



Tiefe Geothermie dauerhaft nutzen

Neues Rechenmodell ermöglicht Langzeitprognosen für Geothermie-Anlagen in der Region rund um München



Im Voralpenland boomt die Geothermie. Hier gibt es in der Tiefe große Thermalwasservorkommen. Derzeit sind allein im Großraum München 15 geothermische Wärmezentralen bzw. Kraftwerke in Betrieb oder in Bau. Geowissenschaftler unter Leitung des Leibniz-Instituts für Angewandte Geophysik (LIAG) haben für diese Region die geologischen und hydraulischen Bedingungen untersucht und ein Simulationsmodell entwickelt. Damit lassen sich jetzt die wechselseitige Beeinflussung der Anlagen, der Langzeitbetrieb und das Fündigkeitsrisiko neuer Planungen besser prognostizieren.

Geothermische Bohrungen müssen präzise vorgeplant werden. Manchmal entscheiden nur wenige Meter zusätzlicher Tiefe oder seitlicher Abweichung darüber, ob es gelingt, ausreichende Mengen Wasser auf dem für ein Wärmenetz oder Kraftwerk benötigten Temperaturniveau zu fördern oder nicht. Das gilt auch im bayerischen Molassebecken, der Region zwischen Donau und Alpen, wo in einem Kluft-Karst-Aquifer das bedeutendste Thermalwasservorkommen Europas zu finden ist. Im Malm, einer bis zu 600 m mächtigen Gesteinsschicht, die nach Süden hin in bis zu 5.000 m Tiefe abfällt, liegt ein ergiebiger Aquifer mit Temperaturen zwischen 10 °C und 160 °C. Die Temperatur sowie die förderbare Wassermenge pro Sekunde sind die entscheidenden Kriterien für die Wirtschaftlichkeit eines Standorts. Um sicherzustellen, dass diese Randbedingungen dauerhaft gegeben sind, wurde für den Großraum München untersucht, in welchem Ausmaß sich die mittlerweile 15 benachbarten Anlagen (Abb. 1) beeinflussen und wie langzeitstabil die Anlagen betrieben werden können.

Im Fokus der Studie stehen die geologischen und hydraulischen Verhältnisse in bis zu 5.000 m Tiefe. Die Forscher kommen zum Ergebnis, dass sich in den kom-

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

menden 50 Jahren die Temperaturabsenkungen im Untergrund infolge der Thermalwasserförderungen nur auf die direkte Umgebung der Reinjektionsbohrung beschränken. Anlagen in Nachbargemeinden beeinflussen sich also nicht (Abb. 3). Es kommt zwar über diesen Zeitraum zu hydraulischen Änderungen durch sinkende oder steigende Wasserstände im Aquifer, diese erreichen aber keine Größenordnung, die das Gesamtsystem oder einzelne Anlagen beeinträchtigen werden.

Die Geothermieregion simulieren

Um derartige Prognosen berechnen und quantitative Aussagen treffen zu können, entwickelten die Forscher ein numerisches thermisch-hydraulisches 3D-Modell für den Großraum München. Numerische Simulationen sind seit langem bei der Suche nach Erdöl und -gas Standard und werden dies zunehmend auch in der Geothermie. Die zentrale Aufgabe ist, möglichst exakte geothermische Ausgangsparameter zu ermitteln und in die Berechnungen zu integrieren. Das Modell basiert auf den umfangreichen Datenbeständen aus der Umgebung der Anlage Unterhaching, dem sogenannten Aussagegebiet (Abb. 1). Mit dem Modell können Experten jetzt u. a. weitere Anlagen in die regionale Betrachtung einbeziehen. Auch lassen sich veränderte Förderbedingungen an bestehenden Anlagen und Änderungen im Wärmehaushalt und bei der Thermalwasserhydraulik im Modellgebiet simulieren. Außerdem besteht die Möglichkeit, das Modell im Rahmen eines regionalen Ressourcenmanagements einzusetzen.

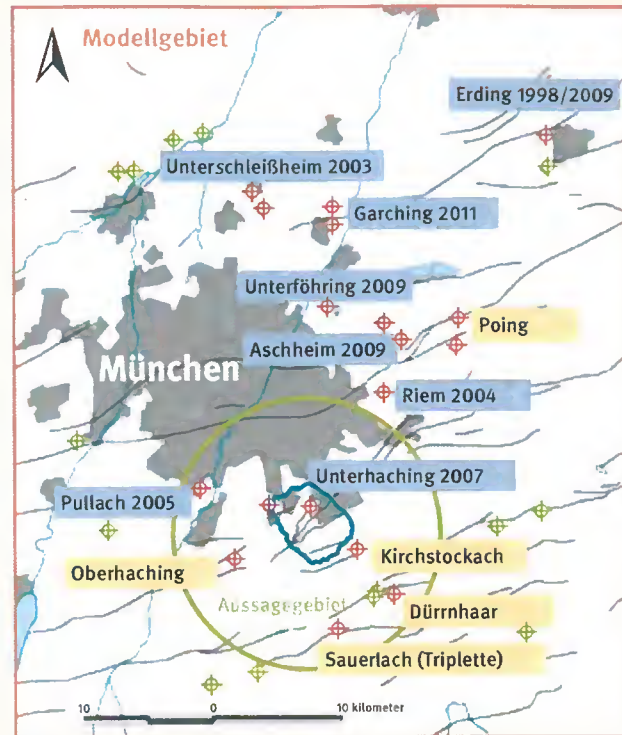
In das Modell flossen u. a. Erkenntnisse aus folgenden Datenquellen und anderweitigen Untersuchungen ein:

- Ergebnisse aus früheren Bohrungen nach Erdöl und -gas, die allerdings meist oberhalb des Aquifers endeten.
- 3D-Seismik Unterhaching (s. u.)
- 3D-Strukturmodell
- Hydrogeologisches Modell
- 3D-Temperaturmodell
- Daten aus Bohrungen und Pumpversuchen an den einzelnen Geothermie-Anlagen

Die genannten Untersuchungen haben detaillierte Kenntnisse zur geologischen und hydraulischen Struktur im Untersuchungsgebiet erbracht (S. 4, Literatur „Schulz, R.“).

Messungen mit Vibrationsfahrzeugen

Die schon existierende Anlage Unterhaching, eine geothermische Dublette mit Förder- und Reinjektionsbohrung, verfügte über eine sehr gute Datenbasis. Eine flächenhafte seismische Untersuchung (3D-Seismik) wurde durchgeführt, um die Bohrungsbefunde auf drei Dimensionen zu erweitern. Durch den Vergleich zwischen vorhandenen Messwerten und errechneten Werten wurde das Modell kalibriert. Bei einer seismischen Messung verursachen große Vibrationsfahrzeuge seismische Wellen im Untergrund (VibroSeis-Technik, Abb. 2). Diese Signale werden von den verschiedenen Gesteinsarten in unterschiedlicher Weise reflektiert. Geophone zeichnen diese Reflexionsmuster auf. Aus der Auswertung kann man eine ziemlich genaue räumliche Vorstellung der geologischen Strukturen ableiten. Die Erdoberfläche vergangener Epochen, genauer gesagt, die Historie der Entstehung des Untergrunds, wird damit im Prinzip wieder sichtbar: Wo gab es Hebungen und wo Senkungen oder Einbruchstrukturen, wo liegt eine geologische Verwerfung oder eine Verbindung zum tiefer liegenden kristal-



- ◆ Geothermiebohrungen
- ◆ Kohlenwasserstoffbohrungen
- 3D-Seismik Unterhaching
- Störungszonen im Malm

Abb. 1 Geothermische Wärmezentralen und Kraftwerke im Großraum München sowie das Aussagegebiet und das 2.500 km² große Modellgebiet (Anlagen in Betrieb (blau), in Bau (gelb), Stand Ende 2011). Quelle: LIAG



Abb. 2 Vibrationsfahrzeuge im Zentrum von Unterhaching. Quelle: LIAG

linen Gestein vor und wo war im tropischen Meer ehemals ein Riff oder eine Lagune. Standorte für neue Anlagen sollten möglichst mehrere positive Attribute vereinen. Für eine möglichst gute Wasserführung (hydraulische Leitfähigkeit) in der Tiefe werden beispielsweise Karst-Einbrüche, Hohlräume, Störungszonen, Klüfte und Riffstrukturen gesucht, während die ehemaligen flachen Becken (Lagunen) schlechtere Wasserleiter sind. Auch die Verteilung der einzelnen Gesteinsarten ist im Untersuchungsgebiet sehr kleinteilig und übt einen großen Einfluss auf die hydraulische Leitfähigkeit aus. Gute und schlechte Wasserleiter liegen vielerorts in unmittelbarer Nachbarschaft.

Seismisches Monitoring Unterhaching

Die aus 3.350 m Tiefe geförderte geothermische Wärme wird in Unterhaching seit 2007 in einem lokalen Wärmenetz und seit 2009 zur Stromproduktion mit einem Kraftwerk genutzt. Das Thermalwasser hat eine Temperatur von 122 °C und es können bis zu 150 l/s gefördert werden. Die Anlage verfügt

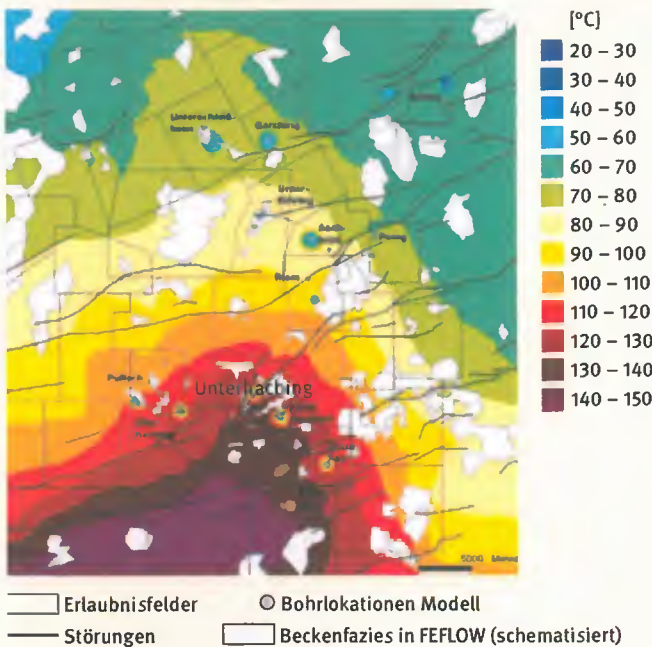


Abb. 3 Temperaturfeld im ersten Hauptzuflussbereich des Malm nach 50 Jahren geothermischer Nutzung (Quelle: LIAG)

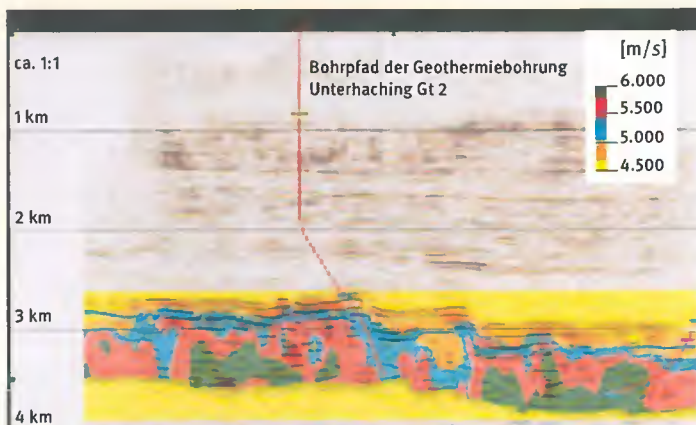


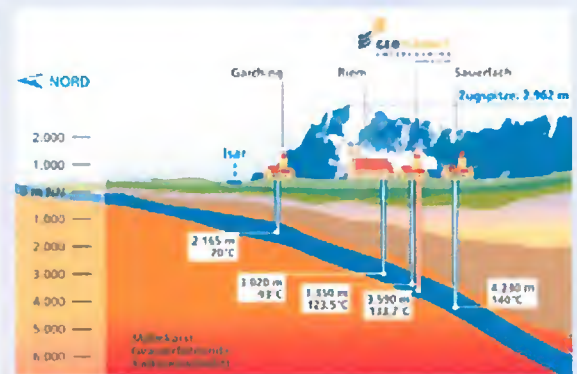
Abb. 4 Die Farben stellen unterschiedliche seismische Geschwindigkeiten in 3 – 4 km Tiefe dar, welche als unterschiedliche Wasserdurchlässigkeiten interpretiert werden können (blau = gut, rot und grün = gering). Gelb hinterlegt (ohne Auswertung bzw. Interpretation). Quelle: LIAG

über zwei Bohrungen: eine Förderbohrung und eine Reinjektionsbohrung, über die das nach der Wärmeentnahme in der Anlage abgekühlte Thermalwasser wieder in die Tiefe geleitet wird.

Da Messgeräte an den Bohrstellen in Unterhaching kleine Erderschütterungen (mikroseismische Ereignisse) erfasst haben, entschlossen sich die Forscher, an dieser Anlage ein seismisches Monitoring durchzuführen. Dazu richteten sie vor Ort ein lokales Messnetz mit fünf Stationen ein, das auch geringste Erdbebewegungen zuverlässig erfasst hat. In einem fast zweijährigen Beobachtungszeitraum konnten 101 Ereignisse von den Messgeräten dokumentiert werden. Im Mittel lagen ihre Magnituden zwischen -0,5 und +1,0. Ein Mikrobeben erreichte eine Magnitude von +2,1. Für Menschen sind Magnituden ab etwa +3,0 wahrnehmbar. Die gemessenen Werte sind zu gering, als dass Gebäudeschäden in Unterhaching auftreten könnten. Die Skala zur Messung der Seismizität ist logarithmisch aufgebaut: Eine Zunahme um +1 bedeutet eine Verzehnfachung der Intensität. Fast alle Erderschütterungen ließen sich auf das Umfeld der Reinjektionsbohrung lokalisieren. Ein Zu-

Süddeutsches Molassebecken

In der Region zwischen Schwäbischer und Fränkischer Alb und dem Nordrand der Alpen, dem süddeutschen Molassebecken, findet sich vom nördlichen Ausbiss bis in 5.000 m Tiefe der Malm, eine andere Bezeichnung für den Oberjura. Thermalwasser befindet sich überwiegend in den oberen zwei Dritteln dieser Schicht. Vor ca. 150 Millionen Jahren lagerte hier ein tropisches Flachwassermeer Kalke, Sande und Tone ab, die sich im Untergrund zu kalkigem Feinsandstein, Karbonaten und Mergel verfestigten. Durch tektonische Rissbildung und Wasserausspülungen entstand der sogenannte Karst, der im Bereich der Klüfte sehr wasser-durchlässig sein kann. Der Malm ist intern ein hochdifferenzierter Aquifer. Fließgeschwindigkeit, Strömung, der horizontale Zu- und Abstrom und die Förderung und Reinjektion, die vertikale Grundwasserneubildung, die Tektonik und der geologische Aufbau beeinflussen den Thermalwasserhaushalt.



Nord-Süd-Schnitt durch das Voralpenland
Quelle: Geothermie Unterhaching

sammenhang mit der aktuellen Betriebsweise der Geothermie-Anlage war bisher nicht feststellbar. Die Analysen ergaben, dass die kleinen Erderschütterungen in der kristallinen Gesteinsschicht etwa 1 bis 1,5 km unterhalb des tiefsten Punktes der Bohrung ihren Ursprung nehmen. Die Bohrung in Unterhaching hat vermutlich eine Anbindung an eine tief ins Kristalline reichende Störung. An allen anderen Geothermie-Anlagen im Molassebecken waren bisher keine mikroseismischen Ereignisse messbar.

Neue Anlagen liefern neue Daten

Die im Untersuchungsgebiet erarbeiteten Erkenntnisse lassen sich auf das komplette Modellgebiet übertragen. Dies ermöglicht eine regionale Bewertung und Optimierung der geothermischen Erschließung. Damit gibt es jetzt eine Grundlage für einen intensiveren Informationsaustausch zwischen Planern und der Genehmigungsbehörde. Vor der Errichtung einer neuen Anlage andernorts kann man mit dem Modell im Vorfeld eine optimale Anlagenkonfiguration simulieren. Das ermöglicht, die wechselseitige Beeinflussung benachbarter Anlagen zu minimieren. Jede neue Anlage wird ihre Bohrdaten ins System eingeben. Damit wachsen der Datenbestand und damit die Aussagekraft weiter. Zukünftig sollen auch mechanische Parameter, wie z. B. Spannungsfelder, in das Modell integriert werden.



Geothermie in anderen Regionen

Geothermie bietet innerhalb der erneuerbaren Energien den großen Vorteil, dass sie unabhängig von Jahres- und Tageszeiten zur Verfügung steht. Die Untersuchungen im Großraum München haben wichtige Erkenntnisse zur Nachhaltigkeit der Anlagen erbracht und die Prognosesicherheit für neue Standorte verbessert. Neben den Arbeiten im Voralpenland gibt es weitere vergleichbare Ansätze zur Erforschung der tiefen Geothermie in anderen Regionen und bundesweit.

Auch die im festen Gestein enthaltene Wärme kann erschlossen werden. Im zweiten Holbjahr 2012 fanden dazu im westlichen Erzgebirge in der Region rund um Schneeberg und Bad Schlema grundlegende Untersuchungen statt, bei der ebenfalls 3D-Seismik eingesetzt wurde. Das Gebiet ist wegen früherer Bergbauaktivitäten bis in eine Tiefe von 1,5 bis 2 km recht gut bekannt. Untersucht wird der Granit des kristallinen Grundgebirges in 5 bis 6 km Tiefe. Dort werden Temperaturen oberhalb von 150 °C erwartet. Ziel ist, eine geeignete Struktur für eine mögliche Forschungsbohrung zu identifizieren.

Einen einfachen Zugang zu geologischen und geophysikalischen Daten aus vielen deutschen Regionen bietet das Geothermische Informationssystem GeotIS via Internet (BINE-Projektinfo 9/2011). Das System ist ein digitaler Geothermieatlas. Wichtige Größen sind die Temperatur, Tiefenlage, Mächtigkeit und hydraulische Leitfähigkeit tiefer Grundwasserleiter. Darüber hinaus bietet GeotIS Informationen zu mehr als 30.000 Tiefbohrungen sowie ca. 35.000 seismischen Profilen und gewährt damit einen Überblick über weitere wichtige Datenquellen. Auch die Betriebsdaten der deutschen Geothermie-Anlagen sind ein Bestandteil von GeotIS. Alle diese Angaben erleichtern Planern und Investoren die erste Einschätzung eines möglichen Geothermiestandorts.

GeotIS ist mit Daten aus den Regionen gestortet, in denen die Geothermie bereits genutzt wird: Molassebecken, Oberrheingraben und norddeutsche Tiefebene. In den letzten beiden Jahren sind 3D-Untergrundmodelle für Hessen und Niedersachsen und Karten für die Gebirgsdurchlässigkeit in Nordostdeutschland hinzugekommen. Durch ein weiterentwickeltes Web-Design konnte die Bedienerfreundlichkeit verbessert werden. Zusätzliche Bohrdaten aus 320 Bohrungen in Deutschland haben die Berechnung eines neuen 3D-Temperaturmodells möglich gemacht, das aktuell in das System eingepflegt wird. Mittlerweile liegt GeotIS auch in englischer Sprache vor.

Projektbeteiligte

- » **Gesamtkoordination und geophysikalische Untersuchungen:** Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Prof. Dr. Rüdiger Schulz, Dr. Rüdiger Thomas, Dr. Michael Dussel, Dr. Ewald Lüschen, Michael.Dussel@liag-hannover.de
- » **Regionales 3D-Strukturmodell und geologische Untersuchungen:** Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, Dr. Thomas Fritzer, Thomas.Fritzer@lfu.bayern.de
- » **Hydrogeologisches Modell:** Hydroconsult GmbH, Dr. Bernhard Huber,
- » **Thermisch-hydraulisches 3D-Modell:** Geothermie Neubrandenburg GmbH & Aquasoil GmbH, Dr. Jörn Bartels; Dr. Frank Wenderoth
- » **Seismologisches Monitoring:** Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), Geophysikalisches Observatorium, Prof. Dr. Joachim Wassermann, Tobias Megies

Links und Literatur

- » www.liag-hannover.de | www.geotis.de | www.geothermie-unterhaching.de
- » Geothermische Stromerzeugung im Verbund mit Wärmenetz. BINE-Projektinfo 10/2009
- » Tiefer Erdwärme auf der Spur. BINE-Projektinfo 09/2011
- » Schulz, R.; Thomas, R.; Dussel, M. u. a.: Geothermische Charakterisierung von karstig-klüftigen Aquiferen im Großraum München. Endbericht. Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover (Hrsg.). März 2012. 99 S., FKZ 0325013A

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info im Bereich Publikationen/Projektinfos.
- » BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Projektorganisation

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
11055 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Andrea Ballouk
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0325013A,B

Impressum

ISSN
0937 - 8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe GmbH · Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Uwe Milles

Titelbild
iStock.com
bkindler

Urheberrecht
Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
Tel. 0228 92379-0
Fax 0228 92379-29
kontakt@bine.info
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages