

Bohrerfahrungen bei Deutschlands größtem Geothermieprojekt

Projektentwicklung Tiefe Geothermie ■ Die Stadtwerke München verfolgen das ehrgeizige Ziel, dass München die erste deutsche Großstadt sein soll, in der alle Privathaushalte mit Ökostrom versorgt werden können, der in eigenen Anlagen produziert wird. Eine zentrale Rolle in der Strategie zur Erreichung dieses Ziels spielt, unter Nutzung lokaler Ressourcen, die Geothermie. In München-Riem betreiben die Stadtwerke seit 2004 ihre erste Geothermieanlage zur Wärmeerzeugung. Das erste Projekt mit dem Ziel der Stromerzeugung ist Sauerlach, seit Oktober 2007 wurde dort gebohrt. Drei Bohrungen für das geothermische Heizkraftwerk mit einer geplanten Leistung von ca. fünf MW und einer zusätzlichen Auskopplung von vier MW Wärme sind niedergebracht und die Pumpversuche erfolgreich abgeschlossen worden. Berichtet wird über die Erfahrungen bei der Abteufung der tiefsten Geothermiebohrungen in Deutschland.

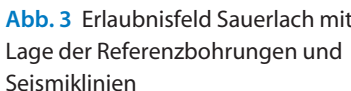
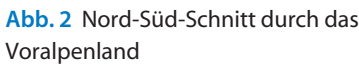


Abb. 1 Bohranlage Rig 23 auf der Lokation Sauerlach

Für den Ausbau der regenerativen Energieerzeugung für München nimmt unter den lokalen Ressourcen die Geothermie eine zentrale Rolle ein. Der Grundsatz einer jeden tiefen hydrothermalen Erdwärmenut-

zung ist die Errichtung eines Kreislaufs mit einer Produktionsbohrung (zur Entnahme des heißen Thermalwassers) und einer Injektionsbohrung (zur Rückführung des thermisch genutzten Wassers). Der Zielhorizont tiefegeother-

mischer-hydrothermalen Projekte im süddeutschen Molassebecken ist der obere Jura (Malm). Lithologisch handelt es sich beim Malm um ein Karbonatgestein, das sowohl kalzitisch als auch dolomitisch ausgeprägt sein kann. Die



form“, deren vertikale Mächtigkeit je nach geografischer Lage meist zwischen 500 und 600 Meter liegt, mit wenigen Grad ein und nimmt daher zum Alpenkörper hin immer tiefere Lagen an (**Abb. 2**). Mit der absoluten Tiefenlage nehmen

Durch die günstige Lage im zentralen Molassebecken (**Abb. 2**) hat München unter den deutschen Großstädten in

dieser Hinsicht ausgezeichnete Voraussetzungen. Die Stadtwerke München waren mit der Errichtung ihrer ersten Geothermianlage 2003 in München-Riem einer der Pioniere dieser Technologie [1]. Die Anlage in München-Riem läuft seit der Inbetriebnahme ohne relevante technische Probleme [2]. Daher haben sich die Stadtwerke München bereits 2004 nach einer fundierten Grundlagenermittlung für einen weiteren Ausbau der Geothermie entschieden. Sukzessive wurden die Aufsuchungserlaubnisse für das Stadtgebiet von München beantragt. Durch die Tiefenlage des Aquifers bedingt können dort jedoch nur Temperaturen von unter ca. 110 °C erwartet werden. Der Fokus in diesen Aufsuchungsfeldern liegt auf der Wärmegewinnung. Die Stromproduktion wird erst in weiter südlich von München gelegenen Lokationen mit höheren Temperaturen technisch interessant, etwa in Unterhaching, wo seit 2006 mit 122 °C warmem Thermalwasser das erste Kalina-Cycle-Kraftwerk Deutschlands Strom erzeugt [3]. Die SWM üben dort seit 2006 die technische Betriebsführung für das Geothermiekraftwerk und das Heizwerk im Auftrag der Geothermie Unterhaching GmbH aus.

Für das Projektgebiet Sauerlach wurden die Teufen des thermalwasserführenden Aquifers mit ca. 3.400 bis 3.800 Meter abgeschätzt. Entsprechend der Teufenlagen ergaben sich Temperaturprognosen von bis zu 130 °C. Daher haben die Stadtwerke München Ende 2005 die Aufsuchungserlaubnis Sauerlach von der Projektentwicklungsfirma Schmack Aufwind Neue Energien GmbH aus Regensburg übernommen – mit dem Ziel, das bislang größte deutsche Geothermievorhaben mit acht MW elektrischer Leistung und bis zu sieben MW thermischer Leistung für das Fernwärmenetz der Gemeinde Sauerlach zu errichten.

Planungsgrundlagen

Bis zum Beginn der Bohrarbeiten im Oktober 2007 galt es, die optimalen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung zu schaffen. Wichtige geologische, hydrogeologische und auch geothermische Informationen wurden hierfür aus projektnahen Bohrungen zusammengetragen. Von besonderer

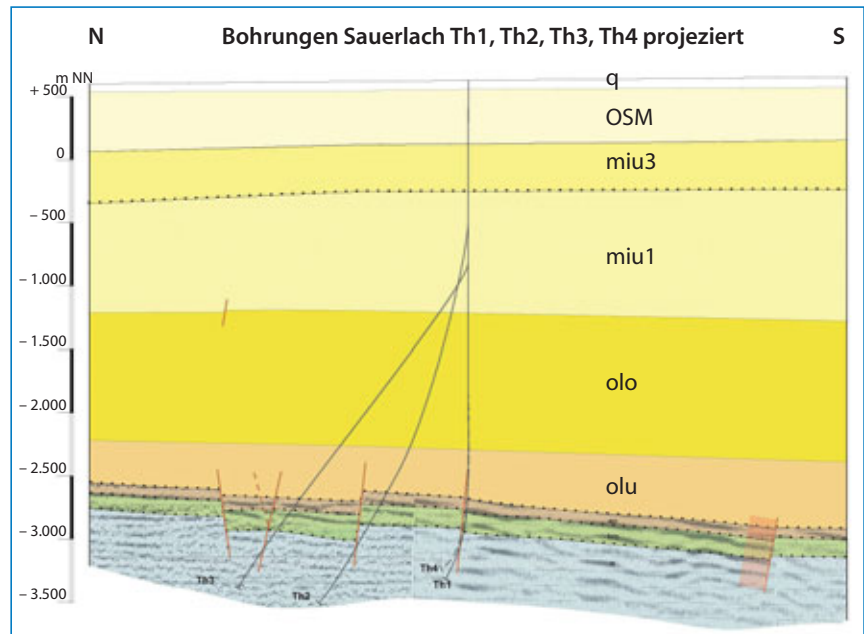


Abb. 4 Geologischer Schnitt (Nord-Süd) mit unterlegter Seismik



Abb. 5 Fundamentarbeiten am Bohrkeller mit gesetztem Standrohr

Bedeutung waren hierbei die nur wenige km in östlicher Richtung entfernten Kohlenwasserstoff-Explorationsbohrungen Hofolding 1-4 und die Bohrung Endlhausen 1 (**Abb. 3**). Zur Optimierung der Erschließungsplanung und zur weiteren Risikominimierung wurden seismische Daten verwendet. In Abhängigkeit der Lage und Ausrichtung wurden insgesamt 10 seismische 2D-Profile, die in den 70er- und 80er-Jahren im Rahmen von Kohlenwasserstoff-Explorationstätigkeiten aufgenommen wurden, ausgewählt und nach Freigabe durch die Eigentümerin EMPG (Exxon Mobil Production Germany) für das Vorhaben neu prozessiert. Mit dem Reprozessing und der geophysikalischen

Auswertung lagen ca. 51 km geologisch-strukturgeologische Informationen über den tiefen Untergrund bei Sauerlach vor. Lage und Orientierung der seismischen Profile im Erlaubnisfeld Sauerlach und die Referenzbohrungen zeigt **Abbildung 3**.

Auf Basis der seismischen Informationen konnten geologisch-strukturgeologische Modelle für das Projektgebiet entwickelt werden, auf deren Grundlage erste Bohrplanungen durchgeführt werden konnten. Die Erschließungsziele konzentrierten sich dabei v. a. auf übergeordnete strukturgeologische Elemente, die sich in Form von tektonischen Störungen in den Profilen abzeichnen; im Bereich

dieser Störungen wird generell eine bessere Gebirgsdurchlässigkeit, bedingt u. a. durch intensive Zerklüftung des Gesteins, erwartet. **Abbildung 4** zeigt einen geologischen Nord-Süd-Schnitt mit einer unterlegten Seismik für den Teufenbereich von tieferem Tertiär bis oberen Jura mit den geplanten Bohrungen in Projektion.

Geometrie der Doppeldublette und Standort Bohrplatz

Die Erschließung und Nutzung des Tiefenwassers sollte mittels geothermischer Doppeldublette erfolgen, d. h. mit je zwei Produktions- und Reinjektionsbohrungen. Auf Grundlage der seismisch-geologischen Erkenntnisse wurde zunächst eine Variantenstudie zu den Erschließungszielen und möglichen Bohrstandorten erarbeitet. Jede dieser Bohrungen wurde so als gerichtete Bohrung geplant, dass sie ein vielversprechendes strukturgeologisches Element anfährt. Um aber die Möglichkeit einer direkten gegenseitigen Beeinflussung der Bohrungen untereinander zu minimieren, wurde der Abstand zwischen den einzelnen Bohrungen möglichst groß gewählt. Aus dem geologischen Modell heraus ergaben sich verschiedene Lösungen für eine Erschließung des Thermalwasservorkommens mit zwei Förder- und Injektionsbohrungen. Eine Variante ging von zwei getrennten Dubletten von unterschiedlichen Bohrstandorten aus (ein Bohrplatz ca. zwei km südsüdwestlich von Sauerlach, ein Bohrplatz ca. 1,5 km nordöstlich von Sauerlach). Eine weitere Variante ergab eine annähernd symmetrische, X-förmige Variante von einem Sammelbohrplatz (ca. einen km nordöstlich von Sauerlach) aus, wobei der Bohrplatz im Knotenpunkt zum Liegen kam. Die Standortfrage Bohrplatz wurde letztendlich unter Berücksichtigung der infrastrukturellen Gegebenheiten, wirtschaftlichen Erwägungen und raumplanerischen Vorgaben zugunsten eines Sammelbohrplatz für max. vier Bohrungen in unmittelbarer Nähe zum bestehenden Biomasse-Heizkraftwerk in Sauerlach entschieden. Die projektierte Bohrgeometrie der Doppeldublette entsprach letztendlich der Form eines verzerrten, asymmetrischen X, mit z. T. kurzen, aber auch sehr langen lateralen Ablenkstrecken.

Bohr- und Komplettierungsschema

Nachdem Bohrplatz und Erschließungsziele festgelegt waren, erfolgte die Ausführungsplanung der Bohrungen. Für sämtliche Bohrungen wurde ein Standardbohr- und Komplettierungsschema mit vier Sektionen gewählt: Die Bohrdurchmesser wurden mit 23" – 16" – 12 1/4" – 8 1/2", die entsprechenden Komplettierungen mit 1 5/8" – 13 3/8" – 9 5/8" – 7" (Slotted Liner) festgelegt. Die zweite Rohrtour wurde als Tagestour, die dritte und vierte Rohrtour wurden als Linerrohrtouren geplant. Förder- und Reinjektionsbohrungen wurden grundsätzlich gleichartig vorgesehen, um erst nach der Ausführung und Inproduktionssetzung der Bohrungen die genaue Festlegung hinsichtlich Förder- oder Injektionsbohrung treffen zu können. Um vom Bohrplatz aus die Bohrziele optimal anzufahren, wurden für alle Bohrungen Bohrpfade mit z. T. mehreren Neigungsänderungen (built sections), auch zeitgleich zu azimutalen Änderungen, erarbeitet. Die Bohrpfade ließen sich dadurch als geknickte Bögen bzw. gekrümmte Linien im Raum beschreiben. Bei der Planung wurde darauf geachtet, möglichst geringe Neigungsaufbauraten zu generieren. Die räumliche Planung erfolgte unter Einsatz entsprechender 3D-GIS-Software.

Bohrplatzbau

Die Vorbereitungen des Bohrplatzes für die Bohrungen wurden Anfang Juli 2007 durch die Firma Beton- und Monierbau GmbH (Nordhorn) begonnen. Dazu wurde ein Areal von insgesamt ca. 12.500 m² hergerichtet. Der zentrale Bereich, in dem die Bohranlage aufgestellt wurde, umfasst eine Fläche von ca. 2.800 m². Hier befinden sich aufgereiht die vier Bohrkeller in Abständen von 7,5 und 10 Metern, die Bohranlagenfundamente sowie die Bohrkleingrube. Der äußere Bereich umfasst die Stellflächen für Container und Werkstatt sowie die Umfahrung und Zufahrt. Ferner wurden ein Rohrlager mit ca. 1.700 m², ein Areal für das Testequipment (für die Pump-tests) mit ca. 1.500 m² und eine Parkfläche eingerichtet. **Abbildung 5** zeigt die Fundamentarbeiten eines Bohrkellers mit gesetztem Standrohr. Der Bohrplatz wurde nach Fertigstellung an die ITAG Tiefbohr GmbH (Celle) zum Aufbau der Bohranlage übergeben. Die ►

EMDE



FLEXIBEL!

LEISTUNGSSTARK!

ANPASSUNGSFÄHIG!

► **AUFSCHLUSS-BOHREN**

► **ÜBERLAGERUNGS-BOHREN**

► **HDI-SYSTEME**

► **PFAHLBOHREN**

EMDE Industrie-Technik GmbH
Lahnstr. 32-34 ♦ D-56412 Nentershausen
Telefon +49 (0) 64 85-187 04-0
www.emde.de ♦ info@emde.de

Ideen zum Bohren

Standrohre ($\varnothing$ 820 mm) wurden bereits im Zuge des Bohrplatzbaus im Trockenbohrverfahren bis auf ca. 50 m eingebracht (Abb. 6).

Bohrarbeiten Sauerlach Th1a-Th2-Th3b

Für die Durchführung der Bohrarbeiten wurde nach einem EU-weiten Teilnahmewettbewerb und einem Verhandlungsverfahren die ITAG auf Basis eines Day-Rate-Vertrages als Generalunternehmer verpflichtet. Für das Abteufen der tiefen Geothermiebohrungen wurde die ITAG Rig 23 eingesetzt (Hakenregellast mit Top drive: 450 to, Leistung: 745 kW). Für einen wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Betrieb erfolgt der Betrieb der Bohranlage vollständig elektrisch. Nach einer Aufbauphase für Bohrturm und Equipment von ca. 14 Tagen konnten nach der bergbehördlichen Abnahme der Bohranlage durch das Bergamt Südbayern die Bohrarbeiten an der ersten Bohrung Sauerlach Th1 am 04.10.2007 aufgenommen werden. Von den ursprünglich vier geplanten Tiefbohrungen kamen – aufgrund der Ergebnisse – letztendlich drei Bohrungen zur Ausführung. Die Bohrungen Th1 und Th2 wurden gemäß Ausführungsplanung abgeteuft. Nach Durchführung einer neuen Seismikkampagne im Juni 2008, in deren Rahmen drei 2D-Profile aufgenommen wurden, wurde für die 3. Bohrung ein neues geologisches Ziel im Süden des Projektgebietes definiert, das sich aus strukturgeologischer Sicht als vielversprechend darstellte und bei dem man sich aufgrund der Teufenlage ein höheres Temperaturniveau versprach. Die **Abbildung 7** zeigt Lage und Verlauf der letztendlich abgebohrten Sauerlacher Geothermiebohrungen.

Während die Bohrungen Th1a und Th2 mit Teufen von 4.757 und 5.060 Metern MD nach Fertigstellung bereits den Status als tiefste Geothermiebohrungen in Deutschland verbuchen konnten, wurde die Rekordteufe aus Th2 mit der Bohrung Sauerlach Th3b noch einmal um weitere 507 Meter übertroffen (ET 5.567 m MD). Die horizontalen Ablenkstrecken in Th2 und Th3b erreichten dabei Strecken deutlich über zwei Kilometer. Um die definierten Bohrpfade einzuhalten, wurde die Richtbohrtech-

Abb. 6 Bohrung eines Standrohrs



Bohrung	Endteufe [m] (MD)	(TVD)	Horizontale Abweichung [m]	Bohr- end- $\varnothing$ [inch]	Projekt- tage bis Erreichen ET	Bemerkung
Th1a	4.757	4.179	1.213	8 1/2	160	Inkl. Sidetrack
Th2	5.060	4.181	2.309	8 1/2	112	Inkl. Vertiefung
Th3b	5.567	4.480	2.759	6 1/8	233	Inkl. 2 Sidetracks

Tabelle 1 Bohrungen

nik mit downhole motor und MWD der Fa. Baker Hughes Inteq (Celle) unter kontinuierlicher Kontrolle von Soll-Koordinate und Ist-Koordinate eingesetzt. Im Wechsel von Rotary- und Richtbohrstrecken wurden die Bohrungen schließlich zielgenau abgeteuft. Weite Ablenkstrecken und große Teufen in Kombination mit großen Bohrdurchmessern stellten für das Geothermievorhaben hohe Anforderungen an Personal, Technik und Equipment dar. Durch kontinuierliche Optimierungs-

prozesse konnten die Bohrungsziele jedoch erreicht werden. In den Bohrungen Th1 und Th3 mussten im Zuge der Bohrarbeiten abgebohrte Teilstrecken aufgrund von Stabilitätsproblemen der Bohrlochwand leider wieder aufgegeben werden, da die Befahrbarkeit des Bohrlochs in Teilstrecken nicht mehr gewährleistet war. Den erforderlichen Sidetracks wurden die Kürzel a und b beigelegt. In der Bohrung Th3b bedingte die Teilaufgabe des Bohrlochs und der Einbau einer Zwischenrohrtour die Reduzierung

des Erschließungsdurchmessers von 8 1/2“ auf 6 1/8“. Eine Zusammenstellung der Basisdaten zu den Bohrungen Th1a, Th2 und Th3b ist **Tabelle 1** zu entnehmen.

Nach einer Gesamtzeit von 691 Tagen wurde die Bohranlage am 24.08.2009 nach Durchführung sämtlicher Bohr- und Workovertätigkeiten sowie Kurztztests zum Abbau freigegeben.

Geologie

Die geologischen Gegebenheiten entsprachen überwiegend den Erwartungen. Das geologische Profil (hier am Beispiel der Bohrung Sauerlach Th2) ist in der **Tabelle 2** dargestellt. Die tertiäre Abfolge zeigt eine Mächtigkeit von ca. 3.390 Metern, während die Kreide mit ca. 180 Metern erfasst wurde. Die tertiären Sedimente lassen sich vorwiegend als ausgeprägte Wechsellagerung von Tonmergelstein und Kalksandstein beschreiben. Die Kreideablagerungen dagegen zeigen eine differenziertere Abfolge aus Kalkstein, Kalkmergel und

Sandstein (Unterkreide) und Kalkmergel, Kalkstein und Tonmergel (Oberkreide). Die Kalksteine und Dolomite des Mals wurden auf einer Mächtigkeit von insgesamt ca. 620 Metern aufgeschlossen (**Tab. 2**).

Geologisch bedingte Schwierigkeiten beim Abteufen der Bohrungen wurden im Tertiär durch die ausgeprägte Wechsellagerung verursacht. Durch Optimierung von Spülung, Bohrmeißel und Bohrgarnitur konnte den Problemen jedoch erfolgreich begegnet werden. Schwerwiegendere geologische Probleme verursachte die Formation des Rupel-Bändermergels (Unteroligozän), der im Liegenden vornehmlich tonreich ausgeprägt ist. Vermutlich durch lokale Hochdruckzonen bedingt, kam es hier zum Aufbrechen des Gebirges und schließlich zu verstärktem Nachfall und damit zu nachhaltigen Bohrlochinstabilitäten. Diese sind auch in Verbindung mit erhöhtem gesteinsinternen Fluidruck, verursacht durch erdölgenetische Prozesse, zu sehen. Der

sehr starke Nachfall führte in den Bohrungen Th1a und Th3b dazu, dass Teilbereiche wieder aufgegeben und Sidetracks angesetzt werden mussten. Die verlorenen Teilstrecken wurden rückzementiert.

Bohrwerkzeuge

Die Auswahl der Meißel erfolgte entsprechend prognostizierter Geologie, gewonnenen Erfahrungen aus dem Molassebecken sowie auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. In den Top-hole-Sektionen (23“) wurden daher ausschließlich Zahnmeißel eingesetzt. In den nachfolgenden Sektionen zwei (16“) und drei (12 1/4“) wurde bevorzugt mit PDC-Meißel gebohrt. Lithologische und bohrtechnische Gegebenheiten ließen jedoch einen kontinuierlichen PDC-Einsatz nicht zu. So musste z. B. in den Neigungsaufbauabschnitten vorwiegend auf Rollenwerkzeuge gewechselt werden, um den geplanten Richtbohrpfad einzuhalten. Ferner erwiesen sich in Sauerlach Th1 einige Kalksandsteinschichten und geringmächtige Sandsteinbänke ►

Ihr Erfolg – Unsere Bohrtechnik!

ROTOMAX XL GTC i

für Brunnenbau und Geothermie

Leistung	152 kW
Doppelkopf und Container	
Container-Inhalt	54 m, ø 178
	+ 162 m, ø 95

Das kraftvolle Vertikal-Bohrgerät,
das neue Maßstäbe setzt.
Überzeugen Sie sich selbst!

bauma 2010 Freigelände F 5
Stand-Nr.: N 507 / 4

lieferbar ab April 2010



Born to drill

GEOTEC

Geotec Bohrtechnik GmbH 02596 9700-0
Aspastraße 26 contact@geotec-bohrtechnik.de
59394 Nordkirchen www.geotec-bohrtechnik.de

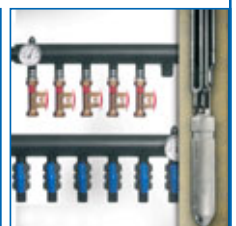


Ihr Partner für den Brunnenbau

STÜWA
BRUNNENFILTER
BOHRBEDARF



MODERNSTE
AUSBAUTECHNIK
SEIT ÜBER
125 JAHREN



Wir stellen aus:
BAUMA 2010
in München
Freigelände F5
Stand N 507/4



STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH
Hemmersweg 80 • D-33397 Rietberg (Varensell)
Tel.: 05244 / 407-0 • Fax: 05244 / 1670
Internet: www.stuewa.de
E-Mail: info@stuewa.de

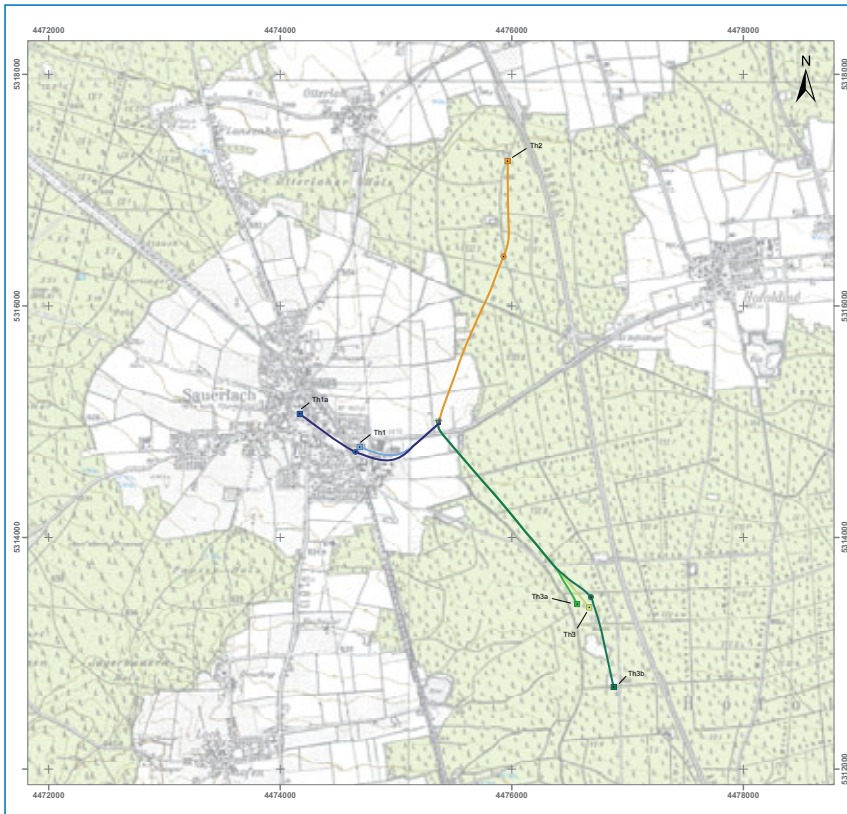


Abb. 7 Lage und Verlauf der Bohrungen Sauerlach

Teufe [bis m u. GOK]	Lithologie und Stratigraphie
45	Quartär
212	Mittelmiozän
1.831 472 526 810	Untermiozän Karpát Oberes Ottnang Mittleres und Unteres Ottnang
869 1.831	Eggenburg Oberes Eger – Aquitán
2.927 2.927	Oberoligozán Unteres Eger – Chatt
3.339 3.316 3.339	Unteroligozán Kiscell Latdorf
3.387 3.387	Eozán Priabon
3.565 3.475 3.565	Kreide Oberkreide Unterkreide
4.181 4.181	Jura Malm: Karbonate, Dolomit

Tabelle 2 Geologisches Profil Th2



Abb. 8 Verschlissene PDC-Meißel, links im Neuzustand

in der Kreide als derartig abrasiv, dass die eingesetzten PDC-Meißel innerhalb weniger Bohrmeter verschlissen waren und getauscht werden mussten (Abb. 8). Oftmals war dabei der finanzielle Aufwand für den Roundtrip deutlich höher als für einen neuen Meißel. Für die nachfolgenden Bohrungen wurden daher gem. „lessons-learned“ für diese Formationen optimierte Meißel eingesetzt (z. B. mit Kaliberschutzhülse und Back-up-Cutter) bzw. vorsorglich auf Rollenwerkzeuge gewechselt. In der 4. Sektion (Malm) wurden fast ausschließlich PDC-Meißel eingesetzt. Insgesamt war der Meißelaufwand in den Sauerlach-Bohrungen deutlich höher als geplant. Dieses betrifft insbesondere die Top-hole-Sektion und den Teufenbereich des tiefen Tertiärs und der Kreide.

Spülung

Die Top-hole-Sektionen wurden aus Kostengründen mit einer Bentonit Spülung gebohrt. Für die zweite Sektion wurde diese Ton-Wasser-Spülung zu einer Pottaschespülung modifiziert, die auch in der dritten Sektion verwendet wurde. In der Bohrung Th3b wurde vorsorglich zur verbesserten Inhibierung die Pottaschespülung zu einer Ultradillspülung umgestellt, um der festgestellten Nachfallproblematik im Rupel entgegenzuwirken. Nach Erreichen des Thermalwasseraquifers wurde die Pottasche- bzw. Ultradillspülung für den folgenden Bohrabchnitt gegen eine sehr leichte trägerschonende Polymer-Wasser-Spülung ausgetauscht, um hier eine nachhaltige Schädigung des Aquifers durch Spülungskomponenten aus-

zuschließen. Die ausgescherte Pottaschespülung wurde aus Umwelttechnischen- und Kostengründen jeweils für die nachfolgende Bohrung zwischengelagert. Spülungsservice und Feststoffkontrolle oblagen der M-I SWACO Deutschland GmbH (Celle).

Bohrlochmessungen

Nach Erreichen der jeweiligen Absatzteufen erfolgten geophysikalische Bohrlochmessungen durch den Wireline-Service (Schlumberger, Vechta). Die Standardmessungen Gamma-Aktivität, Kaliber, Widerstand, Temperatur und Eigenpotenzial wurden v. a. in den oberen drei Sektionen gefahren. Diese Messungen dienten insbesondere geologischen sowie weiterführenden bohrtechnischen Fragestellungen für Rohr-

einbau und Zementation. Zur Kontrolle der Ringraumzementationen wurden ferner akustische Zementgüte- und Zementbondmessungen durchgeführt. Zur Untersuchung des Thermalwasseraquifers erfolgten ergänzend Mikrowiderstandsmessungen, deren Ergebnisse für die struktureologischen und hydrogeologischen Charakterisierungen des Trägers erforderlich sind.

Zementationen

Nach Einbau der Casings (Abb. 9) wurden die Ringräume – abhängig von der Sektion – im Stinger-Stopfen- bzw. Linerzementationsverfahren zementiert. Die Auswahl von Zementen und Zusätzen erfolgte entsprechend der Temperaturverhältnisse, Lithologien und Bohrlochbedingungen sowie unter wirtschaftlichen Aspekten: Für die Zementationen der ersten Sektionen (18 5/8“) stellten sich Portlandzement und Hochofenzement als optimal heraus, für die übrigen Sektionen empfahlen sich sowohl Hochofenzement und Class G Thermal A Zement. Ferner wurden besondere Leichtzemente, die durch ihre geringe Temperaturleitfähigkeit den Temperaturverlust bei der Förderung reduzieren, in sensiblen Abschnitten eingesetzt. Je nach Abschnitt und Teufe wurden Leadzemente mit Dichten von 1,35 bis 1,6, Tailzemente bis zu 1,9 kg/l verwendet.

Bei einigen Sektionen zeigten nachfolgende Zementgüte- und -Bond-Messungen in Teilbereichen jedoch keine optimale Bindung von Rohr und Zement oder aber keine vollständige Aushärtung der Zementsuspensionen. Ursächlich wurde hier oftmals eine nicht vollständige Verdrängung von Spülung bei z. B. Exzentrierungen des Casings oder größeren Auskesselungen (i. d. R. lithologisch bedingt) im Bohrloch gesehen. Bei Geothermiebohrungen sind eine gute Anbindung von Casing und Zement und Zementaus-



Abb. 9 Verschrauben der 13 3/8“-Casing-Rohre

härtung grundsätzlich besonders wichtig, insofern bei der Förderung von heißem Thermalwasser temperaturbedingte Elongationen der Casings und die Bildung von schädigenden Überdrücken durch hinter den Rohren verbliebene flüssigen Phasen verhindert werden müssen. Schwerwiegende Folgen einer unvollkommenen Zementation zeigten sich in der dritten Sektion in der Bohrung Th1a: Im oberen Ab-

schnitt entstand nach der Zementierung eine Zone mit nicht ausgehärtetem Zement bzw. mit einer Mischzone aus Zement und Spülung. Diese flüssige Phase erzeugte während eines nachfolgenden Pumptestes einen hohen Druckaufbau, der in Verbindung mit der Längendehnung des freien Rohrkörpers bei verankertem Linerkopf einen Rohrkollaps zur Folge hatte. Im Zuge von Workover-Maßnahmen konnte der ►



Sole für Erdwärmesysteme

umweltverträglich – leicht biologisch abbaubar

- Basis Ethylenglykol / - Basis Propylenglykol und glykolfreie Spezialsole
Lieferform: Konzentrat oder gebrauchsfertiges Gemisch

TYFOROP CHEMIE GmbH / Anton-Rée-Weg 7 / 20537 Hamburg / Tel. 040 20 94 97 - 0 / Fax - 20 / E-Mail: info@tyfo.de / www.tyfo.de



Abb. 10 Säuerungsstrang (3 1/2") mit Säureangriff

Rohrkollaps unter Einsatz von Spezial-Fräswerkzeugen entfernt und mittels „Patch“ für einen ungestörten Betrieb wieder gesichert werden.

Stimulationen

Nach Erreichen der Endteufen wurde der Thermalwasserträger vor Beginn der Pumptestes mit Säure stimuliert. Das Einbringen der Säure sollte v. a. dazu beitragen, das noch im Bohrloch und in den natürlichen und bohrungsinduzierten Klüftungen befindliche karbonatische Bohrklein zu zersetzen. Für jede durchgeführte Stimulation wurde dazu ein Volumen von bis zu 100 m³ 15-20%ige Salzsäure über einen Bohr- und Säuerungsstrang mit ca. 1.000 l/min in das Bohrloch eingebracht. Je nach Erfordernis wurden pro Bohrung mehrere Stimulationen im Wechsel zu den Pumptestes durchgeführt. Trotz Zugabe eines Inhibitors und zügig durchgeführten Nachpumparbeiten konnten Säurekorrosionen am Gestänge nicht verhindert werden. **Abbildung 10** zeigt einen 3.1/2" Strang nach einer abgelaufenen Säuerung, bei der der Strang über einen längeren Zeitraum mit Säure in Kontakt stand. Bei dieser Säuerung wurde auch ein Teil des Strangs im Bohrloch verloren.

Kurzzeittests

Zum Nachweis der Fündigkeit wurden im Rahmen der Inproduktionssetzungsmaßnahmen zunächst Kurzzeittests durchgeführt. Für die Tests standen dem Projekt zwei Tauchkreislumpen der Firma Baker Hughes Centrilift mit unterschiedlichen Leistungsbereichen

zur Verfügung. Nach der initialen Stimulation wurden die Bohrungen zunächst freigefördert. Im Rahmen von anschließenden Kurzzeit-Leistungstests wurden die Bohrungen jeweils mehrere Tage hinsichtlich Fündigkeit und Leistungspotenzial getestet. Das mit bis zu 140 °C geförderte Thermalwasser musste dabei in aufwendigen Kühlketten (Luftkühlung) auf 35 °C heruntergekühlt werden, damit eine Entsorgung der anfallenden Wässer über die öffentliche Kanalisation gewährleistet werden konnte. Dazu wurden acht Nasskühltürme der Firma Axima mit einer Gesamt-Kühlleistung von insgesamt 40 MW bereitgestellt. Die Reinjektion der zutage geförderten Wässer in eine bestehende Bohrung wurde nach dem „Klarpumpen“ der Bohrung durchgeführt. Für die Tests waren mit dem gecharterten Testequipment Fördermengen von bis zu 80 l/s technisch darstellbar. Auf Basis erster hydraulischer Auswertungen wurden potenzielle Fördermengen von 60 l/s (Th3b), 80 l/s (Th2) und 120 l/s (Th1a) für die Bohrungen prognostiziert.

Langzeitpump- und -Injektionstest

Auf Grundlage der Kurzzeittests wurde die Th1a als Förderbohrung und die Th2 und Th3b als Injektionsbohrungen festgelegt. Im Langzeitpump- und Reinjektionsversuch sollte dieses Nutzungsregime der Triplette ca. fünf bis sechs Wochen getestet und analysiert werden. Über ein Regelorgan konnten die Verpressbohrungen auch einzeln getestet werden. Im Langzeitpump- und Reinjektionsversuch sollten be-

triebsähnliche Zustände in einem geschlossenen Kreislauf über mehrere Wochen simuliert werden. Die dabei erhaltenen belastbaren hydraulischen Leistungswerte bilden die Datenbasis für die Auslegung der später einzubauenden Tauchkreislumpen, des Geothermiekraftwerks sowie der Erstellung des Wärmebergbaugutachtens.

Am 27.10.2009 startete der Langzeitpump- und Reinjektionsversuch mit der Brunnenservice GmbH (Radstadt, Österreich) als Generalunternehmer. Zuvor wurde die Pumpe in der Th1a auf eine Teufe von 800 Meter abgehängt. Das geförderte ca. 140 °C heiße Thermalwasser wurde über einen Plattenwärmetauscher mit 30 MW Wärmeleistung und sechs Nasskühltürmen mit einer Kühlleistung von 45 MW abgekühlt, bevor es in die Th2 und Th3b verpresst wurde. Die Versuche wurden jeweils bis zur Einstellung stationärer Druckzustände fortgeführt. Es wurden mehrere Stufen zu 5 l/s von 60 l/s bis zur Leistungsgrenze der Pumpenkonfiguration bei 105 l/s gefahren. Zudem erfolgten regelmäßig Thermalwasseranalysen. Im Anschluss an diese Versuchsreihe wurde ein Rückspül-Trommelfilter mit einer Maschenweite von 50 µm in das System integriert, um die grundsätzliche Eignung des Systems für den Betrieb zu testen sowie eine mögliche Grobfracht im Thermalwasser abscheiden und analysieren zu können. Zusätzlich wurden verschiedene Dichtungsmaterialien sowie Stahlsorten in einem Expositionstest auf die Verträglichkeit mit dem Thermalwasser bzgl. Korrosion und Scaling getestet.

Am 10.12.2009 wurde der Langzeitpump- und Reinjektionsversuch erfolgreich abgeschlossen. Es konnten Temperaturen an der Tauchkreislumpen bis zu ca. 140 °C gemessen werden. Der Kopfdruck und die maximalen Injektionsdrücke lagen unter 10 bar. Die Prognose für die Förderung aus der Th1a mit 120 l/s konnte nach vorläufiger Auswertung bestätigt werden. Die vollständige Ausarbeitung der Versuchsdaten sowie die Analysen der Grobfracht im Thermalwasser und die Untersuchungen zur Verträglichkeit der Dichtungsmaterialien und Stahlsorten sind noch in Arbeit.

Kraftwerksplanung und Ausblick

Das ursprüngliche Ziel eines Kraftwerks mit acht MW elektrischer Leistung kann mit den vorliegenden Thermalwasserbedingungen nicht mehr erreicht werden. Momentan gehen die Planungen von einem fünf MW-Kraftwerk aus, aus dem nach einem bereits abgeschlossenen Liefervertrag zusätzlich vier MW thermische Leistung für das Fernwärmenetz der Zukunftsenergie Sauerlach GmbH geliefert werden. Die Ausschreibung für das Kraftwerk erfolgt auf der Basis der Daten nach den Kurzzeitpumpversuchen. Nach Abschluss der Langzeitpumpversuche wurden aktualisierte Werte für Thermalwasserschüttung, -temperatur und -zusammensetzung an die Bieter gesandt. Die Ausschreibung erfolgt systemoffen (ORC- oder Kalina-Prozess) an einen Generalunternehmer, der das Kraftwerk und den Thermalwasserkreislauf (ausgenommen Boh-

rungen und Tauchkreislaspumpe) schlüsselfertig liefern soll. Es wird mit einer Vergabe im Frühjahr 2010 gerechnet, was eine Inbetriebnahme des Geothermiekraftwerks Ende 2011 ermöglichen würde. In der Anlage sollen dann jährlich 40.000 MWh Strom (entsprechend dem Bedarf von 16.000 Münchner Haushalten) und 4.000 MWh Wärme erzeugt werden, was einer CO₂-Einsparung von 40.000 to/a entspricht.

Den momentanen Arbeitsschwerpunkt im Projekt Sauerlach bildet neben der Planung des Kraftwerks und des Thermalwasserkreislaufs die Aufarbeitung der gesammelten Daten und Erfahrungen sowohl in geologischer und bohrtechnischer Hinsicht als auch was die überraschend niedrigen Schüttungen der Bohrungen Th2 und Th3b, und nicht zuletzt organisatorische Aspekte betrifft. Die nächsten Geothermieprojekte der

Stadtwerke München werden der Wärmeeinspeisung in die Münchner Fernwärmenetze dienen. Für weitere geothermische Stromprojekte – vorrangig mit kombinierter Wärmelieferung – laufen die geologischen Erkundungen in den Erlaubnisfeldern Dingharting und Dießen.

Literatur

- [1] Schubert A.: Geothermische Dublette Riem für die kommunale Fernwärmeversorgung der Stadtwerke München; GtV Tagungsband, 2004
 [2] Barenth F., Frank N., Pletl Ch.: Geothermieanlage München-Riem: 5 Jahre erfolgreicher Betrieb; Geothermiekongress 2009, Bochum, 19.11.2009
 [3] Müller-Ruhe W.: Komplettierung der Dublettenbohrung für das Geothermieprojekt Unterhaching; bbr (5) 2007, S. 24-30

Abbildungen: Abb. 1+2: Stadtwerke München GmbH, Abb. 3-10: Erdwerk GmbH

Autoren:

Dr.-Ing. Christian Pletl
 Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Julia Angerer
 Dipl.-Ing. Robert Graf
 SWM Services GmbH
 Emmy-Noether-Str. 2
 80797 München
 Tel.: 089 2361-2481
 Fax: 089 2361-702481

E-Mail: pletl.christian@swm.de
 Internet: www.swm.de

Dipl.-Geol. René Stoyke

ERDWERK GmbH
 Bonner Platz 1
 80803 München
 Tel.: 089 961600-300
 Fax: 089 961600-369

E-Mail: stoyke@erdwerk.com
 Internet: www.erdwerk.com

Dipl.-Ing. Herbert Toll

ITAG Tiefbohr GmbH
 Itagstr. 5-17
 29221 Celle
 Tel.: 05141 914-203
 Fax: 05141 914-234

E-Mail: herbert.toll@itag-ce.de
 Internet: www.itag-celle.de



Weltneuheit!
 Hydraulische Bohrlochverpressung
GeoPump-HY



stockbig
 MADE IN GERMANY
 Bültbek 32-34 • D-22962 Siek / Hamburg
 Tel. + 49 4107 - 901 0 • bauma@stockbig.de
 www.stockbig.de

bauma 2010
 Halle B2
 Stand 115

HDG
 UMWELTECHNIK
 GmbH
 Systempartner für Bohr- und Installationsunternehmen

- Erdwärmesonden
- UV-Soleverteiler/Schächte
- Kalzium-Natrium Bentonite
- Verpressmaterialien
- Bohrspülungszusätze
- Brunnenrohre-Zubehör

HDG UMWELTECHNIK GmbH
 Stolzenseeweg 1, D-88353 Kisslegg
 Telefon +49 (0) 7563 - 91 24 78 - 0
 Telefax +49 (0) 7563 - 91 24 78 - 20
 www.hdg-gmbh.com

ERDWÄRMESONDEN

- Sonden DN 32 (PE 100 SDR 11 PN 16) mit 2 Kreisläufen und 4 Sonderrohren fertig verschweißt
- Das Verschweißen der Muffen mit Rohren und Sondenkopf wird werkseitig druckgeprüft und protokolliert
- Zusätzlich werden die Sonden fremdüberwacht und geprüft

50 m /	Euro 242,-
60 m /	Euro 265,-
70 m /	Euro 288,-
80 m /	Euro 311,-
90 m /	Euro 334,-
100 m /	Euro 357,-
110 m /	Euro 380,-
120 m /	Euro 403,-
130 m /	Euro 426,-
140 m /	Euro 449,-
Y-Stück 32/32/40	Euro 11,-
Y-Stück 40/40/50	Euro 13,-

Alle Preise ab Werk, zzgl. MwSt.

Tel.: 07024/929242
 Fax: 07024/929244
 Neuffenstraße 78
 D 73240 Wendlingen

COLSHORN
 Brunnenbaubehör und Gußerzeugnisse