



Originally published as:

Huenges, E. (2010): Tiefe Geothermie in Deutschland - eine Übersicht. - bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, Sonderheft, Tiefe Geothermie, 6-13

Tiefe Geothermie in Deutschland – eine Übersicht

Erfahrungen und Perspektiven ■ Der verstärkte Ruf nach einer grundlastfähigen Energieversorgung aus regenerativen Quellen und hochgesteckte Klimaschutzziele verlangen eine nachhaltige Entwicklung der Geothermie. Die Komplexität geothermischer Systeme wiederum erfordert einen ganzheitlichen Ansatz, der das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten – von der Erschließung der Lagerstätte bis zur erzeugten Kilowattstunde – berücksichtigt. Forschungsbedarf besteht bei der Erkundung, Erschließung sowie hinsichtlich Produktivität steigender Maßnahmen, um einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb zu erreichen (Abb. 1). Zudem müssen die obertägigen Anlagenkomponenten in ihrer Leistungsfähigkeit optimiert werden. Dabei kommt den Demonstrationsprojekten eine besondere Bedeutung zu. In Mitteleuropa stehen die sog. „Enhanced Geothermal Systems (EGS)“-Technologien im Mittelpunkt. So können durch hydraulische Stimulation die Wasserdurchlässigkeit und die Wärmetauscherfläche des unterirdischen Gesteins künstlich vergrößert und damit die Lagerstättenproduktivität verbessert werden. EGS-Technologien eignen sich besonders für Standorte, an denen die Wirtschaftlichkeit nicht von vorneherein gegeben ist. Etwa 95 Prozent des geothermischen Potenzials in Deutschland sind mit dieser Technologie erschließbar.

Anspruchsvolle energie- und umweltpolitische Zielsetzungen stellen die Energieversorgung vor neue Herausforderungen: Der Energiemix der Zukunft soll ökologisch verträglich, ressourcensicher und wettbewerbsfähig sein. Langfristige Energiesicherheit und nachhaltige Energiekonzepte sind gefragt. Das Ziel der Europäischen Union, bis zum Jahr 2020 den Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Energieverbrauch der EU auf 20 % zu steigern, macht die hohen Erwartungen an diese Energieträger deutlich.

Das geothermische Potenzial ist dabei ökonomisch und umweltpolitisch äußerst interessant. Anders als Wind und Sonne steht Erdwärme rund um die Uhr zur Verfügung. Geothermische Anlagen sind damit grundlastfähig. Mit geothermischer Energiebereitstellung sind auch unter Berücksichtigung der Aufwendung für den Anlagenbau nur sehr geringe CO₂-Emissionen verbunden. Die Erdwärme stellt somit eine ökologisch beispielhafte Alternative zur Kernkraft und zu fossilen Energieträgern dar.



Quelle: Deutsches GeoForschungszentrum GFZ
Abb. 1 In-situ-Geothermielabor im brandenburgischen Groß Schönebeck, Fördertest 2007

Die Erde birgt ein hohes, energiewirtschaftlich interessantes Potenzial an Wärme. Ihr Wärmehalt resultiert aus der Gravitationsenergie durch die Kontraktion von Gas und Festkörperpartikeln während ihrer Entstehung. Hinzu kommen eine eventuell noch vorhandene Ursprungswärme und Wärme, die beim Zerfall radioaktiver Isotope frei wird. Nach heutigen Vorstellungen sind die Wärme produzierenden Isotope des Urans, des Thoriums und des Kaliums in der kontinentalen Kruste angereichert, die vorwiegend aus granitischen und basaltischen Gesteinen besteht (Abb. 2).

Aus Erdwärme kann Energie in Form von technisch nutzbarer Wärme oder elektrischem Strom bereitgestellt werden. Die geothermische Fündigkeit ist dabei nicht auf ausgeprägt vulkanische Gebiete beschränkt. Im Prinzip gibt es Erdwärme überall, auch in Mitteleuropa. In Deutschland eignen sich für die tiefe Geothermie zur Stromerzeugung bevorzugt drei Regionen: das süddeutsche

Molassebecken, der Oberrheingraben und das Norddeutsche Becken. Allerdings muss man dort mehrere Kilometer tief bohren, um ein Temperaturniveau zu erschließen, das hoch genug ist, um über Dampfturbinen elektrische Generatoren anzutreiben. Die Erschließung stellt spezifische Anforderungen an Technik und Engineering und ist beim aktuellen Entwicklungsstand noch mit hohen Investitionen verbunden. Technologisch und ökonomisch tragfähige Konzepte sind gefragt, um den geringen Marktanteil der Geothermie an der Energieversorgung zu stärken.

Lernkurve Geothermie

In Deutschland erlebte die Nutzung der Erdwärme in den vergangenen Jahren große Zuwachsraten. Seit 2008 sind mehr als ein Gigawatt Wärmeleistung aus der Geothermie installiert. Davon verteilen sich 130 MW_{th} auf größere Anlagen, der überwiegende Anteil von allein schon über 1 GW_{th} stammt jedoch aus Erdwärmesonden: Das sind Wärmequellenanlagen für Wärmepumpen, die

Ein- oder Mehrfamilienhäuser beheizen. In Süddeutschland wird heißes Wasser aus der Tiefe in einigen Gemeinden für die zentrale Wärmeversorgung genutzt, so zum Beispiel in Erding, Pullach und Unterschleißheim. Geothermische Anlagen in Mecklenburg-Vorpommern tragen bereits seit den 1990er-Jahren zur Wärmeversorgung bei.

Aber auch in der Nutzung tiefer geothermischer Ressourcen zur Stromversorgung gibt es eine positive Entwicklung. Im November 2003 nahm im mecklenburgischen Neustadt-Glewe das erste geothermische Pilotkraftwerk Deutschlands mit einer Leistung von 0,2 MW_{el} den Betrieb auf. Es demonstrierte, dass auch unter hiesigen geologischen Bedingungen Stromerzeugung aus geothermischen Ressourcen technisch möglich ist. Das erste größere industriell betriebene Erdwärmekraftwerk in Deutschland mit einer elektrischen Leistung von 3 MW_{el} und einer Wärmeleistung zwischen 6 und 8 MW_{th} ging 2007 im pfälzischen Landau ans

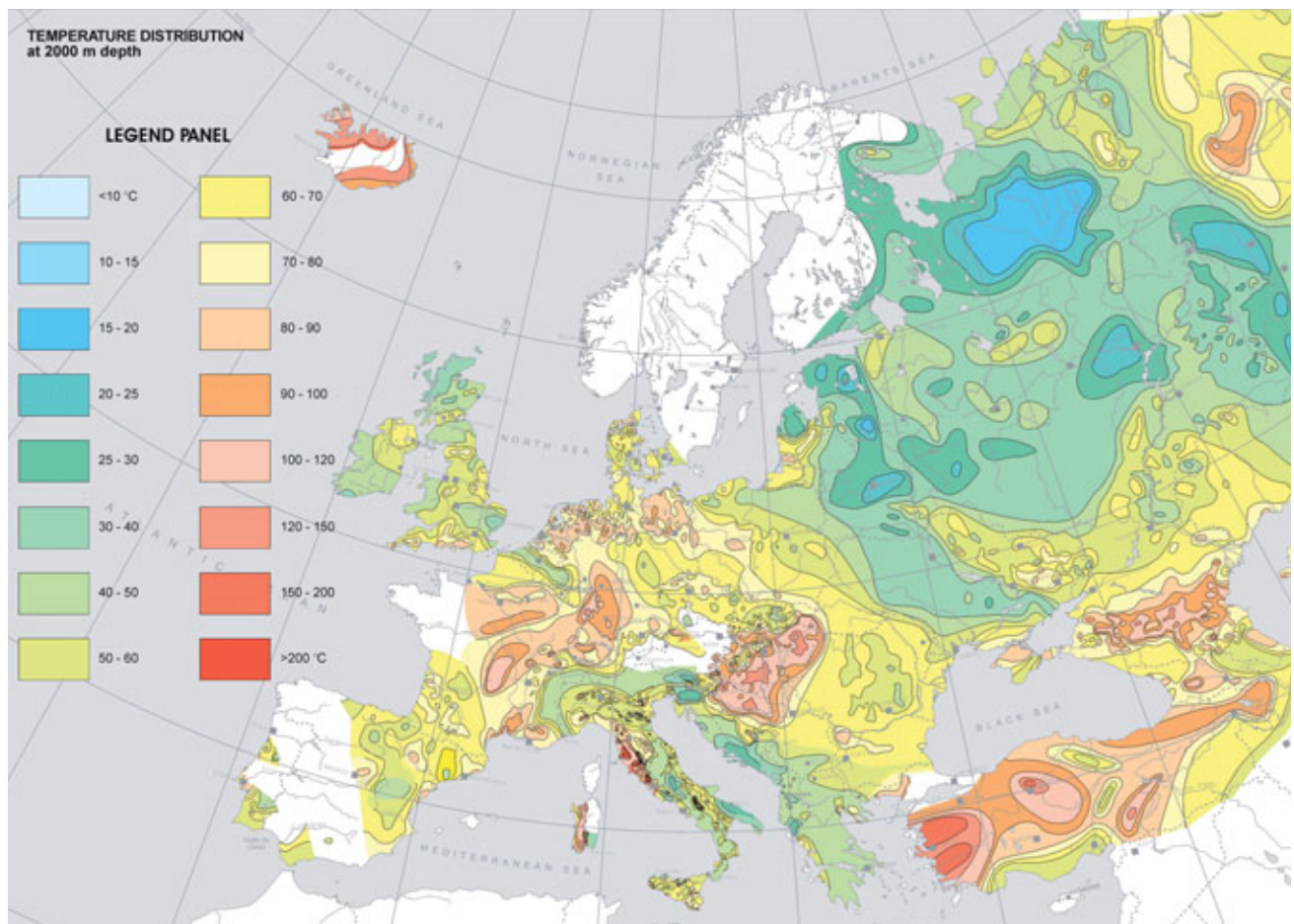


Abb. 2 Temperaturverteilung in zwei Kilometern Tiefe

Netz. Beide Anlagen arbeiten nach dem ORC-Prinzip. Sie besitzen einen separaten Turbinenkreislauf mit einem Arbeitsmittel, das schon bei niedrigeren Temperaturen als Wasser siedet, den heißes Wasser aus dem Untergrund über einen Wärmetauscher erhitzt. Im pfälzischen Landau ging 2007 das erste größere industriell betriebene Erdwärme-Kraftwerk in Deutschland mit einer elektrischen Leistung von 3 MW_{el} und einer Wärmeleistung zwischen 6 und 8 MW_{th} ans Netz (Abb. 3).

Im bayerischen Unterhaching versorgt seit Juni 2009 eine sogenannte Kalina-Anlage die Gemeinde mit geothermischem Strom, nachdem bereits seit 2007 Wärme in das örtliche Fernwärmenetz eingespeist wird. Der Kalina-Kreisprozess arbeitet unter Verwendung von Ammoniak-Wasser als Arbeitsmedium. Die Wärme des Thermalwassers wird an das Arbeitsmedium abgegeben. Der wesentliche Unterschied zum ORC-Verfahren ist die Verwendung eines Gemisches als Arbeitsfluid und dessen Konzentrationsänderungen – Desorption durch die Wärmezufuhr bzw. Absorption durch die Wärmeabfuhr. Desorption und Absorption verlaufen im Gegensatz zum ORC-Prozess nicht isotherm. Dadurch wird eine signifikant bessere Wärmeübertragung von der Niedertemperaturquelle erreicht. Im Vergleich zum ORC-Prozess hat der Kalina-Prozess eine aufwendigere und damit teurere Anlagenkonstruktion. Weitere Anlagen sind in der Planung und im Bau.

Nach dem im Mai 2009 vom Bundeskabinett verabschiedeten Geothermie-Bericht sollen in Deutschland bis zum Jahr 2020 etwa 280 Megawatt Leistung zur geothermischen Stromerzeugung installiert sein. Bei einer Leistung von etwa fünf Megawatt pro Kraftwerk entspricht dies mehr als fünfzig Kraftwerken. Sie haben zusammen das Potenzial, rund 1,8 Milliarden Kilowattstunden Strom und zusätzlich 3,4 Milliarden Kilowattstunden Wärme pro Jahr zu erzeugen. Im Bereich der Wärmeerzeugung ohne Stromproduktion wird erwartet, dass 2020 zudem 4,8 Milliarden Kilowattstunden Wärme aus Anlagen der Tiefen Geothermie erzeugt werden können. Nach 2020 wird mit einer Be-

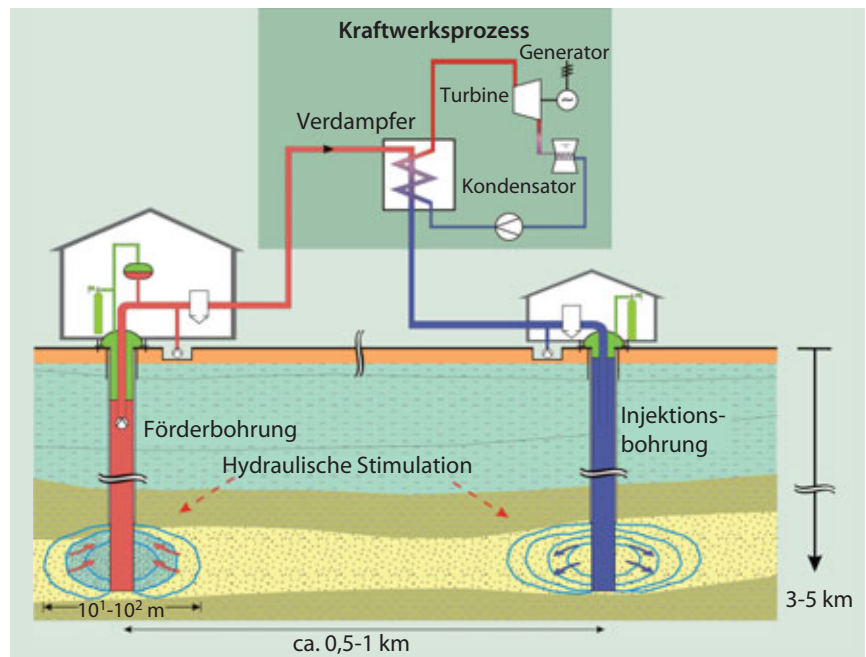


Abb. 3 Geothermische Stromerzeugung nach dem ORC (Organic Rankine Cycle)-Prinzip. Über eine Produktionsbohrung fördert eine Pumpe heißes Tiefenwasser nach oben. Mit der Wärme wird über einen Verdampfer im Kraftwerkskreislauf eine Turbine zur Stromgenerierung betrieben. Der Turbinenkreislauf enthält ein organisches Arbeitsmedium mit einer niedrigen Siedetemperatur, um die Effizienz zu steigern (Organic Rankine Cycle). Das abgekühlte Wasser wird über eine Injektionsbohrung (blau) wieder in den Untergrund zurückgeführt.

schleunigung des Wachstums und einer installierten elektrischen Leistung von 850 Megawatt bis 2030 gerechnet.

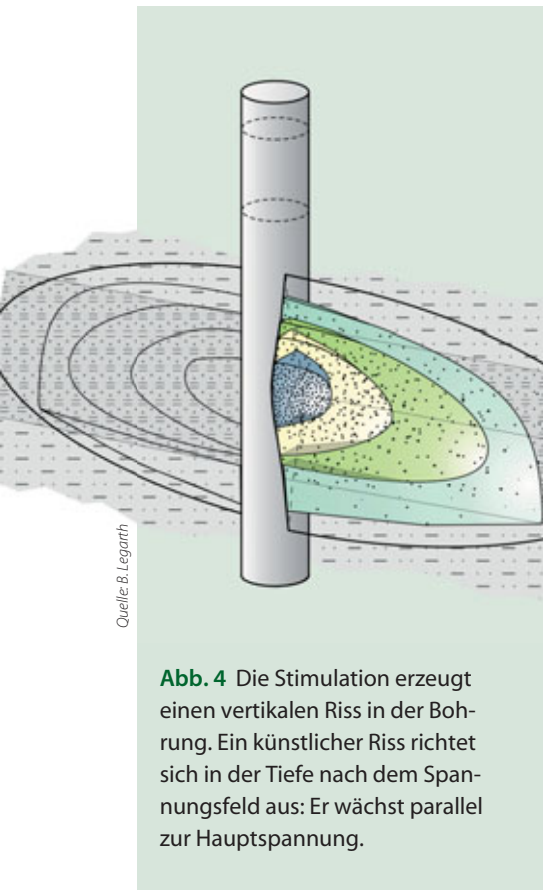
Geothermische Energiequellen

In Mitteleuropa ist die oberflächennahe Geothermie schon relativ verbreitet: Wärmepumpen nutzen Boden und Grundwasser in wenigen Metern Tiefe als Wärmequelle für die Versorgung von Häusern. Solche Anlagen brauchen nur einen geringen Temperaturhub von wenigen Grad, um für Heizzwecke ausreichend Wärme zu produzieren. Eine zweite Wärmequelle ist heißes Wasser aus der Erde. Solche hydrothermalen Systeme befinden sich in vulkanischen, aber auch in nichtvulkanischen Regionen. Heute nutzen noch die meisten größeren geothermischen Kraftwerke der Welt, die elektrischen Strom produzieren, heißes Wasser aus vulkanisch aktiven Gebieten.

Ein typisches Beispiel für die Vor- und Nachteile dieser Art der Energieerzeugung ist das 60 MW-Kraftwerk auf dem Vulkan Krafla in Island: Aus knapp zwanzig Bohrungen in bis zu 2.200 Meter Tiefe fördert es eine anfangs fast

400 °C heiße hydrothermale Sole, die sich beim Aufstieg im Bohrloch entspannt, abkühlt und schließlich als Dampf mit 170 °C in das Kraftwerk gelangt. Die in dieser Sole enthaltenen Komponenten Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, Salze und Schwermetalle stellen für den verlässlichen Betrieb eine ingenieurtechnische Herausforderung dar. Sie drohen, die Bohrlöcher zuzusetzen und können Abwasser erzeugen, das die Umwelt belastet. Mit dem heutigen Stand der Technik ist man jedoch in der Lage, diese Thermalwässer sicher wieder in die Tiefe zurückzupumpen.

Hydrothermale Systeme, die nicht direkt mit einem Vulkan in Verbindung stehen, bereiten erheblich weniger Probleme. Im süddeutschen Raum und in der Norddeutschen Tiefebene gibt es zum Beispiel einige Regionen mit hydrothermalen Niederdrucklagerstätten in Tiefen bis etwa 3.000 Meter. Diese hydrothermalen Nutzhorizonte sind Warm- oder Heißwasser führende Grundwasserleiter (Aquifere), aus denen über Tiefbohrungen das meist salzhaltige Wasser entzogen wird.



Quelle: B. Legarth

Abb. 4 Die Stimulation erzeugt einen vertikalen Riss in der Bohrung. Ein künstlicher Riss richtet sich in der Tiefe nach dem Spannungsfeld aus: Er wächst parallel zur Hauptspannung.

Da dieses Wasser Temperaturen zwischen 60 und 120 °C hat, eignet es sich allerdings kaum für eine effektive Produktion von elektrischem Strom. Deshalb wird es vorwiegend zur Gebäudeheizung eingesetzt. Dazu wird dem Tiefenwasser an der Erdoberfläche mit Wärmeüberträgern die Wärme entzogen, die in Nah- oder Fernwärmenetze eingespeist werden kann. In diesen Temperaturbereichen bietet sich – auch ohne Stromproduktion – eine Vielzahl von Nutzungsmöglichkeiten für die geothermische Wärme. Typische Beispiele sind Heizzentralen zur Bereitstellung von Nah- und Fernwärme für Haushalte, Kleinverbraucher und Industrieanwendungen, die Stand der Technik sind. Klassisch ist die direkte Nutzung der Thermalwasser als Heil- und Badewasser.

Geothermische Reservoirs

Ab 4.000 Meter Tiefe stößt man praktisch überall im Untergrund auf über 150 °C heiße Gesteinsformationen. Sie enthalten das bei Weitem größte Reservoir an geothermischer Energie, das derzeit technisch zugänglich und für die Stromerzeugung interessant ist. Die Technologie zur Nutzung der tiefen

Geothermie erfordert in der Regel jeweils mindestens eine Förder- und eine Schluckbohrung, die heißes Wasser mit ausreichender Temperatur aus einem tiefen Grundwasserleiter (Aquifer) erschließen. Anlagen mit einer größeren Anzahl von Bohrungen (Geothermiefelder) sind in Deutschland bisher noch nicht Stand der Technik. Über Tage wird der Thermalwasser-Kreislauf geschlossen. Die Energie wird in der Regel über einen Wärmeüberträger an den jeweiligen Abnehmer weitergegeben und das ausgekühlte Wasser über die Schluckbohrung in die Lagerstätte zurückgeführt.

Die Temperaturen im bayrischen Molassebecken liegen in 3.000 Metern Tiefe bei 120 Grad. Das ist zumindest für die Wärmebereitstellung geeignet, für effiziente Stromproduktion aber etwas zu kalt. Der Großraum München entwickelt sich zu einer Hochburg. Verhaltener sind die Aktivitäten am Oberrheingraben, obwohl dort höhere Temperaturen herrschen: bis zu 160 Grad ab 3.000 Metern Tiefe. Dort besteht aber auch ein höheres Fündigkeitsrisiko, weil die geologischen Sedimentschichten in seitlich begrenzten Blöcken vorliegen, die je nach tektonischer Vorgeschichte mal höher und mal tiefer anzutreffen sind. Dieses verschachtelte System erschwert es, wasserführende Risse zwischen den Blöcken zu finden. Das norddeutsche Becken hat deutschlandweit das größte Potenzial an Lagerstätten, die heißes Wasser führen. Aber der Aufwand ist wesentlich größer als zum Beispiel am Oberrheingraben, weil man tiefer bohren muss: 150 Grad werden erst ab 4.000 Metern Tiefe erreicht. Hinzu kommt, dass gerade in Nordostdeutschland vielerorts schlicht das Geld für Geothermie fehlt. Den großen Ausbau haben wir dort noch nicht erlebt, obwohl Mecklenburg-Vorpommern mit den Anlagen in Waren an der Müritz, Neubrandenburg und Neustadt-Glewe eine Vorreiterrolle in der Tiefengeothermie spielt.

Eine zentrale Rolle zur zukünftigen Nutzung der tiefen Geothermie nehmen die Enhanced Geothermal Systems (EGS) ein. Unter Enhanced oder auch Engineered Geothermal Systems versteht man Systeme, die mit produktivitätssteigernden

Maßnahmen zur Wirtschaftlichkeit geführt werden. Zu EGS-Systemen gehören auch die früher sogenannten Hot Dry Rock (HDR)-Systeme. Das sind trockene Gesteinsformationen, die übermäßig zugeführtes Wasser nutzen. Das Wasser nimmt die Wärme des Untergrundes über die natürlichen oder zuvor durch Stimulation künstlich geschaffenen Wärmetauscherflächen auf und transportiert es an die Oberfläche.

EGS-Technologien werden für Standorte entwickelt, an denen die Wirtschaftlichkeit nicht von vornherein gegeben ist. Etwa 95 % des geothermischen Potenzials in Deutschland sind nur mit dieser Technologie erschließbar. Alle dazu notwendigen Systemkomponenten sind zwar prinzipiell verfügbar, arbeiten aber in der Zusammenschaltung oft noch nicht ausreichend zuverlässig und effizient. Da EGS-Systeme weltweit verbreitet sind, sind die hier entwickelten Technologien nicht nur in Deutschland für die Geothermienutzung interessant. Sie können auf andere Standorte mit vergleichbaren geologischen Bedingungen übertragen werden. Diese internationale Perspektive sollte der technologischen Entwicklung einen zusätzlichen Schub geben.

Sedimentäre geologische Umgebungen sind meist in Gegenden hoher Bevölkerungsdichte mit einem potenziell großen Bedarf an Wärme anzutreffen, der beim Betrieb eines Erdwärmekraftwerkes mit wenig zusätzlichem Aufwand mit bedient werden kann. Die hier vorherrschenden klüftig-porösen Speichergesteine bilden aufgrund moderater terrestrischer Wärmeflüsse erst in größeren Tiefen geothermische Lagerstätten. In diesen Zonen gibt es tiefe Speichergesteine mit Porenraum, die heiße Tiefenwässer mit ausreichendem Energiegehalt für eine geothermische Stromerzeugung enthalten (Aquifere). Als Transportwege der Tiefenwässer dienen Klüfte, seien sie natürlich als offenes Trennsystem vorhanden oder künstlich durch Stimulation erzeugt.

Reservoir-Engineering

Die Nutzung des Untergrundes hängt im besonderen Maße von der effizienten Bewirtschaftung des Reservoirs ab. Dazu

Entwicklungen, Anwendungen, Perspektiven

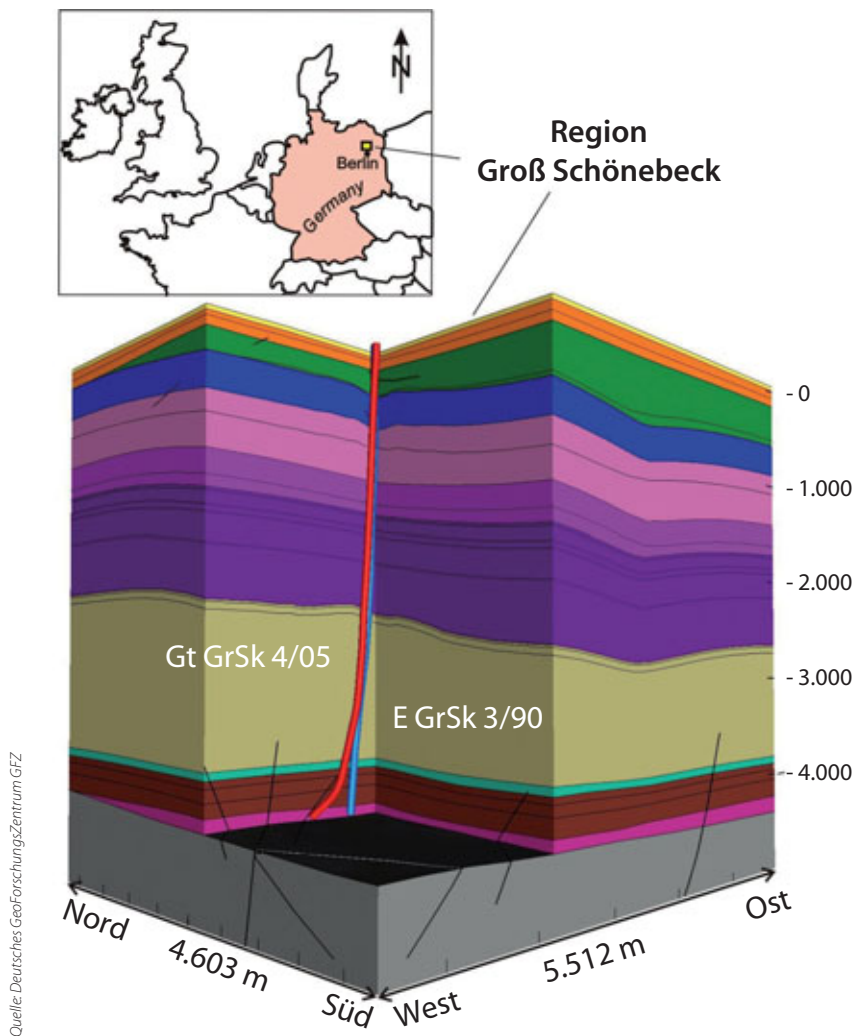


Abb. 5 Bohrfadverlauf der Forschungsbohrungen in Groß Schönebeck; Rot: E GrSk 3/90: Altbohrung der Erdgasexploration (1990), 4.309 Meter; Blau: Gt GrSk 4/05: Geothermiebohrung (2006), 4.400 Meter

muss man das Gesamtsystem aus Bohrung und Reservoir im Untergrund qualitativ und quantitativ verstehen. Mit diesem Verständnis kann man die Prozesse in der Bohrung, im bohrlochnahen Bereich und im Reservoir gestalten.

Die zentrale Maßnahme zur Produktivitätssteigerung ist dabei das Reservoir-Engineering. Mit ihm können die Eigenschaften tief liegender geothermischer Reservoirgesteine gezielt beeinflusst werden. Ist die natürliche Durchlässigkeit des Gesteins gering, sodass der Wasserdurchsatz zu niedrig und die Fläche für einen effektiven Wärmeaustausch zu klein ist, werden mit speziellen Stimulationsmethoden künstliche Risse im Gestein erzeugt. Eine Methode ist die hydraulische Stimulation (Hydraulic Fracturing), ein in der Erdöl- und Erd-

gasindustrie gängiges Verfahren. In den 1940er-Jahren entwickelt und ständig weiter verbessert, wird es eingesetzt, um die Produktivität von Bohrungen gezielt zu erhöhen. Das Hydraulic Fracturing hat sich auch in der Erdwärmenutzung zu einem Schlüsselverfahren entwickelt, denn die wirtschaftliche Wandlung von Erdwärme in elektrischen Strom erfordert neben den bereits erwähnten Mindesttemperaturen vor allem die stabile Förderung großer Mengen von Thermalwasser.

Damit das funktioniert, muss der Gesteinskörper hoch porös und gut durchlässig sein, also einen hohen Anteil hydraulisch verbundener Poren besitzen (Hot Fractured Rock). Das gewährleistet eine gute Durchströmung und einen hohen Wasserzufluss zur Bohrung. Allerdings ist in Tiefen mit Tempe-



Abb. 6 Rollenmeißel, Geothermiebohrung Groß Schönebeck 4/05



Abb. 7 Rohreinbau zur Sicherung der Bohrung, Geothermiebohrung Groß Schönebeck 4/05

raturen um 150 °C die natürliche Permeabilität (Durchlässigkeit) der Gesteine meist gering. Sie müssen durch Stimulation künstlich aufgebrochen werden, um eine ungehinderte Wasserzirkulation zu erreichen. Neben der Erzeugung eines weitreichenden Rissystems wird der Anschluss an Wasserführende Klüfte hergestellt, die von Natur aus bereits vorhanden sind. Durch Stimulation werden die bereits erwähnten Enhanced Geothermal Systems geschaffen (Abb. 4).

Bei der hydraulischen Stimulation wird in kurzer Zeit unter hohem Druck ein Fluid, meist Wasser, über eine Bohrung verpresst. Der Druck des Fluids überschreitet die im Gebirge vorherrschenden Spannungen, erweitert vorhandene Risse im Gestein, verbindet sie und erzeugt neue Klüfte. Falls nötig, wird das

Stimulationsfluid zur Sicherung der Rissöffnung mit Stützmitteln versetzt, zum Beispiel mit Keramik-Kügelchen von etwa 1 mm Durchmesser. Diese lagern sich in den hydraulisch erzeugten Rissen im Gestein ein und halten sie offen, wenn der Druck nachlässt. Durch Stimulation entsteht ein weit verzweigtes Kluftsystem, das dem Thermalwasser neue Fließwege zur Förderbohrung schafft. Es funktioniert sodann als Transportweg und als untertägiger Wärmetauscher mit großer Kontaktfläche.

Forschungslabor Groß Schönebeck

Um neue technologische Ansätze in der praktischen Anwendung zu entwickeln und Problemen im Testbetrieb auf den Grund zu gehen, sind Demonstrationsanlagen unverzichtbar. Das Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) hat im Rahmen seines Forschungsprogrammes „Geothermische Technologien“ im brandenburgischen Groß Schönebeck ein sogenanntes In-situ-Geothermieforschungslabor eingerichtet. Das Labor ist weltweit die einzige Einrichtung zur Untersuchung der geothermischen Nutzung sedimentärer Großstrukturen unter natürlichen Bedingungen. Es ermöglicht hydraulische Experimente und Bohrlochmessungen, die Aufschluss über die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse in der Tiefe geben. Die Experimente liefern zudem wertvolle Hinweise auf das Verhalten des Reservoirgesteins bei der Anwendung moderner Erschließungsverfahren wie der hydraulischen Stimulation (Abb. 5).

Zwei über vier Kilometer tiefe Bohrungen erschließen geothermisch interessante Horizonte des Norddeutschen Beckens in Tiefen zwischen 3.900 und 4.300 Metern bei Temperaturverhältnissen um 150 °C. Sie dienen als natürliches Labor für die Durchführung vielseitiger Entwicklungs- und Testprogramme zur Untersuchung geowissenschaftlicher und bohrtechnischer Methoden. Seit 2001 werden hier erfolgreich Serien hydraulischer Experimente und Bohrlochmessungen mit dem Schwerpunkt der kontrollierten Produktivitätssteigerung geothermischer Lagerstätten durchgeführt.

Im Mittelpunkt stehen dabei langfristige Problemlösungen für die standort-unabhängige Nutzung geothermischer Ressourcen. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung technologischer Maßnahmen zur kontrollierten Stimulation verschiedener Gesteinsformationen, um Erdwärme überall dort nutzen zu können, wo sie gebraucht wird. Über die Entwicklung, Erprobung und Optimierung geothermiespezifischer Methoden und Verfahren soll langfristig mit innovativen Konzepten der Bauwirtschaftlich arbeitender Heizkraftwerke ermöglicht werden. Die Erkenntnisse zur Stimulierbarkeit werden jedoch nicht nur in der Geothermie, sondern generell bei Vorhaben benötigt, die Tiefenfluide fördern oder in denen zu speicherndes Material zusammen mit Fluiden in den Untergrund gebracht wird. So bilden die Ergebnisse auch verwertbare Ansätze für die CO₂-Speicherung.

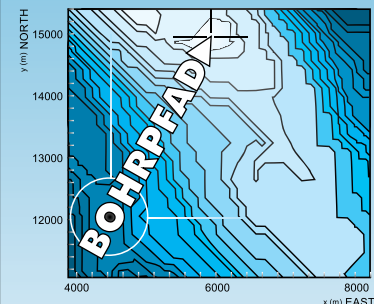
Neben Stimulationsverfahren wurden in Groß Schönebeck neue Methoden zum speicherschonenden Aufschluss geothermischer Lagerstätten und zum gerichteten Bohren im Speicherbereich angewandt. Geothermiebohrungen stellen eine besondere Herausforderung dar. Die angestrebte Nutzung eines geothermischen Reservoirs über zwanzig bis dreißig Jahre erfordert einen speicherschonenden Aufschluss und einen sicheren Bohrungsausbau. Dabei werden die Erfahrungen der Kohlenwasserstoffindustrie berücksichtigt, die Technologieführer im Bereich der Bohrtechnik ist. Die gewinnträchtige Erkundung und Erschließung von Erdöl- und Erdgasfeldern treibt entscheidend technische Innovationen voran (Abb. 6+7).

Die Erfahrung zeigt aber, dass die Geothermie die Methoden der Kohlenwasserstoffindustrie nicht unverändert übernehmen kann, denn geothermische Anwendungen haben ein anderes Anforderungsprofil. So müssen zum Beispiel neue Lösungen für eine geothermiespezifische Spülungs- und Komplettierungstechnik entwickelt und getestet werden. Unter Komplettierung verstehen Experten den fertigen Ausbau des Bohrlochs inklusive Verrohrung. Spezielle Zielsetzungen für die Geothermie sind eine minimale Schädigung

der Lagerstätte beim bohrtechnischen Aufschluss, der Anschluss maximaler Reservoirzuflussflächen und der langlebige Bohrlochausbau in stark korrosiver Umgebung. Das betrifft u. a. die Bereiche Spüloptimierung, Erhöhung der Bohrgeschwindigkeit und untertägige Messtechnik für den Einsatz von Richtbohrtechnik.

Ein schonender Speicheraufschluss beeinflusst die Ergiebigkeit geothermischer Lagerstätten positiv. Er minimiert hohe Kosten und Risiken bei der Lagerstättenerschließung und verbessert den Thermalwasserzufluss. Geothermische Lagerstätten können so gezielt für das langfristig angestrebte Nutzungskonzept über viele Jahre vorbereitet und die Thermalwasserproduktivität positiv verändert werden. In Anbetracht der stetig wachsenden Anzahl von Geothermieanlagen liegen ►

Wissen gibt Sicherheit!



Geothermische Reservoirmodelle:

- Charakterisierung des Reservoirs
- Belastbare Temperaturprognosen
- Langzeit-Produktionsverhalten

Wir liefern:

- Planungsgrundlagen
- Modellrechnungen



Beratungsgesellschaft mbH

www.geophysica.de

- ✉ Lütticher Str. 32
- 📍 D- 52064 Aachen
- ☎ +49-(0)241 1899 2916
- +49-(0)241 1899 2917
- 📠 +49-(0)241 1899 2913
- 📧 info@geophysica.de

Entwicklungen, Anwendungen, Perspektiven

hier erhebliche Kosteneinsparungspotenziale. Für Anwendergruppen wie Planungs- und Ingenieurbüros, aber auch hinsichtlich des wachsenden Investitionsinteresses sind die Ergebnisse für die Projektierung geothermischer Bohrungen und Dublettensysteme von Bedeutung.

Mit standortunabhängig anwendbaren Nutzungskonzepten soll langfristig eine breitere Nutzung geothermischer Ressourcen auch außerhalb geothermischer Anomalien, wie zum Beispiel vulkanische Gebiete, ermöglicht werden. Die Untersuchungsergebnisse am Referenzstandort Groß Schönebeck stellen damit die Voraussetzung für eine weiträumige Erschließung des Norddeutschen Beckens mit geothermischen Anlagen dar (Abb. 8+9).

Forschungsbedarf

Im Dezember 2006 erschütterte Basel ein Erdbeben der Stärke 3,4 auf der Richterskala. Das Ereignis lenkte die öffentliche Aufmerksamkeit auf die Tiefe Geothermie und ihre Risiken. Wichtig ist, diese Erfahrungen für zukünftige geothermische Projekte konstruktiv zu nutzen. Es gibt Standorte wie zum Beispiel das elsässische Soultz-sous-Forêts, an denen das „hydraulic fracturing“-Verfahren zum Einsatz kommt. Durch Injektionsbohrungen werden große Wassermengen in die Tiefe gepumpt. Die dabei entstehenden Risse ebnen den Weg für heiße Tiefenwässer, die für die Wärmegewinnung genutzt werden. Das Stimulationsverfahren macht eine Lagerstätte erst wirtschaftlich nutzbar, hat aber den Nebeneffekt, dass Mikrobeben auftreten können. Die sind bis zu einem gewissen Grad sogar gewollt, weil die Lokalisierung des Mikrobebens hilft, die Wirkung der Wasserinjektion in der Tiefe geometrisch abzubilden.

Der Untergrund ist also komplex und heterogen. Jeder potenzielle Projektstandort erfordert umfangreiche geologische Voruntersuchungen und ein auf den jeweiligen Standort abgestelltes Erschließungskonzept. Besonderes Augenmerk verdient das seismische Monitoring, auf dessen Basis eine seismische Gefahrenabschätzung vorgenommen und Szenarien zur Risikominimierung entwickelt werden können. Bereits diese



Quelle: beide Abbildungen: Deutsches Geoforschungszentrum GFZ

Abb. 8+9 Der nach der Stimulation durchgeführte Fördertest gibt Aufschluss über die Thermalwasserproduktivität und zeigt den Erfolg der Stimulationsmaßnahmen. (In-situ-Geothermielabor Groß Schönebeck, 2007)

Voruntersuchungen sollten über das Für und Wider eines Projektes entscheiden. In geothermisch begünstigten Gebieten wie dem Oberrheingraben ist das natürliche Risiko seismischer Aktivität generell höher einzustufen als z. B. im Norddeutschen Sedimentbecken, wo kaum seismische Aktivität zu erwarten ist.

Auf der Basis fundierter Ergebnisse kann und muss der Schritt in die Anwendung gemacht werden. Wissenschaftlich begleitete Demonstrationsprojekte, die nicht auf einen schnellen kommerziellen Erfolg zielen, sind dabei von besonderer Bedeutung. Mit Forschung und Entwicklung, Demonstrations- und Pilotanlagen wurden in den vergangenen Jahren in Deutschland die Grundlagen für viele erfolgreiche geothermische Projekte gelegt. Die Tiefe Geothermie steckt aber noch in den Kinderschuhen, die technologischen Herausforderungen sind groß und verlangen Zeit. Erfolge und Rückschläge sollten sinnvoll gebündelt, Daten und Erfahrungen ausgetauscht und ausgewertet werden. Problemlösungen und Best-Practice-Szenarien müssen auf dieser Basis entwickelt und zukünftigen Projekten zur Verfügung gestellt werden.

Die Bevölkerung ist in diesen Prozess einzubeziehen. Die großen Chancen der Geothermie, aber auch Probleme und Unsicherheiten müssen kommuniziert und verstanden werden. Eine erfolgreiche Entwicklung und breite An-

wendung der Geothermie ist nur mit der Akzeptanz und Unterstützung in der Bevölkerung möglich.

Ausblick

In Deutschland leistet die Geothermie heute einen noch geringen Beitrag zur Energieversorgung, ihre Nutzung hat jedoch in den letzten Jahren ein deutliches Wachstum erfahren. Erste Anlagen zur gekoppelten Wärme- und Stromerzeugung sind ans Netz gegangen. Sie demonstrieren, dass geothermische Ressourcen auch unter hiesigen geologischen Gegebenheiten ein energiewirtschaftlich interessantes Potenzial darstellen.

Unabhängig von dieser positiven Entwicklung zeigen die Erfahrungen realisierter Projekte und laufender Vorhaben großen Forschungs- und Entwicklungsbedarf auf. Das gilt besonders für die Stromerzeugung aus Geothermie. Sie erfordert in unseren Breiten die Erschließung geothermischer Ressourcen aus vier bis fünf Kilometern Tiefe. Diese ist beim aktuellen Technologiestand noch mit Risiken und hohen Anfangsinvestitionen verbunden und erfordert standortspezifische Problemlösungen. Um einer großtechnischen Nutzung den Weg zu ebnen, bedarf es technologisch und ökonomisch tragfähiger Konzepte und Strategien, die einen planungssicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetrieb gewährleisten. Nur so bieten sie eine solide Basis für Projektinvestitionen.

Der Forschungsstandort Groß Schönebeck wird mit diesem Ziel zu einem Forschungspark ausgebaut. Obertägige und untertägige Einzelkomponenten des Gesamtsystems sollen hier in Zusammenarbeit mit Entwicklern und Produzenten aus der Industrie betriebsnah analysiert und optimiert werden. Dazu gehören z. B. Spezialpumpen für geothermische Anwendungen, Rohrleitungen unterschiedlicher Materialbeschaffenheit, Filter, Wärmetauscher und Kühlsysteme. Die an Referenzstandorten wie Groß Schönebeck oder der europäischen HDR-Pilotanlage im elsässischen Soultz-sous-Forêts gewonnenen Forschungsergebnisse und Erfahrungen stellen weltweite Referenzen für die Erforschung und Entwicklung von EGS-Systemen dar. Verfahren, die hier zum Erfolg führen, können weltweit auf Standorte ähnlicher geologischer Gegebenheiten übertragen werden. Sie können dazu beitragen, den noch geringen Marktanteil der Geothermie an der weltweiten Energieversorgung zu stärken.

Das GFZ ist dabei, für Standorte mit einem erhöhten seismischen Risiko Instrumente zu entwickeln, die eine verlässliche Risikoabschätzung möglich machen. Dabei geht es um nichts Geringeres als die Standortentscheidung: Wenn eine Lagerstätte keine sichere Geothermienutzung zulässt, muss ein anderer Standort gefunden werden – da kann ihr Erdwärmepotenzial noch so vielversprechend sein. Die in der Entwicklung befindlichen sanften Stimulationsverfahren werden da weiterhelfen.

International herrscht eine große Aufbruchsstimmung. Indonesien z. B. gilt als das Land mit den größten geothermischen Ressourcen weltweit. Es gehört zwar zu den erdölexportierenden Ländern, hat aber wahrscheinlich den Peak Oil, also das Fördermaximum, schon erreicht. Man sucht dort händeringend nach neuen Energiequellen. Indonesien hat keine durchgehende Netzversorgung. Für Tausende von Stromversorgunginseln wären kleine

Anlagen bis fünf Megawatt die Lösung. Das GFZ hat gerade mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ein Projekt gestartet, damit diese Technik bald in großem Umfang nach Indonesien exportiert werden kann.

Danksagung

Für die Förderung wichtiger Teilprojekte danke ich dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (jetzt BMWA).

Autor:

Dr. rer. nat. Ernst Huenges
Internationales Geothermiezentrum
Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungszentrum GFZ
Telegrafenberg
14473 Potsdam
Tel.: 0331 288-1441
Fax: 0331 288-1450

E-Mail: huenges@gfz-potsdam.de
Internet: www.gfz-potsdam.de



Ihre Spezialisten in Sachen Füllbinder®

Walter Erben ☎ 0160 / 90 80 02 91
Dieter Schmidt ☎ 0171 / 3 02 52 33
Bernd Wilke ☎ 0170 / 3 33 21 66

Füllbinder® L • Füllbinder® L-hs • Füllbinder® M • Füllbinder® H • Füllbinder® H-hs • Füllbinder® S • Füllbinder® R • Füllbinder® EWM

SCHWENK Füllbinder® für Geothermie, Brunnenbau und Spezialtiefbau

Baumaßnahmen im Tief- und Spezialbau erfolgen meist unter schwierigsten Bedingungen. Planer und Ausführende müssen sich absolut auf die Qualität und Zuverlässigkeit der Baustoffe verlassen können. SCHWENK Füllbinder® erfüllen diese hohen Anforderungen und sind dabei besonders umweltverträglich.

SCHWENK Füllbinder® – Spezialbaustoffe für morgen.



Baustoffe fürs Leben

SCHWENK Zement KG

Hindenburggring 15 · 89077 Ulm
Telefon: (07 31) 93 41-1 81 · Telefax: (07 31) 93 41-3 96
Internet: www.schwenk-zement.de
E-Mail: schwenk-zement.vertrieb@schwenk.de