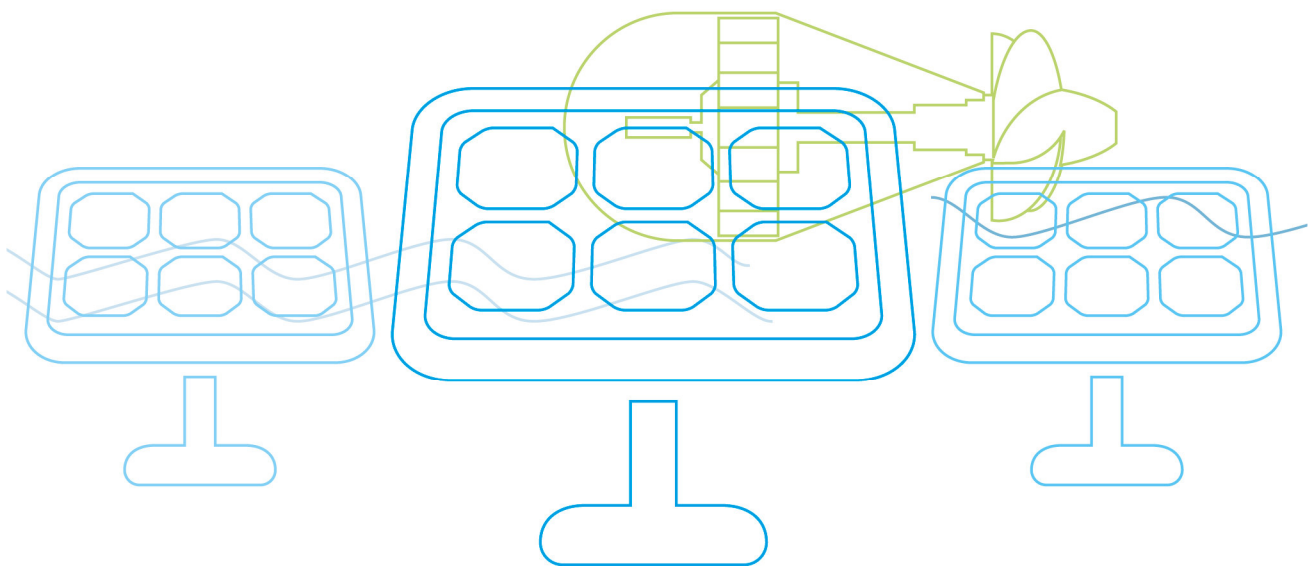




GeoHEAT.at

Aufrüstung konventioneller
Wärmeversorgungs- und Industrieanlagen mit
Tiefer Geothermie und saisonaler Speicherung



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „e!Mission.at“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!



Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds



Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	1
2	Einleitung	2
3	Inhaltliche Darstellung	6
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	11
5	Ausblick und Empfehlungen	13
6	Literaturverzeichnis	13
7	Anhang	13

2 Einleitung

Aufgabenstellung

In Kooperation mit zwei Energieversorgungsunternehmen und einem energieintensiven Industriebetrieb wurde das Forschungsprojekt GeoHEAT.at realisiert. Anhand von zwei Standorten in unterschiedlichen geologischen Gebieten mit unterschiedlichen Anforderungsprofilen sollte geklärt werden, unter welchen geowissenschaftlichen, technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen eine Auf- bzw. Umrüstung bestehender Wärme- und Industrieanlagen mit Methoden der geothermischen Energiegewinnung und Energiespeicherung sinnvoll durchgeführt werden kann.

Schwerpunkte des Projektes

Im Rahmen der Sondierungsstudie wurden folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Beurteilung der technischen und wirtschaftlich sinnvollen Machbarkeit der Nachrüstung konventioneller Wärmegewinnungs- und Industrieanlagen (Schwerpunktsetzung) sowie optionaler KWK-Kraftwerken mit geothermischen Energiegewinnungs- und Energiespeicherungsmethoden im bivalenten Betrieb.
- Erhebung kritischer Erfolgs- und Eignungsfaktoren der zuvor angeführten geothermischen Nachrüstung konventioneller Anlagen.
- Durchführung von Wirtschaftlichkeits- und Risikoanalysen in Gegenüberstellung mit der Errichtung geothermischer Neuanlagen.

Einordnung in das Programm

Das Projekt behandelt prioritär:

Schwerpunkt Themenfeld 2 - Erneuerbare Energien

Subschwerpunkt: 2.4 Tiefe Geothermie

Begründung: Das Projekt GeoHEAT.at befasst sich mit der Um- und Aufrüstung bestehender konventioneller Wärmeversorgungs- und Industrieanlagen mit Methoden der Tiefen Geothermie.

Das Projekt GeoHEAT.at liefert des Weiteren Beiträge zu

Schwerpunkt Themenfeld 4 - Speicher

Subschwerpunkt: 4.4 Thermische Speicher

Begründung: Die Tiefe Geothermie ist eine Technik, die nicht nur zur Versorgung mit Wärme und zur Stromproduktion herangezogen werden kann, sondern ist auch für die saisonale Speicherung von (Ab)Wärme einsetzbar. Das Projekt GeoHEAT.at hat zum Ziel, die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Um- und Aufrüstung von konventionellen Anlagen mit Methoden der Geothermie zu prüfen. Dies umfasst auch die Untersuchung von Möglichkeiten zur Speicherung von z.B. Abwärme, wie sie besonders in energieintensiven Betrieben in hohem Maße anfällt, und zur Speicherung von saisonalem Wärmeüberschuss in Wärmeversorgungsnetzen. Bisher wird Abwärme nicht oder nur zu einem geringen Teil genutzt. Die Speicherung sowie eine optimierte Weiterverwendung von Prozesswärme tragen dazu bei, die Energieeffizienz von Betrieben wesentlich zu steigern. Die hierfür in Frage kommenden Anwendungsmethoden (z.B. Aquifer Thermal Energy Storage – ATEs, Borehole Thermal Energy Storage – BTES oder Cavern Thermal Energy Storage – CTES) werden den jeweiligen geologischen und technischen Rahmenbedingungen an den zu untersuchenden Standorten angepasst.

und zu

Schwerpunkt Themenfeld 1 – Energieeffizienz und Energieeinsparungen

Subschwerpunkt: 1.1 Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe

Begründung: Die Tiefe Geothermie eignet sich vorrangig zur Bereitstellung von Grundlasten (d.h. sehr konstante Leistungsabgabe ohne Bedienung von Spitzenlasten). Die Nachrüstung bestehender konventioneller Wärmegewinnungs- und Industrieanlagen mit geothermischen Komponenten, in Verbindung mit einer entsprechend angepassten Betriebssteuerung, wird hohes Zukunftspotenzial beigemessen. Im Rahmen von planerischen Überlegungen – auf Grundlage von Kenndaten bestehender Anlagen und Verteilungsnetzen – werden innovative Systemansätze erarbeitet. Als qualitatives Ergebnis werden Eignungs- und Erfolgsfaktoren einer geothermalen Nachrüstung bestehender Wärmegewinnungs- und Industrieanlagen formuliert.

Ausschreibungsziele: Das Projekt GeoHEAT.at liefert mit seinen Projektzielen einen Beitrag zu den energiepolitischen Zielen der österreichischen Bundesregierung, wie sie in der Energiestrategie formuliert sind und somit auch zu den Programmzielen der e!Mission-Ausschreibung:

(I) Energieeffizienz: Die Tiefe Geothermie ist eine grundlastfähige erneuerbare Energiequelle, die vor allem in der energieintensiven Industrie bzw. bei konventionell, mit fossilen Kraftstoffen befeuerten Wärmeversorgungsanlagen und kalorischen Kraftwerken bei gegebenen geologischen, technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen hervorragend zur Um- und Nachrüstung geeignet ist. Eine bivalente Betriebsführung (z.B. Deckung von Spitzenlasten durch konventionelle Energieträger) hilft hierbei die Anforderungen an die zu erfüllenden, regionsabhängigen geothermischen Voraussetzungen und die damit verbundenen Investitionskosten zu senken. Zusätzlich ist die Geothermie auch zur Speicherung von nicht genutzter Abwärme und saisonalen Wärmeüberschüssen geeignet, woraus sich weitere Energieeinsparungspotenziale ergeben.

(II) Ausbau der Erneuerbaren Energien in Österreich: Geothermie zählt zu den erneuerbaren Energien und trägt dazu bei, die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und CO₂-Emissionen zu verringern. Methoden der Geothermie werden bisher hauptsächlich zur Beheizung und Warmwasserbereitung in privaten Haushalten und in Gewerbebetrieben, allen voran Wellness- und Badebetrieben angewendet. Der bisherige Ausbau der Tiefen Geothermie in Österreich war auf die Errichtung von Neuanlagen beschränkt. Die Nachrüstung bestehender Wärmegewinnungsanlagen im Bereich der Wirtschaftssektoren Energieversorgung und energieintensive industrielle Produktion stellt eine neue Möglichkeit zur Sichtbar-machung und Verbreitung geothermischer Anwendungsmethoden dar. Darüber hinaus stärkt die Umrüstung von fossil versorgten Großbetrieben und -anlagen einerseits österreichische Unternehmen bei der Einsparung von CO₂-Emissionen und senkt die Energiebereitstellungskosten durch Erhöhung der Energieeffizienz. Hieraus ergeben sich Steigerungspotenziale im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit der besagten Unternehmen. Das Projekt GeoHEAT.at beleuchtet die Machbarkeit der Umrüstung bestehender Anlagen auf Nutzungsmöglichkeiten der Tiefen Geothermie und kann dazu beitragen, dass sich aufbauend auf die Projektergebnisse mehr Unternehmen zum Einsatz der Tiefen Geothermie entschließen. Das Aufzeigen von innovativen Lösungsmöglichkeiten für die kombinierte Energieversorgung und Wärmenetze schafft Anreize für F&E-Leistungen, die sich mit maßgeschneiderten lokalen Energieversorgungskonzepten befassen.

(III) Langfristige Energieversorgung: Die Tiefe Geothermie erschließt bei korrekter Planung und Anwendung eine praktisch unerschöpfliche Energiequelle – die im Erdinneren gespeicherte Wärme. Die Tiefe Geothermie besitzt zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch entscheidende Ausbaupotenziale unter Berücksichtigung der bislang erprobten Anwendungsmethoden (vorrangig Hydrogeothermie, d.h. die Nutzung natürlicher Thermalwässer). Im Jahr 2009 wurde in Österreich eine Gesamtkapazität von Anwendungen der Tiefen Geothermie in der Höhe von ca. 80 MW_{thermisch} (MW_{TH}) erhoben. Es ist aber davon auszugehen, dass alleine in den geothermisch noch nicht genutzten Gebieten mit Thermalwasservorkommen (z.B. Wiener Becken) Ressourcen in der Größenordnung von mindestens 500 MW_{TH} zu erwarten sind. Eine aktuelle Abschätzung der hydrogeothermischen Anwendungspotenziale (Nutzung natürlicher Thermalwässer) ist zwar noch nicht exakt hochgerechnet worden, es kann aber von einem Wärmegewinnungspotenzial von 800 bis 1,000 MW_{TH} ausgegangen werden. Bei einer technischen Weiterentwicklung petrothermischer Anwendungsmethoden (Hot Dry Rock, Enhanced Geothermal Systems) kann damit das zuvor angesprochene hydrogeothermische Wärmegewinnungspotenzial um ein Vielfaches überschritten werden. Im Endbericht der Studie "Energieautarkie für Österreich 2050" (FFG-Studie B068644) wird ein Ausbau der Tiefen Geothermie auf 71 PJ p.a. bis 2050 zur Erfüllung der energie- und klimapolitischen Ziele gefordert. Dies entspricht einer installierten geothermischen Kapazität von 3 bis 4 GW_{TH}. Es ist davon auszugehen, dass geothermische Nutzungsmethoden bis 2050 ausreichend weiter entwickelt sind, um diese Anforderungen zu erfüllen.

Alle drei Punkte adressieren das Ziel 1 der Ausschreibungsziele zur Erreichung der energie-, klima- und technologiepolitischen Vorgaben der österreichischen Bundesregierung. Der Beweis der technischen und auch wirtschaftlichen Machbarkeit der Umrüstung von bestehenden, konventionellen

Wärmegewinnungs- und Industrieanlagen mit der Tiefen Geothermie erhöht die Sichtbarkeit dieser Technik und ermöglicht damit eine beschleunigte Marktdurchdringung, wie es den Vorgaben von Ziel 2 entspricht. Bei erfolgreichem Abschluss und der angestrebten Weiterführung des Projekts bis hin zu einer realen Umsetzung einer Demonstrationsanlage wird auch durch erhöhte Sichtbarkeit der Einsatz dieser innovativen Technologie die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen gestärkt. Die Erkenntnisse aus den Forschungsergebnissen des Projekts GeoHEAT.at können in vielfältiger Weise für weitere Forschungsarbeiten vor allem in Zusammenarbeit mit der Industrie herangezogen und erweitert werden. Damit ergibt sich auch für die Erfüllung von Ziel 3 der Ausschreibung eine Vielzahl an Möglichkeiten der Stärkung von österreichischen Unternehmen sowie von F&E-Einrichtungen, auf dem Gebiet der Tiefen Geothermie zu reüssieren.

Verwendete Methoden

Der GeoHEAT.at-Ansatz untersucht die Nachrüstung bestehender Wärmegewinnungsanlagen im industriellen- und Energieversorgungssektor mit Methoden der tiefen Geothermie. Die untersuchungsleitende Hypothese besagt hierbei, dass die Nachrüstung mit geothermischen Energiegewinnungs- und Speichermethoden aufgrund ihres breiten Anwendungsspektrums ein signifikantes Marktpotenzial in Österreich besitzt. Es gilt jedoch zu klären, unter welchen Voraussetzungen – geogener und technischer Natur – welche geothermische Anwendungsmethode technisch, respektive thermodynamisch, sinnvoll ist und welche Nachrüstungskonzepte sich bereits wirtschaftlich abbilden lassen. Zur Beantwortung der technisch und wirtschaftlich sinnvollen Nachrüstung wurden im Rahmen von GeoHEAT.at folgende Methoden und Lösungsansätze angewandt:

- Abbildung der standortabhängigen geowissenschaftlich-thermodynamischen sowie hydrologisch/hydrogeologischen Verhältnisse im Untergrund (geowissenschaftliche Modellierung) mittels geologischer 3D-Modellierung.
- Technische Planung der geothermischen Anwendungsmethode inklusive Energiegewinnungs- und Energieübertragungskomponenten; besonderes Augenmerk wurde auf technische Lösungen für eine Nachrüstung zu einem bivalenten Wärmeversorgungsbetrieb gelegt.
- Thermodynamische Beurteilung der entworfenen Konzepte.
- Dynamische Simulation der Energiequelle bzw. des Energiespeichers (Reservoirs) sowie der technischen Gewinnungs- und Energieübertragungskomponenten.
- Energiewirtschaftliche Analysen der technisch realisierbaren Konzepte und Risikobewertung.
- Standortbeurteilung auf Grundlage standortspezifischer Entscheidungspfade.

3 Inhaltliche Darstellung

Zur Beantwortung der technischen und wirtschaftlich sinnvollen Nachrüstung konventioneller Wärmegewinnungs- und Industrieanlagen mit Hilfe geothermischer Methoden wurden im Rahmen der Studie GeoHEAT.at folgende Methoden und Lösungsansätze verfolgt:

- (1) Abbildung der standortabhängigen geowissenschaftlich-thermodynamischen Verhältnisse im Untergrund (Geowissenschaftliche Modellierung)
- (2) Technische Planung der geothermischen Anwendungsmethode inkl. Energiegewinnungs- und Energieübertragungskomponenten
- (3) Dynamische Simulation der Energiequelle bzw. des Energiespeichers (Reservoirs) sowie der technischen Gewinnungs- und Energieübertragungskomponenten
- (4) Energiewirtschaftliche Analysen der technisch realisierbaren Konzepte und Risikobewertung
- (5) Standortbeurteilung auf Grundlage standortspezifischer Entscheidungspfade

Ad (1): Abbildung der standortabhängigen geowissenschaftlich-thermodynamischen Verhältnisse im Untergrund

Die Abbildung der geowissenschaftlichen Voraussetzung zur technischen Anwendung geothermischer Methoden umfasst die interdisziplinären Themenbereiche Geothermie (thermische Verhältnisse im Untergrund), Geologie (Aufbau und Struktur des Untergrundes), Hydrogeologie (Wasserhältnisse im Untergrund), Gesteinsphysik und Geochemie (insbesondere Wasserchemismus).

Hierbei wurden folgende Lösungsansätze verfolgt:

- **Aufbau dreidimensionaler geologischer Modelle des Untergrundes. Die Grundlage der geologischen Modelle bilden publizierte bzw. in den Archiven der Projektpartner vorhandene geologische Bohrprofile, Profilschnitte und Karten (Literatur- und Archivrecherchen).**

In einem vorbereitenden Arbeitsschritt wurden die vorhandenen Daten digitalisiert und gemäß den Fragestellungen der Studie GeoHEAT.at interpretiert. Hierbei wurden vereinfachte Schemata des geologischen Aufbaus des Untergrundes gemäß gesteinsphysikalischer und hydrologischer Gesichtspunkte definiert (konzeptionelles geologisches Modell). In weiterer Folge wurden den verschiedenen Schemata geeignete geothermische Anwendungsmethoden (Hydrogeothermie, Petrothermie, Energiegewinnung oder Energiespeicherung) zugeordnet und bilden einen Teilaspekt der unter (4) angeführten Standortbeurteilung.

Die vorhandenen neu interpretierten geologischen Eingangsdaten wurden anschließend zu dreidimensionalen geologischen Modellen des Untergrundes kombiniert. Hierbei kommen die

Softwarepakete ArcGIS™ (Datenverwaltung) und GOCAD™ (geologische 3D Modellierung) zum Einsatz (geologische 3D Modellierung). Der Vorteil der geologischen 3D Modellierung liegt (a) in der besseren räumlichen Verknüpfbarkeit der meist räumlich nur begrenzt vorliegenden Eingangsdaten sowie in (b) der Übernahme der interpolierten räumlichen Geometrie für die nachfolgend durchzuführenden numerischen Modellrechnungen (siehe Punkt -2-). Neben der räumlichen Verbreitung der interpretierten geologischen Schichten sollen die geologischen Modelle auch relevante geologische Störungen beinhalten.

- **Abbildung der hydrologischen und hydraulischen Verhältnisse im Untergrund:**

Die Begriffe Hydrologie und Hydraulik behandeln alle Aspekte hinsichtlich des Vorhandenseins von natürlichem Thermalwasser und der Beschaffenheit des Untergrundes hinsichtlich der Möglichkeit von natürlichen Fließwegen im Untergrund. Es ist hierbei zu beachten, dass bislang Wasser der wichtigste Energieträger zur Gewinnung von Erdwärme darstellt.

Ausgangspunkt des anvisierten Ansatzes stellen wiederum Literatur- und Archivrecherchen dar, welche auf Hinweise auf Thermalwässer und Zonen erhöhter Wasserdurchlässigkeit im Untergrund im Bereich der ausgewählten Standorte abzielen (Literatur- und Archivrecherchen). Anhaltspunkte hierzu liefern verfügbare Bohrlochuntersuchungen sowie Analogieschlüsse aus benachbarten Aufschlüssen der jeweiligen Reservoirs.

Auf Grundlage der zur Verfügung stehenden ortsspezifischen Eingangsdaten erfolgen die räumliche Eingrenzung der potenziell wasserführenden oder wasserleitfähigen Schichten sowie eine Abschätzung der zu erwartenden hydraulischen Eigenschaften (hydraulische Permeabilität, Transmissibilität), welche in dem bereits vorliegenden geologischen 3D Modell verortet wurden (hydrogeologische Modellierung). Dies umfasst sowohl geologische Körper als auch hydraulisch leitfähige Bereiche im Nahbereich von Störungszonen und Karstkörper. Demzufolge wird auch dem durch tektonische Beanspruchung entstandenen, etwaig vorhandenen Kluftnetz besonderes Augenmerk geschenkt.

Nach erfolgter Eingrenzung der potenziellen Reservoirs zur Energiegewinnung und Energiespeicherung erfolgte abschließend die Beschreibung und Klassifizierung der zu erwartenden Thermalwässer gemäß Druckverhältnisse, Alimentierung durch die Erdoberfläche und chemischer Zusammensetzung (hydrologische Modellierung).

- **Abbildung der thermischen Verhältnisse im Untergrund:**

Auf Grundlage der am Anfang des Projekts erfolgten Literatur- und Archivrecherchen an der Geologischen Bundesanstalt (P1), welche über die größte geothermische Datensammlung Österreichs verfügt, wurden Temperatur und Wärmestrominformationen aus Messungen in Tiefbohrungen zu einem drei-dimensionalen Temperaturmodell verarbeitet (thermische Modellierung). Hierbei wurde auf das bereits vorhandene geologische Modell zurückgegriffen, wobei die dreidimensionale Modellierung der Temperatur im Untergrund am jeweiligen Standort unter Benutzung der Softwarepakete Comsol Multiphysics™ und FEFLOW™ erfolgt.

In einen anschließenden Bearbeitungsschritt wurde das vorliegende Temperaturmodell in ein geothermisches Ressourcenmodell umgewandelt. Zu diesem Zweck wurden die Ressourcen anzeigenden Kenngrößen geothermischen Potenzials (Heat in Place), natürlicher Wärmenachschub

(thermische Bilanz) sowie technisch gewinnbarer Anteil des geothermischen Potenzials (eingeschränktes technisches Potenzial), berechnet. Die Berechnung des eingeschränkten technischen Potenzials erfolgte auf Grundlage des zuvor erarbeiteten hydrologisch-hydrogeologischen Modells und berücksichtigt sämtliche am jeweiligen Standort in Frage kommenden geothermischen Anwendungsmethoden.

Ad (2): Technische Planung

Der Begriff technische Planung umfasste sämtliche konzeptionelle Tätigkeiten, die in der Identifizierung geeigneter geothermischer Anwendungsmethoden und der Auswahl der hierzu notwendigen technischen Komponenten, von der Erschließung und Behandlung des Reservoirs, bis hin zur Energieübertragung in oberirdischen Anlagen. Die hierfür einzusetzenden Arbeitsschritte umfassten (a) die Aufarbeitung der technischen Grundlagen (Literaturerhebungen, Experteninterviews und Einholung von Angeboten zu Komponenten) und (b) die technische Planungen.

Ad (3): Dynamische Simulation

Unter Vorgabe der Betriebsparametern und Leistungsprofilen am jeweiligen Standort durch die involvierten Energieversorger wurden im Rahmen der dynamischen Simulationen zeitabhängige Energie- und Stoffflüsse zwischen dem geothermischen Reservoir und der technischen Anlage (Wärmeversorgung, KWK-Stromgewinnung) abgebildet. Der technische Kompetenzbereich der Studie GeoHEAT.at endete bei der Wärmeübergabestation an ein anschließendes Wärmenetz bzw. am Spannungsumwandler des Stromkraftwerkes. Im Wesentlichen wurde zwischen den technischen Arealen Reservoir – Sonde (Produktion und Injektion) – geothermische Verstromungsanlage (inkl. Rückkühlung) und Wärmetransport zu Wärmeübergabestation in ein Nah- bzw. Fernwärmenetz unterschieden.

- **Dynamische Simulation des Reservoirs:**

Nach erfolgter Auswahl der geothermischen Anwendungsmethode und Festlegung der Betriebsweise (geothermische Energiegewinnung oder saisonale Wärmespeicherung) erfolgte unter Berücksichtigung der vom Energieversorger bzw. Industriepartner vorgegebenen Betriebsfunktion (Wärmestrom und Temperaturniveau des Wärmeträgermediums) eine zeitabhängige Simulation des zu erwartenden Reservoirverhaltens. Zu diesem Zweck wurden gekoppelt thermisch-hydraulische Simulationen der Interaktion zwischen angestrebter geothermischer Nutzung und Reservoir mit Hilfe des Softwarepakets Comsol Multiphysics™ durchgeführt. Diese Simulationen dienen dazu die Ergiebigkeit der geothermischen Wärmequellen bzw. das thermische Langzeitverhalten des geothermischen Speichers zu untersuchen. Die Ergebnisse der numerischen Modellrechnungen repräsentieren Zeitreihen der Reservoirtemperatur, des Reservoirdrucks sowie der hydraulischen Leitfähigkeit des Gebirges innerhalb eines vorgegebenen Betriebszeitraumes. Ein weiterer wesentlicher Aspekt der dynamischen Reservoirsimulationen stellten Modellrechnungen der hydrochemischen Beschaffenheit des Reservoirs, insbesondere in der Anwesenheit von Gasen (natürliches CO₂, Kohlenwasserstoffe), dar. Zumal Änderungen der chemischen Beschaffenheit der Reservoirfluide unter Umständen signifikanten Einfluss auf die Effizienz der geothermischen Anwendung ausüben können. Diese hydrochemische Modellierung wurde mit der Software PHREEQC ausgeführt.

- **Dynamische Simulation der Bohrungen (Gewinnungsanlage):**

Unter Berücksichtigung der Betriebsanforderungen (Massenstrom und Temperaturniveau des Wärmeträgermediums) und der zu erwartenden Verhältnisse im Reservoir erfolgte zunächst eine technische Planung der Gewinnungsanlage (technische Konzeption). Hierunter sind sämtliche Bauten zur Förderung und Injektion der erwärmten Wässer (natürliche Thermalwässer oder künstlich eingebrachter Wässer) in Form von Sonden und Bohrungen inklusive Leitungs- und Rohreinbauten zu verstehen.

Nach Festlegung des technischen Gewinnungskonzepts wurden die Wärme- und Massenflüsse in der Gewinnungsanlage unter Berücksichtigung der chemischen Beschaffenheit des Wärmeträgers modelliert (dynamische Simulation der Massen- und Energieflüsse in der Gewinnungsanlage). Die Abbildung der dynamischen Prozesse in der Gewinnungsanlage erfolgte mit Hilfe von selbst erstellten Algorithmen auf Grundlage von Näherungsrechnungen und berücksichtigt unter anderem die Reduktion des Temperaturniveaus sowie die Änderung der Druckverhältnisse des Wärmeträgermediums. Wesentliche Bedingungen dieser iterativ durchgeführten Modellrechnungen stellten die Betriebsanforderungen der Anlage sowie zu erwartende chemische Reaktionen des Wärmeträgers (chemische Ausfällungen) dar. Hierbei erfolgte eine interaktive Koppelung an die Simulation des Reservoirs im Nahbereich der Gewinnungsanlage, wobei die Koppelungs- bzw. Übergabevariablen die Temperatur, der Druck sowie die chemische Aktivierungsenergie (Fokus Ausfällungen) darstellen.

- **Wärmetransport zur Übergabestation und Verstromungsanlage**

Die standortspezifische Abbildung der thermischen Prozesse in den Verbindungsleitungen zwischen Gewinnungsanlage und der Wärmeübergabestation bzw. der Verstromungsanlage dient der Festlegung maximaler Distanzen zwischen geothermische Wärmequelle bzw. Wärmespeicher und der obertägigen Anlage und wurde in der unter Punkt (4) angeführten Standortbeurteilung berücksichtigt. Hierbei wurde ein Leitungsplanungstool auf Grundlage von thermodynamischen Näherungslösungen unter Vorgabe von Randbedingungen (Temperatur, Wärmemenge, Druckverlust in der Leitung) zur Ausgabe der maximalen Leitungslänge aufgebaut, wobei auf Berechnungsmethoden zurückgegriffen wird, die bereits in der Abbildung der dynamischen Prozesse in der Wärmegewinnungsanlage ausgearbeitet worden sind.

Ad (3): Energiewirtschaftliche Analysen und Risikobewertung

Die angestrebten energiewirtschaftlichen Analysen dienen (a) der Betriebsoptimierung sowie (b) der Überprüfung der wirtschaftlich sinnvollen Machbarkeit. Hierfür wird ein projektspezifisches Wirtschaftlichkeitsbetrachtungstool auf Grundlage von Standardsoftwarepaketen (z.B. MS Excel oder Matlab™) erarbeitet. Der zu Grunde liegende Ansatz sieht stets eine bivalente Wärmebereitstellung (geothermische Nachrüstung und bestehender konventioneller Energieträger) dar. Das Wirtschaftlichkeitsbetrachtungstool setzt sich im Wesentlichen aus folgenden Komponenten zusammen:

- **Kostendarstellung:**

Die Kostendarstellung umfasst die Errichtungskosten (Erschließung Reservoir, Errichtung Gewinnungsanlage, obertägige Einrichtung bestehend aus Antriebssystemen, Leitungen und optionaler

Verstromungsanlage sowie Wärmeübergabestation). Auf Grundlage eines Komponentenkataloges wurden die Investitionskosten aus vorangegangenen Studien und einschlägigen Recherchen erhoben. Errichtungskosten, die von geologischen Rahmenbedingungen abhängig sind, wurden als parameterabhängige Kostenfunktionen abgebildet (z.B. Abhängigkeit der Bohrkosten von der Erschließungstiefe).

Neben den Errichtungskosten wurden die laufenden Betriebskosten und soweit sinnvoll mit den geologischen Rahmenbedingungen in Kontext gestellt (z.B. Antriebsenergie für Umwälzpumpen oder Service- und Austauschintervalle von Verschleißmaterial).

Als weitere Kostengruppe wurden Finanzierungskosten auf Grundlage von Standardberechnungsprozeduren berücksichtigt.

- **Optimierung der spezifischen Gesteungskosten:**

Die „spezifischen Gesteungskosten“ (Summe Euro/MWh Wärme und / oder Strom) stellen die Zielgröße der Betriebsoptimierung dar und interagieren iterativ mit den absoluten Gesteungskosten. Die kritische Nebenbedingung dieses Optimierungsprozesses ergibt sich aus dem Verkaufspreis für Wärme und Strom. Weitere Nebenbedingungen sind Amortisationszeitraum bzw. die Rendite innerhalb eines vorgegebenen Betriebszeitraums. Die zu variierenden Optimierungparameter sind in der Anzahl der zu leistenden Betriebsstunden und gegebenenfalls durch das bereitzustellende Temperaturniveau der geothermischen Wärmequelle gegeben. Hieraus konnte im Rahmen eines iterativen Prozesses eine optimierte Betriebsweise (Spitzenlastabdeckung versus Grundlastversorgung) der bivalenten Wärmebereitstellung erzielt werden. Liefert dieser Optimierungsprozess keine reelle Lösung, so ist die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens nicht gegeben.

- **Risikobewertung**

Die Investitionen zur Nachrüstung bestehender Wärmeversorgungs- und Industrieanlagen und KWK-Kraftwerke sind primär mit geologischen Risiken sowie in weiterer Folge mit technischen Risiken im Fall unkonventioneller geothermischer Anwendungen verbunden. Das geologische Risiko kann nur durch gezielte Erkundung der unterirdischen Verhältnisse, das technische Risiko durch Anwendung etablierter geothermischer Applikationen mit einer ausreichend großen Marktdurchdringung (z.B. Hydrogeothermie) reduziert, jedoch nicht gänzlich eliminiert werden. Die im Rahmen der avisierten Sondierungsstudie durchzuführenden Risikoanalysen basierten auf dem unter Punkt (3) beschriebenen Wirtschaftlichkeitsberechnungstool.

In einem ersten Bearbeitungsschritt wurden sämtliche mit Risiken behafteten Komponenten (hauptsächlich geologische Rahmenbedingungen im Reservoir) einer allgemeinen Sensitivitätsanalyse unterzogen, um kritische Komponenten identifizieren zu können. In einem darauf folgendem Arbeitsschritt wurde die Unsicherheit der Kostenprognose dieser Komponenten mit Hilfe statistischer Verfahren (Monte Carlo Simulation der geologischen Rahmenbedingungen) unterzogen. Abschließend wurden geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des geologischen und technischen Risikos als vorbereitende Maßnahme der Projektentwicklungsphase 2 identifiziert und einer Kosten-Nutzen-Rechnung unterzogen, wobei der Begriff „Nutzen“ die tatsächliche Reduktion des verbleibenden Risikos bei Anwendung einer Maßnahme umfasst. Dies wird mittels empirischer Erhebungen bei bislang durchgeführten vergleichbaren Projekten umgesetzt.

Ad (4): Standortbeurteilung und Standortauswahl für Phase 2

Die Standortbeurteilung ist generell als projektbegleitender Prozess anzusehen. Sie umfasst die Bereiche Methodenauswahl und Standortauswahl der Bohrungen, technische Machbarkeit und wirtschaftliche Machbarkeit. Sie führt zu einem modular aufgebauten Beurteilungsschema, welches sämtliche Entwicklungsphasen bis zur Errichtung der Pilotanlage umfasst und mit einer ebenfalls mehrstufig aufgebauten Risikobeurteilung kombiniert wird.

- **Standortbeurteilung**

Die Standortbeurteilung basierte auf einem dualen Entscheidungspfad (Go / No-Go), welcher auf den Ergebnissen sämtlicher Arbeitspakete im Rahmen eines Komponentenkataloges aufgebaut wurde und im Rahmen der angestrebten Sondierungsstudie in der Auswahl geeigneter Standorte von Pilotanlagen für eine vertiefende Planung in Phase 2 mündete.

Auf Grundlage der Betriebsvorgaben sowie der geologischen Rahmenbedingungen erfolgte zunächst die Auswahl geeigneter geothermischer Anwendungsmethoden, welche auf einem zuvor zu erarbeitenden generellen geothermischen Methodenkatalog beruht.

Nach der Festlegung geeigneter Anwendungsmethoden erfolgte die Standortfestlegung der Gewinnungsanlage (Bohrungen). Diese beruht im Wesentlichen auf den Ergebnissen der dynamischen Simulationen Reservoirverhalten, optimiertes Leitungsnetz) und wurde mit Hilfe geografischer Informationssysteme (Softwarepaket ArcGIS™) umgesetzt.

Die Beurteilung der technischen Machbarkeit erfolgte auf Grundlage von eingangs in Abstimmung mit dem Energieversorger definierten Erfolgsfaktoren, wie etwa die Bereitstellung geothermischer Energie im ausreichenden Umfang und auf ausreichendem Temperaturniveau. Zu diesem Zweck wurde ein generell anzuwendendes technisches Beurteilungsschema erarbeitet, welches an den jeweiligen standortspezifischen Anforderungen angepasst werden kann.

Die abschließend durchgeführte wirtschaftliche Indikatorenbildung wurde bereits unter Punkt (3) erläutert.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Nachrüstung konventioneller Wärmebereitstellungsanlagen wird vorrangig durch wirtschaftliche, weniger durch technische Aspekte beschränkt. Bei einer hydrothermalen Nutzung muss das Fündigkeitsrisiko als wesentlicher Erfolgsfaktor in der wirtschaftlichen Betrachtung mit abgebildet werden. Das Konzept einer bivalenten Energieversorgung unter Beibehaltung der konventionellen Wärmequelle (zum Beispiel Gaskessel) und Deckung von Grundlasten bzw. Vorwärmprozessen mithilfe geothermischer Energiequellen (serielle Schaltung der Quellen) ist aus wirtschaftlicher Sicht ohne gleichzeitige Adaption der konventionellen Wärmequellen (Zusatzinvestition) nicht sinnvoll. Eine parallele Schaltung der Energiequellen im bivalenten Betrieb unter Vorgabe von zu erreichenden Temperaturniveaus an die Geothermie ist wesentlich sinnvoller. Hierbei kann der Anwendung von

Hochtemperatur-Wärmepumpen zur Angleichung von Temperaturniveaus eine zukünftige Relevanz beigemessen werden.

Als Abschluss des Workshops und als zweites Hauptziel des AP 6 wurden auch verallgemeinerbare Kriterien für Auf- und Umrüstungsprojekte mit Methoden der Tiefen Geothermie formuliert:

- **Temperaturkriterien – Angebot vs. Nachfrage; Volllaststunden; Gesamtenergiebedarf**
Diese Kriterien werden in der Regel von den Wirtschafts- und Industriepartnern vorgegeben. Wie vorher ausgeführt, sind Projekte mit der Tiefen Geothermie weniger durch technische als durch wirtschaftliche Rahmenbedingungen beschränkt. Wenn der Gesamtenergiebedarf des Unternehmens derart hoch ist, dass viele Bohrungen benötigt würden (eine Hydrogeothermaldublette hat eine Leistung von max. 40 – 50 MW), würde das für das Unternehmen enorm hohe Investitionskosten mit sich bringen, sodass davon auszugehen ist, dass kaum ein Unternehmen alleine dies bewerkstelligen könnte. Eine Chance wären in diesem Fall Verbände von Wirtschafts- und Industriepartnern mit Wärmeversorgungsunternehmen sowie mit Ländern/Gemeinden als Finanzierungspartner, um eine Nutzung der Geothermie optimal zu gestalten und auch die wirtschaftliche Belastung aufzuteilen.
- **Geologische Voraussetzungen**
Eines der größten Risiken bei Projekten mit der Tiefen Geothermie sind die geologischen Gegebenheiten am betrachteten Standort. Am Beispiel der Hydrogeothermie wurde im Projekt GeoHEAT.at gezeigt, dass die Fündigkeit eines der wichtigsten Kriterien ist. Eine Grundvoraussetzung sind geologische Horizonte, die für eine geothermische Nutzung in ausreichender Mächtigkeit vorhanden sind. Für Projekte der Tiefen Geothermie sind geologische Erkundungsmaßnahmen im Planungsstadium unerlässlich.
- **Datenlage/Kennntnisstand**
Zu allen Maßnahmen, die zur Vorerkundung und Planung für ein Projekt der Tiefen Geothermie gehören, ist eine ausreichende Quantität und Qualität von vorhandenen Daten unerlässlich. Je besser die vorhandene Datenlage ist, desto schneller kann mit der Planung eines Geothermieprojektes begonnen werden. Projekte der Tiefen Geothermie sind immer auch Hochrisikoprojekte, die bei einer unzureichenden Datenlage enorme technische und wirtschaftliche Probleme mit sich ziehen können.
- **Infrastrukturelle Voraussetzungen**
Unter diesem Punkt versteht man die infrastrukturellen Gegebenheiten am betrachteten Standort. Diese sind z.B. die Anzahl der potenziellen Abnehmer im Umkreis, der Standort für einen möglichen Bohrplatz, die Anzahl und Länge von notwendigen Leitungen, etc.
- **Investitionsbereitschaft; Lebenszyklus bestehender Anlagen**
Projekte der Tiefen Geothermie sind in der Regel mit hohen Investitionen verbunden, die sich

erst – so wie alle Großprojekte – nach mehreren Jahren amortisiert. Die grundsätzliche Investitionsbereitschaft eines Unternehmens wird umso größer sein, je näher konventionelle Wärmegewinnungsanlagen dieses Unternehmens am Ende ihres Lebenszyklus angekommen sind und je höher dementsprechend der Druck zu einer Erneuerung der Anlagen ist. Im Falle einer nahen Umrüstung einer veralteten konventionellen Anlage werden Unternehmen eher bereit sein, über eine Umrüstung mit Anlagen der erneuerbaren Energien nachzudenken.

- **Politische Rahmenbedingungen**

Projekte der Tiefen Geothermie sind Projekte, die nicht nur die potenziellen Abnehmer betreffen, sondern auch politischen Rahmenbedingungen unterworfen sind. Diese sind z.B. Wasser- und Bergrecht, Förderungen, Genehmigungsverfahren etc.

5 Ausblick und Empfehlungen

Im Rahmen der Studie GeoHEAT.at wurde die Nachrüstbarkeit bestehender, konventioneller Wärmeversorgungsanlagen an Hand von zwei konkreten Standorten untersucht. In der Eingangsphase der Studie wurden weitere potenzielle Standorte von zwei Wirtschaftspartnern (EVUs) diskutiert und vorab aufgrund einer geringeren Priorität ausgeschieden. Ein weiterer wesentlicher Forschungsaspekt ergibt sich nun in der Generalisierung der erzielten Erkenntnisse auf den Wärmebereitstellungsmarkt in Österreich. Hierbei gilt es die Frage zu klären, in welchem Ausmaß bestehende Wärmeversorgungsnetze und bestehende betrieblich genutzte Wärmeversorgungsanlagen mit Hilfe geothermischer Methoden nach- bzw. umgerüstet werden können. Dies führt letztendlich zu einer Abschätzung des tatsächlichen Marktpotenzials geothermischer Anwendungen in Österreich zur Wärmebereitstellung. Entwicklungspotenziale zur kommunalen Wärmeversorgung auf Grundlagen von hydrogeothermischen Methoden wurden jüngst im Rahmen der FFG Studie GeoEnergie2050 (FFG Projektnummer 2662672) für die Zeiträume 2020 und 2050 prognostiziert. Die hierbei erzielten Ergebnisse könnten zusammen mit betrieblichen Wärmeversorgungsanlagen hinsichtlich des GeoHEAT.at Ansatzes bewertet werden. Hierdurch ließe sich die Frage klären, ob das Anwendungspotenzial geothermischer Methoden ein höheres Marktpotenzial in der Nachrüstung bestehender Wärmegewinnungsanlagen gegenüber dem Einsatz der Geothermie in Neubauprojekten besäße.

6 Literaturverzeichnis

Siehe Themenberichte im eCall

7 Anhang

Siehe Themen- und Detailberichte im eCall

IMPRESSUM

Verfasser

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Health & Environment Department

Edith Haslinger
Konrad-Lorenz-Str. 24, 3430 Tulln
Tel.: 050550-3608
Fax: 050550-3452
E-Mail: edith.haslinger@ait.ac.at
Web: www.ait.ac.at

Projektpartner

Geologische Bundesanstalt
FA Hydrogeologie & Geothermie
Neulinggasse 38, 1030 Wien

TU Wien
Institut für Energietechnik und
Thermodynamik
Getreidemarkt 9 / 302, 1060 Wien

geohydrotherm
Ingenieurbüro für Geotechnik, Geohydraulik
und Geothermie Eisenstädter Straße 4/1/7,
2485 Wimpassing an der Leitha

AutorInnen

- Edith Haslinger (AIT, A)
- Gregor Götzl (GBA)
- Karl Ponweiser (TU Wien)
- Richard Niederbrucker (geohydrotherm)
- Gerhard Heiss (AIT)
- Stefan Hoyer (GBA)
- Martin Jung (AIT)
- Daniel Lange (TU Wien)
- Walter Saurer (GBA)
- Alain Straus (AIT)
- Julia Weilbold (GBA)

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die
Weiternutzung der hier enthaltenen
Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH