaftungsinstrumente für Behörden und Planer:innen ermöglichten eine energetisch optimierte, aber zugleich auch nachhaltige Nutzung des Untergrunds, insbesondere in urbanen Gebieten. Diese Instrumente stehen weitgehend harmonisiert in allen Regionen Österreichs zur Verfügung und bilden eine wichtige Grundlage für e-Government-Lösungen.

Bürger:innen werden zur treibenden Kraft – Politik wirkt unterstützend

Das hohe Umwelt- und Energiebewusstsein in der österreichischen Bevölkerung führte dazu, dass die Umsetzung nachhaltiger Energiesysteme und Energieeffizienzmaßnahmen längst selbstverständlich geworden ist. Vor allem in der Geothermie führte konsequente Informations- und Kommunikationsarbeit zu einem hohen Akzeptanzniveau. Geothermie fand zudem Eingang in Lehrpläne akademischer sowie nicht akademischer Bildungsprogramme. Die Aufgabe der Politik, fördernde Rahmenbedingungen zu schaffen, wurde sukzessive durch den Abbau rechtlicher Barrieren umgesetzt. Dies führte zu einer deutlichen Beschleunigung des Ausbaus der Geothermie in Österreich durch eine erhöhte Planungssicherheit und den Abbau bürokratischer Hürden. Hohe Umweltstandards haben die Nutzung des Untergrunds sowie von Grundwässern gewährleistet und sich als Treiber der technologischen Entwicklung erwiesen.

4.2 Übersicht über die Forschungs- und Innovationsziele

Tabelle 3: Übersicht der Forschungs- und Innovationsziele

FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSZIELE	
Oberflächennahe Geothermie	1.1 Effizientes, umweltschonendes und leistungsfähiges Bohren im urbanen Raum
	1.2 Forcierung der Anwendung der Geothermie in Bestandsgebäuden
	1.3 Thermische Nutzung urbaner Flächen – Gehwege, Straßen, Plätze, Parkplätze – zur Gewinnung von solarer Überschusswärme mittels Flachkollektoren und geothermischer saisonaler Speicherung
	1.4 Integration von Geothermie in multivalenten Wärme- und Kälteanwendungen und Anergienetzen, Verbesserung der Sektorkopplung
	1.5 Innovative und verbesserte Auslegungs- und Planungstools für geschlossene Kollektorsysteme
	1.6 Integratives thermisches Untergrundmanagement in urbanen Gebieten inkl. verbesserter Tools zur Bewertung von thermischen Summationseffekten für Behörden und Planer:innen
	1.7 Verbesserung des Zugangs zu Daten und e-Government-Dienstleistungen
	1.8 Optimierung von Systemkomponenten und Methoden in der Anwendung der oberflächennahen Geothermie
Tiefe Geothermie	2.1 Verbesserung der Erfolgswahrscheinlichkeit und Reduktion des Entwicklungszeitraums von Projekten der Tiefen Geothermie
	2.2 Gewährleistung eines nachhaltigen und effizienten Betriebs von Geothermieanlagen
	2.3 Verbesserung des Zugangs zu geowissenschaftlichen Daten
	2.4 Energieraumpläne für Tiefen Geothermie inklusive Gebietsmanagement (kaskadische Nutzung und Portfoliomanagement)
	2.5 Weiterentwicklung von Bohrtechnologien und Bohrlochkomplettierungen sowie damit Verringerung der Bohrkosten und der spezifischen Gesteinskosten
	2.6 Verbesserung der Systemintegration der Tiefen Geothermie, effiziente geothermische Kraft-Wärme-Kopplung
	2.7 Nachnutzung der vorhandenen Kohlenwasserstoff-Infrastruktur (von der Sonde bis zur Sammelstation)
	2.8 Vorbereitung von Pilotanlagen für unkonventionelle geothermische Anwendungen – Petrothermie, CCUS, ultratiefe Geothermie, Abbau von Rohstoffen in Geothermiefluiden
	2.9 Methodenentwicklung zur Verbesserung der Reservoir-Charakterisierung unter verschiedenen geologischen Rahmenbedingungen
Untergrundspeicher	3.1 Erhöhung der Effizienz von Niedertemperatur-Wärmespeichern (bis 30 °C) durch verbesserte Planung, Materialien und Betriebsweisen
	3.2 Technologische Einführung von großvolumigen Hochtemperatur-Wärmespeichern (über 30 °C) in Österreich inkl. Errichtung erster Pilotanlagen
	3.3 Synergetische Nachnutzung bestehender Hohlräume in Form von Altbergbauanlagen, Tunnel- und Stollenanlagen als Kavernenspeicher in Österreich
	3.4 Verbesserte Integration geologischer Wärmespeicher und synergetische Nutzungen

4.3 Forschungs- und Innovationsziele Oberflächennahe Geothermie

Ziel 1.1: Effizientes, umweltschonendes und leistungsfähiges Bohren im urbanen Raum

Die Errichtung von Bohrungen für Erdwärmesonden und Brunnenanlagen stellt ein wesentliches Erfolgskriterium für eine breite Anwendung der oberflächennahen Geothermie in urbanen Räumen dar. Die Herausforderungen liegen im leistungsfähigen Bohren mit Zieltiefen über 100 Meter in beengten Räumen (z. B. Innenhöfen) sowie in einer hohen Anrainer:innen-Akzeptanz des Bohrbetriebs, der sich, je nach Größe der Geothermienutzung, über mehrere Tage bis Wochen erstrecken kann. Aus diesem Grund werden emissionsarme (Abgase, Lärm), aber dennoch leistungsfähige Bohrgeräte benötigt, die auch in beengten Räumen eingesetzt werden können.

Ziel 1.2: Forcierung der Anwendung der Geothermie in Bestandsgebäuden

Geothermische Systeme sind in vielen Neubauprojekten schon Standard. Geothermie eignet sich allerdings auch für die Umrüstung von Bestandsgebäuden und historischer und/oder denkmalgeschützter Bausubstanz. Der Stand der Technik und Best-Practice-Beispiele – mit speziellem Fokus auf den dicht verbauten urbanen Raum – sollen einem breiten Stakeholder:innen-Kreis zugänglich gemacht werden, um Potenziale aufzuzeigen und die Sichtbarkeit zu erhöhen. Die erfolgreiche Anwendung der Geothermie in Bestandsgebäuden ist eng mit Sanierungsmaßnahmen verbunden. Besonderes Augenmerk soll auf ökonomische Synergiepotenziale zwischen grundlegenden Renovierungen und der Integration der Geothermie von der Errichtung des Absorbers bis hin zum Klimatisierungskonzept im Gebäude gelegt werden.

Ziel 1.3: Thermische Nutzung urbaner Flächen – Gehwege, Straßen, (Park-)plätze – zur Gewinnung von solarer Überschusswärme mittels Flachkollektoren und geothermischer saisonaler Speicherung

Eine breite Anwendung der oberflächennahen Geothermie in städtischen Bestandsgebäuden in multivalenten Niedertemperatur-Wärme- und -Kältenetzen ist möglich, wenn alle verfügbaren Freiflächen für die Errichtung von Absorberanlagen genutzt werden. Hierzu zählen insbesondere Verkehrsflächen (Straßen, Gehsteige) sowie Grünflächen im öffentlichen Eigentum. Neben der Schaffung von planerischen und rechtlichen Instrumenten zur Nutzbarmachung öffentlicher Flächen für die Errichtung von Absorberanlagen soll technologische Forschung helfen, neue Integrationsmöglichkeiten der oberflächennahen Geothermie in öffentliche Flächen (z. B. Absorber in versiegelten Flächen) zu erschließen und eine kostengünstige thermische Nutzung zu ermöglichen. Hier sind auch die zu er-

wartenden Synergieeffekte zur Bekämpfung von urbanen Wärmeinseln hervorzuheben, zumal thermisch aktivierte Flächen zur umweltfreundlichen Kühlung von Stadtgebieten bei gleichzeitiger Wiederverwertung der Abwärme beitragen.

Ziel 1.4: Integration von Geothermie in multivalenten Wärme- und Kälteanwendungen und Anergienetzen, Verbesserung der Sektorkopplung

Die oberflächennahe Geothermie besitzt eine hohe Integrations- und Kopplungsfähigkeit mit anderen Erneuerbaren im Niedertemperaturbereich. Multivalente Niedertemperatur-Anwendungen tragen entscheidend zur Steigerung der Energieeffizienz geothermischer Anwendungen bei, wenn diese die Aufgaben zur Grundlastversorgung und Speicherung volatiler Erneuerbarer übernehmen. In Österreich entstanden in den letzten Jahren erste Pilotanlagen zu geothermisch unterstützten Niedertemperatur-Wärme- und -Kältenetzen („Anergienetzen“). Effizienzmonitoring von Bestandsanlagen und verbesserte Systemsimulation (sowohl thermisch als auch hydraulisch) von multivalenten, speicherunterstützten Wärme- und Kälteanwendungen im Leistungsbereich über 50 kW können entscheidend zur technologischen Weiterentwicklung von geothermisch unterstützten, dekarbonisierten, multivalenten Wärme- und Kälteanwendungen beitragen. Durch den Einsatz von Wärmepumpen als „Moderatoren multivalenter Anwendungen“ soll zudem die Ankopplung zum Elektrizitätssektor erfolgen. Die vorhandene Gasinfrastruktur sowie mobile Einrichtungen können zudem die Spitzenlastabdeckung und Versorgungssicherheit multivalenter Konzepte durch umweltfreundliches grünes Gas erhöhen.

Ziel 1.5: Innovative und verbesserte Auslegungs- und Planungstools für geschlossene Kollektorsysteme

Für oberflächennahe Geothermiesysteme, insbesondere im Einfamilienhausbereich, gibt es standardisierte Auslegungstools, die Standardsysteme und -geometrien wie z. B. Erdwärmesonden relativ zuverlässig und genau berechnen können. Allerdings gibt es für Geothermieanwendungen, die gerade auch für die Umrüstung im urbanen Raum interessant wären, keine oder nur sehr vereinfachende Auslegungstools, was den Einsatz und die genaue Konfiguration einschränkt. Forschung auf diesem Gebiet würde die Einsatzmöglichkeiten von maßgeschneiderten bzw. Spezialkollektoren oder Kombinationen ermöglichen. Besonderer Fokus soll hierbei auf getaktet betriebene Systeme (Heizen und Kühlen), Großanlagen über 50 kW Spitzenleistung, auf advective Phänomene infolge von fließendem Grundwasser sowie auf nachbarschaftliche Beeinflussung gelegt werden. Des Weiteren werden verbesserte Schnittstellen zu Auslegungstools im Bereich der Gebäudesimulation benötigt.

Ziel 1.6: Integratives thermisches Untergrundmanagement in urbanen Gebieten inkl. verbesserter Tools zur Bewertung von thermischen Summationseffekten für Behörden und Planer:innen

Infolge der zunehmenden Dichte an Geothermieanlagen nehmen nachbarschaftliche Beeinflussungen von Anlagen in urbanen Gebieten zu. In einigen europäischen Städten wie Zürich und Stockholm mit einer traditionell sehr intensiven Anwendung der oberflächennahen Geothermie müssen mittlerweile in manchen Gebieten Regenerationsmaßnahmen gesetzt werden, um Leistungsverluste infolge der nachbarschaftlichen Beeinflussung zu mitigieren. Aus diesem Grund sollten bisher angewendete, dem Prinzip von „First Come First Served“ folgende Verwaltungskonzepte sukzessive durch „integrative Bewirtschaftungskonzepte“ ersetzt werden. Diese beruhen auf einer möglichst genauen Kenntnis des thermischen und hydraulischen Zustands von urbanen Grundwässern und resultierender Summationseffekte sowie daraus abzuleitenden, adaptiven Bewirtschaftungsstrategien. Zur Erreichung dieses Ziels werden kostengünstige, aber dennoch robuste Planungsinstrumente für Behörden, eine deutlich verbesserte Datenlage, insbesondere durch ein kostengünstiges Umweltmonitoring, sowie den Bedürfnissen angepasste rechtliche Instrumente benötigt, um integratives thermisches Untergrundmanagement zu ermöglichen.

Ziel 1.7: Verbesserung des Zugangs zu Daten und e-Government-Lösungen

Ein umfangreicher, niederschwelliger Zugang zu Untergrunddaten in einem modernen IKT-Rahmen ist ein entscheidendes Erfolgskriterium für einen breiten Ausbau der geothermischen Anwendung. In Österreich existieren bereits für einige Bundesländer und Regionen webbasierte Informationsportale zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie. Diese Portale wurden jedoch bislang nur in begrenztem Umfang aufeinander abgestimmt sowie harmonisiert und sind zudem noch nicht mit effizienten e-Government-Lösungen verknüpft. In anderen Bereichen, wie etwa dem elektronischen Wasserbuch, konnte bereits eine österreichweite Harmonisierung elektronischer Behördenregister erzielt werden. Die Schaffung einheitlicher IT-Lösungen für bundesländerspezifische Informationsportale zur oberflächennahen Geothermie, kombiniert mit elektronischen behördlichen Genehmigungs- und Überwachungsprozessen, reduziert sowohl informatische als auch regulatorische Barrieren und liefert die Grundlage für zeitsparende und effiziente Verfahren, sowohl für Antragsteller:innen als auch für Behördenvertreter:innen. E-Government-Dienstleistungen erhöhen zudem die Verfahrensresilienz in dem zu erwarteten starken Anstieg von Genehmigungsanträgen bei einem signifikanten Ausbau der oberflächennahen Geothermie in Österreich bei einer gleichzeitig gewährleisteten hohen Qualität des Daten- und Informationsaustauschs zwischen Anlagenbetreiber:innen und Behörden. Genehmigungs- und Überwachungsdaten aus E-Government-Verfahren stellen zukünftig wichtige Datenquellen zur Aktualisierung von Informationsportalen unter Maßgabe des Datenschutzes dar (z. B. in Form von anonymisierten Fachdatenbanken und aktualisierten Zustandskarten).

Ziel 1.8: Optimierung von Systemkomponenten und Methoden in der Anwendung der oberflächennahen Geothermie

Die Effizienz und Lebensdauer von Komponenten der oberflächennahen Geothermie, wie z. B. Erdwärmesonden, Wärmetauscher, Kollektoren und Leitungen, hängen von optimalen Betriebsbedingungen und einem angepassten Design aller Komponenten ab. Letztere sollten an die lokalen (hydro)geologischen und gegebenenfalls hydrochemischen Bedingungen, die Art der Nutzung sowie die Betriebsbedingungen in der Anlage angepasst werden. Zu diesem Zweck sind vorbereitende Untersuchungen und Modellierungen zur Exploration sowie zur Materialwahl notwendig. Bei und nach der Errichtung sollten messtechnische Verfahren zum Monitoring der sachgerechten Errichtung sowie zur Überwachung des Betriebs eingesetzt werden.

4.4 Forschungs- und Innovationsziele Tiefe Geothermie

Ziel 2.1: Verbesserung der Erfolgswahrscheinlichkeit und Reduktion des Entwicklungszeitraums von Projekten der tiefen Geothermie

Die Entwicklungsdauer von Geothermieprojekten beträgt je nach Anlagengröße und regionalen Vorkenntnissen aus vorangegangenen Anlagen etwa drei bis sieben Jahre. Zudem steht erst nach erfolgter Investition eines großen Anteils des benötigten Kapitals fest, ob ein Projekt die gewünschten Zielvorgaben erfüllt. Neben dem verbesserten Zugang zu verfügbaren geowissenschaftlichen Daten (siehe Ziel 2.3) bieten Investitionsabsicherungsmodelle durch öffentliche oder private Stellen wichtige Anreize. Diese Modelle basieren auf belastbaren Methodenkatalogen und Qualitätsvorgaben an die geophysikalisch-geologische Erkundung und Prognose geothermischer Reservoireigenschaften. Innovative und robuste Methoden zur Bewertung von Prognoseunsicherheiten für unterschiedliche geologische Rahmenbedingungen stellen hierbei ein zentrales Element zur Verbesserung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Projekten der tiefen Geothermie dar. Durch die Schaffung einheitlicher Methodenhandbücher und Beurteilungsprotokolle können zudem behördliche Bewilligungsprozesse entscheidend verkürzt werden. Damit die Geothermie mit anderen erneuerbaren Technologien in vergleichbaren Anwendungs- und Leistungsspektren auch aus zeitlicher Sicht konkurrenzfähig wird, müssen Entwicklungszeiträume um 30 bis 50% reduziert werden. Zur Erreichung dieses Ziels sind auch regionale Portfolien anzustreben (siehe auch Ziel 2.6), d. h., dass sich die zukünftige Nutzung der Geothermie vermehrt von Einzelanlagen weg hin zur systematischen Entwicklung von Reservoirs in verschiedenen Einzelanlagen oder in einem Multipletten-Schema entwickeln sollte – nach Vorbild der Kohlenwasserstoff-Gewinnung.

Ziel 2.2: Gewährleistung eines nachhaltigen und effizienten Betriebs von Geothermieanlagen

Die Lebensdauer einer geothermischen Anlage ergibt sich aus der Bewirtschaftungsdauer des Reservoirs (Zeitraum bis zu einem signifikanten thermischen Durchbruch in der Produktionsbohrung – Auslegezeitraum 30 bis 40 Jahre) sowie aus der Lebensdauer der untertägig eingesetzten Materialien in den Bohrungen (mindestens 30 bis 50 Jahre). Die bislang vorrangig eingesetzten grundlegenden Konzepte und Materialien für die Errichtung von Tiefbohrungen basieren auf den Zielsetzungen der Kohlenwasserstoffindustrie (begrenzter Förderzeitraum). Die thermische Bewirtschaftung geothermischer Reservoirs sah bislang vorrangig die Anwendung von Einzelanlagen (geothermische Dubletten) im monovalenten oder bivalenten Versorgungsbetrieb vor. Basierend auf Lebenszyklusanalysen inklusive Lebenszykluskostenbetrachtungen sollen neue Konzepte und Materialien erforscht werden, um die Lebensdauer geothermischer Anlagen sowohl untertage als auch übertage zu verlängern, die Effizienz geothermischer Anwendungen zu steigern (z.B. in optimierten, multivalenten Einsatzschemen) und die bereits geringen unmittelbaren Umweltauswirkungen durch Berücksichtigung des Einsatzes von Ressourcen und grauer Energie weiter zu senken. Das Ziel liegt in nahezu emissionslosen langlebigen Anlagen bzw. Anlagenclustern, die mehrere Generationen mit geothermischer Energie versorgen können. Dieses Ziel umfasst auch die Modernisierung bereits bestehender geothermischer Wärme- und Stromgewinnungsanlagen in Österreich, die teilweise über 20 Jahre in Betrieb sind.

Ein wichtiger Aspekt dieses Ziels umfasst auch die Gewährleistung eines sicheren Betriebs, insbesondere die Vermeidung unkontrollierter mikroseismischer Ereignisse sowie die Vermeidung von Leckagen in den Bohrungen, insbesondere wenn sich geothermische Anlagen in Ballungsräumen befinden.

Ziel 2.3: Verbesserung des Zugangs zu geowissenschaftlichen Daten

Informatorische Barrieren sind auch für die tiefe Geothermie wichtige Investitionshemmnisse. In diesem Zusammenhang gilt es hervorzuheben, dass Österreich, anders als seine deutschsprachigen Nachbarländer, auf einen großen Bestand an geowissenschaftlichen Erkundungsdaten aus über 80 Jahren Kohlenwasserstoff-Exploration und -Förderung zurückgreifen kann. Einige europäische Staaten, wie etwa die Niederlande und Deutschland, haben im Laufe der vergangenen Jahre moderne Web-Portale zu geothermischen Basisdaten aufgebaut, die zudem teilweise über interaktive Ressourcenbewertungstools verfügen. Die Schaffung eines österreichweiten Daten- und Informationsportals, gekoppelt mit interaktiven Ressourcenbewertungstools, trägt wesentlich zum Abbau informatorischer Hürden bei und hilft zudem den volkswirtschaftlichen Wert von teilweise jahrzehntealten Erkundungsdaten der Kohlenwasserstoff-Industrie durch Datenrecycling zu steigern. Dreidimensionale Ressourcenbewertungstools tragen zudem zu einer effizienteren Bewirtschaftung des tiefen Untergrunds bei und können Anwendungskonflikte vermeiden.

Ziel 2.4: Weiterentwicklung von Bohrtechnologien und damit Verringerung der Bohrkosten sowie der spezifischen Gesteungskosten

Die Errichtung von Tiefbohranlagen (mindestens zwei) stellen weiterhin die größte Kostenkomponente in der Nutzung der tiefen Geothermie dar. Zudem ist der Erfolg eines geothermischen Projekts erst dann nachgewiesen, wenn diese Kosten angefallen sind. Die Tiefbohrtechnologie war in den letzten Jahrzehnten auf die Gewinnung von Kohlenwasserstoffen ausgerichtet. Aufgrund deren höherer Rendite war der ökonomische Optimierungsdruck auf die Tiefbohrtechnologie bislang noch nicht so stark. Durch das Phase-out der fossilen Onshore-Energierohstofferkundung in Europa ergeben sich neue Gelegenheiten und Herausforderungen hin zu kostengünstigen Tiefbohrungen in der Geothermie. Neue, innovative Bohrkonzepte sollen helfen, den Bohrfortschritt zu erhöhen, hohe Förderraten zu gewährleisten sowie ein sicheres, umweltfreundliches und emissionsarmes Bohren in urbanen Gebieten zu ermöglichen. Neben der Reduktion von Erschließungskosten sollen die spezifischen Energiegestehungskosten auch durch Steigerung der Anlagenauslastung (Erhöhung des Kapazitätsfaktors) reduziert werden. Mit Hilfe optimierter Anwendungsschemen in bi- und multivalenten Versorgungskonzepten (siehe auch Ziel 2.2 sowie 2.5) soll ein möglichst homogener Bandlastbetrieb bzw. KWK-Wechselbetrieb (saisonal variierende Schwerpunkte auf Wärme- und Stromgewinnung) geothermischer Anlagen gewährleistet werden. Zur Erreichung dieser Zielsetzung wird vermutlich auch vermehrt auf großvolumige Speicher (siehe Zielachse 3) zurückgegriffen werden müssen.

Ziel 2.5: Verbesserung der Systemintegration der tiefen Geothermie, effiziente geothermische Kraft-Wärme-Kopplung

Die Anwendung der tiefen Geothermie findet in Österreich bislang vorrangig zur Versorgung kleinerer Nahwärmenetze (mittlere Leistung geothermischer Anlagen ca. 9,6 MW), oft in Kombination mit einer stofflichen Nutzung der Thermalwässer in Bädern, statt. Seit den frühen 2000er Jahren wird auch elektrische Energie an zwei Standorten in geringem Umfang (Leistung < 1 MW_{el}) produziert. Seit 2016 existiert in Österreich auch eine landwirtschaftliche Anwendung der tiefen Geothermie. Um den Ausbau der tiefen Geothermie in Österreich zu forcieren, gilt es, Wege und Möglichkeiten zu identifizieren, um das Anwendungsspektrum zu erweitern. Besonderes Augenmerk soll hierbei auf den Einsatz in größeren Wärmenetzen, speziell in österreichischen Ballungsräumen, sowie auf den verstärkten Einsatz in industriellen und landwirtschaftlichen Prozessen gelegt werden. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Substitution fossiler Energieträger in Bestandsanlagen sowie die Kopplung mit anderen Erneuerbaren in multivalenten Anwendungen auf Temperaturniveaus zwischen 60 und bis zu 150°C. Das Ziel Systemintegration umfasst auch die verbesserte Anwendung geothermischer Kraft-Wärme-Kopplung mittels binärer Verstromungsprozesse, um nicht-volatile erneuerbare elektrische Energie auf hohem Effizienzniveau bereitstellen zu können. Die zu entwickelnden Konzepte sollen KWK-Verstromungsanlagen im Leistungsbereich zwischen 1 MW_{el} und 5 MW_{el} ermöglichen.

Ziel 2.6: Nachnutzung der vorhandenen Kohlenwasserstoff-Infrastruktur (von der Sonde bis zur Sammelstation)

Österreich blickt auf über 80 Jahre Kohlenwasserstoff-Erkundung und -Gewinnung zurück. Neben profunder Kenntnis über potenziell für geothermische Anwendungen nutzbare Reservoirs stehen derzeit auch noch über 1.000 aktive Kohlenwasserstoff-Sonden zur Verfügung, die zukünftig für geothermische Anwendungen nachgenutzt werden könnten. Potenzielle Nachnutzungsszenarien umfassen den Umbau dieser Sonden zu Tiefenwärmetauschern oder die direkte Nutzung der noch vorhandenen Förder- und Sammel-Infrastruktur mittels Wärmetauscher. Durch Schaffung eines geeigneten rechtlichen Rahmens sowie innovativer technologischer Konzepte kann eine sinnvolle energetische Nachnutzung der vorhandenen Kohlenwasserstoff-Infrastruktur erzielt werden. Eine besondere Bedeutung kann hierbei der landwirtschaftlichen Nutzung (z. B. Glashaus-Anwendungen im Marchfeld) beigemessen werden.

Ziel 2.7: Entwicklung von Pilotprojekten petrothermischer Energiegewinnung

Die Nutzung von heißem, aber trockenem Gestein (Hot Dry Rock, Enhanced Geothermal Systems) ermöglicht die Entkopplung der geothermischen Anwendung von dem Vorhandensein natürlicher Thermalwasservorkommen. Hierdurch ließe sich die tiefe Geothermie in bislang ungeeigneten Festgesteinsgebieten oder Regionen mit geringen Sedimentbeckentiefen zukünftig einsetzen – in Österreich würde dies alle Landeshauptstädte abseits von Wien, Innsbruck und Bregenz betreffen. Erste petrothermische Pilotanlagen existieren weltweit seit den 1970er Jahren, wobei der technologische Durchbruch bislang noch nicht gelang. Dies ist einerseits durch den bisherigen Fokus in der Stromproduktion sowie durch das Auftreten unkontrollierter seismischer Ereignisse begründet. Durch die Erarbeitung der geowissenschaftlichen und technologischen Grundlagen zur Anwendung der Petrothermie in Österreich (Erhebung von Ressourcen und geologischen Gefährdungsmomenten sowie Systemintegration und Reduktion der Errichtungskosten von Anlagen) soll die Basis für die Errichtung erster Pilotanlagen in Österreich (geothermische KWK) ab 2030 geschaffen werden, um den breiten Ausbau dieser Technologie in den Dekaden danach vorzubereiten.

Ziel 2.8: Methodenentwicklung zur Verbesserung der Reservoir-Charakterisierung unter verschiedenen geologischen Rahmenbedingungen

Die Exploration von tiefen geothermischen Ressourcen ist eine große Herausforderung bei der Entwicklung von geothermischen Projekten. Um das Fündigkeitsrisiko von Nutzungen in großer Tiefe weiter zu minimieren, sollen Methoden für die Erkundung, prognostische Modellierung und für Experimente weiterentwickelt und verbessert werden. Die Methoden beziehen sich auf die so genannte thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemische

(THMC-)Modellierung. Die THMC-Modellierung eines Reservoirs ist eine interdisziplinäre Herausforderung, für die eine enge Zusammenarbeit und gut definierte Schnittstellen zwischen den verschiedenen Disziplinen essenziell sind. Die Methoden der Exploration sowie der THMC-Modellierung umfassen die seismische Erkundung tiefer Strukturen, bohrlochgeophysikalische Methoden, Bohrtechnik, Laboranalytik und -experimente zur Beurteilung von Geofluiden, die Bestimmung thermophysikalischer Parameter sowie ein Benchmarking der verschiedenen Erkundungs- und Modellierungstechniken.

4.5 Forschungs- und Innovationsziele Untergrundspeicher

Ziel 3.1: Erhöhung der Effizienz von Niedertemperatur-Wärmespeichern (bis 30°C) durch verbesserte Planung, Materialien und Betriebsweisen

Die saisonal alternierende Heiz- und Kühlanwendung der Erdwärme findet in Österreich, insbesondere in großvolumigen Bürogebäuden, bereits seit einigen Jahren statt. Die Optimierung solcher Anwendungen als Niedertemperatur-Wärmespeicher stand bislang jedoch noch nicht im Vordergrund. Durch FTI-Aktivitäten im Bereich von Materialforschung (z. B. Verbesserung von Erdwärmesonden) und Anwendungskonzepten (z. B. getrennte Wärme- und Kältespeicher in Anergienetzen) soll die Speichereffizienz (Wärmeverluste), die Speicherflexibilität (kurzfristige Einspeisung und Entnahme von Wärme) sowie die Speicherzuverlässigkeit (garantierte Bereitstellung der für Heiz- und Kühlanwendungen bereitgestellten Temperaturniveaus) verbessert werden. Speziell für die Anwendung von Niedertemperatur-Speichern in Anergienetzen sollen Konzepte und technologische Lösungen für die Kopplung zu konventionellen Wärmenetzen (Netztemperatur über 50°C) sowie zum Elektrizitätssektor über die Schaltung von Wärmepumpen erarbeitet werden.

Ziel 3.2: Technologische Einführung von großvolumigen Hochtemperatur-Wärmespeichern (über 30°C) in Österreich inkl. Errichtung erster Pilotanlagen

Geothermische Hochtemperatur-Wärmespeicher besitzen den Vorteil großer Speichervolumina, sind jedoch derzeit noch für kurzfristige Speicherzyklen (geringer als 1 Monat) nicht geeignet. Derzeit entstehen in vielen Staaten Europas Pilotanlagen für großvolumige Hochtemperatur-Wärmespeicher für maximale Speichertemperaturen bis 90°C. Die geologischen Voraussetzungen erlauben die Anwendung derartiger Speicher. Hierbei sind vor allem gut erforschte ehemalige Erdöl-Lagerstätten hervorzuheben, die zukünftig als Wärmespeicher genutzt werden sollen. Durch systematische Erkundung und Bewertung potenzieller Wärmespeicher soll das technische Anwendungspotenzial in Österreich erhoben und erste Demonstrationsanlagen errichtet werden. Neben techno-

logischer Forschung, die sich auf die Reduktion von Planungsunsicherheiten sowie auf die Gewährleistung eines effizienten, sicheren und nachhaltigen Betriebs geologischer Speicher konzentriert, sind auch nicht-technologische Aspekte, wie optimierte behördliche Genehmigungs- und Überwachungsverfahren, zu adressieren. Dieses Ziel umfasst ebenso technologische Forschung für den umweltfreundlichen Betrieb von Hochtemperatur-Tiefensondensspeichern.

Ziel 3.3: Synergetische Nachnutzung bestehender Hohlräume in Form von Altbergbauanlagen, Tunnel- und Stollenanlagen als Kavernenspeicher in Österreich

Bestehende unterirdische Hohlräume aus den Bereichen Bergbau, Tunnelbau (z.B. Sondierungsstollen) und Schutz- sowie Bunkeranlagen können als geothermische Kavernenspeicher nachgenutzt werden. Im Rahmen dieses Ziels soll der Bestand an bereits existierenden unterirdischen Hohlräumen untersucht und hinsichtlich der Eignung als Kavernenspeicher evaluiert werden. Zudem sollen kostengünstige bergmännische Methoden zur Errichtung neuer Kavernen in Festgesteinsgebieten untersucht werden.

Ziel 3.4: Verbesserte Integration geologischer Wärmespeicher und synergetische Nutzungen

Neben der technologischen Nutzbarmachung geologischer Wärmespeicher ist auch die Integration in Wärme- und Kältenetze von entscheidender Bedeutung. Im Rahmen dieser Zielsetzung sollen, basierend auf Erfahrungen aus internationalen und nationalen Pilotvorhaben, optimierte Anwendungs- und Schaltungskonzepte für die Einbindung von geologischen Wärmespeichern in Netze identifiziert und etabliert werden. Die hiermit einhergehenden Optimierungsaufgaben betreffen Temperaturniveaus, technische Auslegekonzepte sowie Betriebsweisen von sowohl Niedertemperatur- als auch Hochtemperatur-Speichern.

Tiefliegende geologische Reservoirs lassen sich neben der Wärmespeicherung oftmals auch für andere Speicherzwecke nutzen. FTI-Aktivitäten sollen technologische Synergien geologischer Wärmespeicher zu anderen Speicherkonzepten (z. B. Druckluft) identifizieren und gegebenenfalls in Pilotanlagen demonstrieren.

5

FTI-relevante Chancen und Herausforderungen der Geothermie in Österreich

Chancen:

- Lange Tradition und über 40 Jahre Erfahrung in der modernen Nutzung von Geothermie
- Österreichische Forschungseinrichtungen und Unternehmen besaßen lange Zeit eine Vorreiterrolle in Zentraleuropa und verfügen immer noch über technisches Know-how und Innovationskraft, um den Anschluss an die Innovation Leader zu finden
- Bislang ist nur ein geringer Anteil der bekannten geothermischen Ressourcen genutzt (z. B. 10 – 15% in der tiefen Geothermie)
- Österreich hat sich mit dem Regierungsprogramm 2020–2024 und der darin angestrebten Klimaneutralität 2040 ein ambitioniertes Ziel gesetzt, in dem auch die Geothermie berücksichtigt ist
- Politische Vorgaben, Gesetze und Instrumente (wie z. B. die CO₂-Bepreisung, Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz) beschleunigen den Ausbau erneuerbarer Energien, darunter auch die Geothermie

Herausforderungen:

- Energiebereitstellung durch Geothermie erfordert eine verstärkte multidisziplinäre Herangehensweise, von den Geowissenschaften über Ingenieurwissenschaften bis hin zu Sozialwissenschaften
- Planungs- und Umsetzungskonzepte zur Integration von geothermischen Anwendungen mit mehreren Wärmequellen, der kaskadischen Kopplung an konventionelle Wärmenetze und geothermischen Wärmespeichern
- Leistungsfähigkeit, Effizienz und Lebensdauer von geothermischen Komponenten (z. B. Wärmetauschern, Kollektoren)
- Methoden der seismischen Erkundung tiefer Strukturen, vor allem in urbanen und suburbanen Gebieten
- Konzepte und Komponenten zur Erhöhung der Flexibilität von geothermischen Wärmespeichern
- Zugang zu Daten und Informationen ist teilweise nur erschwert möglich

5.1 Oberflächennahe Geothermie

Bisher wurde der Markt für Erdwärmepumpen in Österreich von der individuellen Nutzung (Einzelgebäude) dominiert. Derzeit werden in Österreich erste gemeinsame Nutzungen in Form von Niedertemperatur-Heiz- und -Kühlnetzen im Rahmen von Forschungs- und Innovationsprojekten entwickelt und demonstriert (z. B. Stadtentwicklungsgebiet „Viertel Zwei Plus“ in Wien). Es wird davon ausgegangen, dass bereits kurzfristig ein steigendes Interesse an geothermischer Kühlung und saisonaler Wärmespeicherung (insbesondere kombiniertes Heizen und Kühlen) im Bereich Dienstleistungsgebäude und im urbanen Wohnbau besteht. Da der allgemeine Bekanntheitsgrad von Erdwärmepumpensystemen bei Investor:innen und politischen Entscheidungsträger:innen in Österreich eher gering ist, dürfte sich das jährliche Wachstum der installierten Kapazitäten im Bereich von etwa 5% pro Jahr bewegen. Dies könnte sich ändern, wenn sich großflächige Wärmenutzungsverbünde für Niedertemperatur-Wärme- und -Kältenetze auf dem österreichischen Markt weiter etablieren. Eine Zukunftschance für die oberflächennahe geothermische Nutzung in Österreich ist daher für großflächige Gemeinschaftsanlagen mit Wärmepumpengrößen von über 50 kW gegeben.

5.2 Tiefe Geothermie

Basierend auf öffentlichen Zahlen des Jahres 2018 erreicht die Tiefengeothermie eine installierte Gesamtleistung von 95,1 MW_{th} für direkte Wärme (Jahresproduktion 314,9 GWh_{th}) und 1,2 MW_{el} (Jahresproduktion 2,7 GWh_{el}) für die Stromproduktion. Derzeit wird eine Anlage im oberösterreichischen Molassebecken (Ried im Innkreis) ausgebaut. Im Wiener Becken und im Bayrischen Molassebecken nahe der österreichischen Grenze werden Bohrungen für eine mögliche zukünftige Versorgung von Fernwärmesystemen in den Metropolen Wien und Salzburg durchgeführt. Eine geothermische Probebohrung, die 2018 in Kärnten durchgeführt wurde, war nicht erfolgreich.

In den kommenden Jahren sind keine neuen Anlagen zur direkten hydrogeothermischen Nutzung zu erwarten. Durch die Erweiterung der bestehenden Anlage in Ried im Innkreis wird sich die Gesamtsumme der installierten Kapazitäten in Österreich voraussichtlich auf 19 MW_{th} erhöhen.

5.3 Untergrundspeicher

Für saisonale geothermische Speichersysteme als Komponente der Wärmewende, d. h. über den reinen Teststatus hinaus sowie für tiefere geothermische Aquifere ist ein grundlegender Forschungsbedarf gegeben. Hier ist nach jetzigem Stand eine Modellentwicklung, Simulation, Evaluierung von Technik, Geologie, Umweltauswirkungen und Wirtschaftlichkeit sowie Herstellung und Anwendung erster Pilotanlagen erforderlich.

Aquiferspeicher

	S trength (Stärken)	W eaknesses (Schwächen)	O pportunities (Chancen)	T hreats (Risiken)
NT 	<ul style="list-style-type: none"> • Kurze Amortisierung • Hohe CO₂-Einsparungen • Heizen und Kühlen • Freie Kühlung möglich • Geringer Platzbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur im NT-Sektor anwendbar • Hohe Investitionskosten • Wartungsintensiv • Nur NT-Wärmequellen • Temperaturgrenzwerte • Langwieriges/aufwändiges Genehmigungsverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr hohe Speicherkapazität • Sehr hoher Wärmeüberschuss • Kombination mit erneuerbaren Energien 	<ul style="list-style-type: none"> • Abhängigkeit von Randbedingungen (CO₂-Preis, Strompreis, Wärme- und Kältenachfrage) • TGA-Planung
HT 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Energiedichte • Versorgung von HT-Anwendungen • Geringer Platzbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Flexibilität • Abhängig von Wärmequelle und -senke • Hohe Investitionskosten • Wartungsintensiv • Umfangreiches Monitoring • Langwieriges/aufwändiges Genehmigungsverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr hohe Speicherkapazität • Unabhängigkeit von externen Wärmequellen • Kombination mit erneuerbaren Energien • Steigender Kältebedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Technische Risiken (Geochemie, TGA-Planung) • Widersprüchliche Interessen (Klima- und Grundwasserschutz) • Abhängigkeit von Randbedingungen (CO₂-Preis, Strompreis, Wärmenachfrage, Wärmeangebot)

Abbildung 7:
Übersicht der
SWOT-Analyse für Aquifer-
speicher in Deutschland

