

## Geothermische Dubletten München Riem und Pullach i. Isartal im Vergleich: Geologische und bohrtechnische Konzepte zur Minimierung des geologischen Risikos im Malmtiefergrundwasserleiter.

A. Schubert; R. Höferle; F. Böhm

### Geothermische Dublettenbohrungen Raum München 2003 bis 2005

Im Jahre 2003 wurde die geothermische Dublette München Riem für die Stadtwerke München GmbH am östlichen Rand des Messegeländes München Riem erfolgreich fertiggestellt. Im Winter/ Fröhjahr 2004 folgte die erfolgreiche Bohrung Unterhaching GT 1 der Gemeinde Unterhaching. Nach der von der Gemeinde Pullach i. Isartal im Sommer 2004 getroffenen Entscheidung zugunsten des Geothermieprojektes Pullach wurde schliesslich im Sommer 2005 die geothermische Dublette Pullach erfolgreich niedergebracht (Abb. 1).

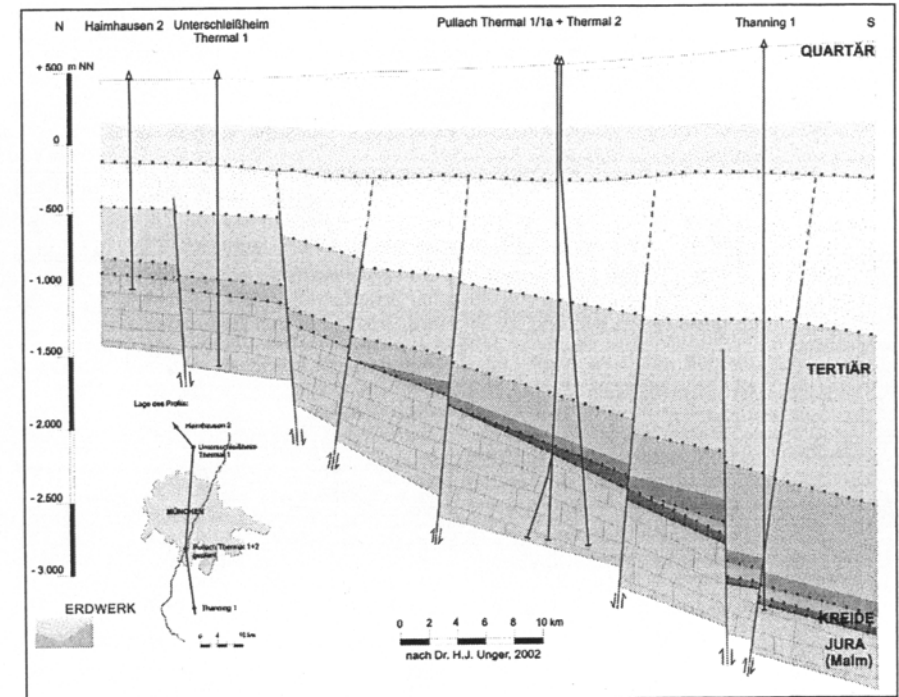


Abb. 1: geologischer NS-Schnitt durch München

### Vorplanung der Geothermische Dublette Riem und Pullach i. Isartal

Die Geothermieprojekte Messestadt Riem und Pullach i. Isartal durchliefen in der Vor- und Ausführungsplanung vergleichbare Projektabschnitte mit Machbarkeitsstudien, Reprozessing bestehender 2-D-Seismik der Kohlenwasserstoffindustrie und einer abschliessenden Risikobewertung, welche die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie nach der Detailauswertung der Seismik überprüfte.

Auf Grundlage der geologischen und bohrtechnischen Detailplanung wurde nach einem EU-weiten Qualifikations- und Ausschreibungsverfahren sowie intensiven Bieterverhandlungen jeweils ein Day-Rate Bohrvertrag (Zeit-Charter Vertrag) mit Generalunternehmerverantwortung der Bohrfirma abgeschlossen. Wesentliche Entscheidungskriterien waren - neben der Wirtschaftlichkeit - die langjährige Erfahrung der Bohrfirmen mit Tiefbohrungen in der Nordalpinen Molassezone und die Auswahl und Qualität der Subunternehmer bzw. Servicefirmen. Beide Auftraggeber (Stadtwerke München GmbH und die Innovative Energie für Pullach GmbH) waren ferner bereit, die in der Tiefbohrbranche übliche Risikoverantwortung hinsichtlich geologischer und bohrtechnischer Schwierigkeiten in vollem Umfang zu akzeptieren. Beide Projekte wurden weder gegen ein bohrtechnisches noch ein Fündigkeitsrisiko versichert.

Der mittels Wirtschaftlichkeitsstudien ermittelte Mindestbedarf für das bestehende Fernwärmenetz der Messestadt Riem und das geplante Fernwärmenetz in Pullach lag jeweils bei einer Leistung von ca. 6 MW thermisch, wobei die Grundlast durch geothermisch gewonnene Wärmeenergie abgedeckt werden sollte. Eine geothermische Stromerzeugung stand aufgrund der zu erwartenden Temperaturen (limitierend für Riem) und Fördermengen (limitierend für Pullach) für beide Projekte nicht zur Diskussion und erlaubte damit für die Bedarfsabdeckung eine Auslegung des Bohr-Enddurchmessers von 6.1/8 Zoll (156 mm).

Aus versorgungs- und grundstückstechnischen Gründen wurden die Dubletten mit abgelenkten Bohrungen von einem Sammelbohrplatz aus konzipiert, setzten damit aber auch den konsequenten Einsatz von Richtbohrtechnik voraus.

#### Zeitlicher Ablauf

Der zeitliche Ablauf der Projekte musste aufgrund der verhältnismäßig hohen Investitionskosten für die Bohrungen und die vertragliche Regelung der Bohrleistungen auf Zeit-Charter Basis so straff als möglich gestaltet werden und ist für beide Projekte in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

Tab. 1: Zeitplan Geothermieprojekt München Riem

|            |                                                               |
|------------|---------------------------------------------------------------|
| 18.03.2003 | Vergabe der Bohrleistung an einen Generalunternehmer (RAG AG) |
| 18.06.2003 | Bohrbeginn Riem Thermal 1                                     |
| 28.07.2003 | Beendigung der Bohr- und Testarbeiten , Endteufe 3.275 m (MD) |
| 20.08.2003 | Bohrbeginn Riem Thermal 2                                     |
| 13.10.2003 | Erreichen Endteufe 3.225 m (MD)                               |
| 05.11.2003 | Beendigung aller Testarbeiten und Abzug der Bohranlage        |

Tab. 2: Zeitplan Geothermieprojekt Pullach i. Isartal

|            |                                                                                    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 06.09.2004 | Beginn des Bohrplatzbaus (Fa. Bernegger Ges.mbH)                                   |
| 10.09.2004 | Vergabe der Bohrleistung an einen Generalunternehmer (ITAG Tiefbohr GmbH & Co. KG) |
| Ende 2004  | Beginn Fernwärmenetzplanung                                                        |
| 05.12.2004 | Bohrbeginn Pullach Thermal 1                                                       |
| 16.02.2005 | Beendigung der Bohr- und Testarbeiten Pullach Thermal 1, Endteufe 3.300 m (MD)     |
| 21.02.2005 | Bohrbeginn Pullach Thermal 2                                                       |
| 14.05.2005 | Fertigstellung der Bohrung Pullach Thermal 2, Endteufe 4.120 m (MD)                |
| 02.06.2005 | Vertiefen der Bohrung Pullach Thermal 1 auf 3.550 m (MD)                           |
| 23.06.2005 | Sidetrack der Bohrung Pullach Th 1a ab 2.814 m (MD)                                |
| 06.07.2005 | Fertigstellung des Sidetracks Pullach Th 1a, Endteufe 3.930 m (MD)                 |

Insgesamt wurden im Bohrprojekt Pullach 9.166 Bohrmeter im Zeitraum von Dezember 2004 bis Juli 2005 inklusive der Sidetrack Bohrung abgeteuft. Im Geothermieprojekt Riem wurden im Zeitraum Juli 2003 bis Oktober 2003 insgesamt 6.500 m Bohrmeter gebohrt.

#### Erschliessung des Malmtiefegrundwasserleiters in den beiden Geothermieprojekten

Entgegen der Erwartungen wurden in der Bohrung Riem Th 1 in den Top Bereichen des Malm keine signifikanten Spülungsverluste registriert, was auf eine stärker entwickelte Verkarstung der Schichtenfolge hingewiesen hätte. Erst im tiefen Malm zeta (bei 3.100 m MD) setzten leichte Spülungsverluste von ca. 1 cbm/h ein. An der Basis des Malm zeta stiegen die Verluste dann bis auf 8 cbm/h an, nahmen dann aber auf den letzten 100 m bis Erreichen Endteufe bei 3.275 m wieder deutlich ab. Aufgrund der petrographischen Ansprache des Bohrkleins können die Spülungsverluste mit dolomitisierten Kalksteinen sowie Dolomiten innerhalb der tieferen Malmschichten im Malm zeta und Malm epsilon korreliert werden.

Insgesamt wurden im Bohrprojekt Pullach 9.166 Bohrmeter im Zeitraum von Dezember 2004 bis Juli 2005 inklusive der Sidetrack Bohrung abgeteuft. Im Geothermieprojekt Riem wurden im Zeitraum Juli 2003 bis Oktober 2003 insgesamt 6.500 m Bohrmeter gebohrt.

#### Erschliessung des Malmtiefegrundwasserleiters in den beiden Geothermieprojekten

Entgegen der Erwartungen wurden in der Bohrung Riem Th 1 in den Top Bereichen des Malm keine signifikanten Spülungsverluste registriert, was auf eine stärker entwickelte Verkarstung der Schichtenfolge hingewiesen hätte. Erst im tiefen Malm zeta (bei 3.100 m MD) setzten leichte Spülungsverluste von ca. 1 cbm/h ein. An der Basis des Malm zeta stiegen die Verluste dann bis auf 8 cbm/h an, nahmen dann aber auf den letzten 100 m bis Erreichen Endteufe bei 3.275 m wieder deutlich ab. Aufgrund der petrographischen Ansprache des Bohrkleins können die Spülungsverluste mit dolomitisierten Kalksteinen sowie Dolomiten innerhalb der tieferen Malmschichten im Malm zeta und Malm epsilon korreliert werden.

Auf Grundlage der reprozessierten 2-D-Seismik am Standort Riem konnte für die Bohrung Riem Th 2 ein eindeutiges Erschliessungsziel im Bereich einer Bruchzone im Umfeld des so genannten Markt Schwabener Verwurfs bestimmt werden. Im Nahbereich um die in der Seismik kartierte Störungszone traten totale Spülungsverluste auf, welche unter bohrtechnisch noch kontrollierbaren Bedingungen ein Verlustvolumen von 800 cbm in wenigen Stunden beinhalteten. Mittels Einsatz einer sehr leichten Polymer-Wasserspülung konnten die Verluste dann zunächst gestoppt werden und ließen die Vertiefung der Bohrung um 255 m bis auf 3.225 m (MD) zu.

Die Auswertung der seismischen Unterlagen für den Raum Pullach i. Isartal wiesen im Rahmen der geologischen Planungsarbeiten weder für die Förder- noch für die geplante Reinjektionsbohrung eindeutige Erschliessungsziele in Form von Störungszone in den Malmkarbonaten auf. Das Erschliessungskonzept für die geothermische Dublette Pullach musste sich somit zunächst im Wesentlichen auf die Erfahrungen der Bohrung Riem Th 1 stützen. Aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten, dass hydraulisch aktive Störungszone und eine flächenhafte Verkarstung im Top Bereich des Malmtiefegrundwasserleiters am Standort Pullach nicht zu erwarten waren, orientierte sich die Bohrplanung an der Vorgabe, durch einen gerichteten Bohrungsverlauf möglichst große Malmstrecken zu erschliessen. Dieser Aspekt sowie die übertage auftretenden Strangdrehmomente begründeten den Einsatz von Untertagomotoren mit Richtbohrrequisiten in den Malmstrecken.

In der Projektierung wurden für die Bohrungen Pullach Th 1 und Th 2 zunächst Erschliessungsstrecken im Malm mittels Ablenkung von 340 m und 360 m angesetzt. Die nachfolgende Tabelle stellt die Daten der tatsächlich gebohrten Malmstrecken in den Bohrungen Riem Th 1 & Th 2 sowie Pullach Th 1/1a & Th 2 gegenüber.

Tab. 3: Vergleich der erschlossenen Malmmächtigkeit

| Bohrung                                 | Malmstrecke<br>Von<br>MD (TVD) | Teufe [m]<br>Bis<br>MD (TVD) | Bohrstrecke Malm<br>(Nettomächtigkeit) | Bohrlochneigung |
|-----------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|-----------------|
| Riem Th 1                               | 2.787 (2.672)                  | 3.275 (3.019)                | 488 (347)                              | max. 44°        |
| Riem Th 2                               | 2.922 (2.509)                  | 3.225 (2.747)                | 303 (238)                              | max. 39°        |
| Pullach Th 1<br>inklusive<br>Vertiefung | 2.899 (2.819)                  | 3.550 (3.389)                | 651 (570)                              | max. 31°        |
| Pullach Th 1a                           | 2.902 (2.810)                  | 3.930 (3.370)                | 1.028 (560)                            | max. 72°        |
| Pullach Th 2                            | 3.508 (2.958)                  | 4.120 (3.443)                | 612 (485)                              | max. 40°        |

Da erste Injektionsversuche in die Bohrung Pullach Th 1 nach erfolgreichem Abschluss der Bohrung Pullach Th 2 eine ungenügende Injektivität der Bohrung 1 auswiesen, wurde zunächst eine Vertiefung des Bohrlochs in den tieferen Malm verfolgt. Da die Vertiefung der Bohrung Pullach Th 1 ebenfalls nicht das gewünschte Schluckvermögen erbrachte, wurde die Bohrung durch ein Sidetrack ab Teufe 2.814 m (MD) abgelenkt (vgl. Abb. 2). Mit einem Neigungsaufbau bis auf 72° konnte eine 1.116 m lange Bohrstrecke in Richtung NNE abgeteuft werden. Die eingesetzte Motorgarnitur erreichte bei der Sidetrack-Bohrung mit dem Einsatz von PDC-Meißeln in den Malmkarbonaten bei schleichenden Spülungsverlusten Tagesleistungen von bis über 180 m am Tag.

Die Spülungsverluste in den Bohrungen Pullach Th 1/1a und Pullach Th 2 konzentrierten sich, analog zur Bohrung Riem Th 1, im Wesentlichen auf Bereiche im tieferen Malm. So wurden beispielsweise in der Bohrung Pullach Th 2 die Verlustzonen erst bei 3.980 m (MD) angefahren. Bei der Bohrung Pullach Th 1a traten signifikante Spülungsverluste ab Teufe 3.600 m (MD) auf. Diese Erfahrungen zeigen deutlich, dass bei fehlendem Störungsinventar und Verkarstungserscheinungen im Malmteiefengrundwasserleiter durch den Einsatz von Richtbohrtechnik möglichst lange Bohrstrecken im Malm realisiert werden müssen, um damit die Fündigkeit zu erzielen.

Ein wesentlicher Aspekt ist zudem die Tatsache, dass bei Erreichen größerer Bohrteufen im Bereich des Malmteiefengrundwasserleiters somit auch deutlich höhere Temperaturen erschlossen werden konnten, die, wie im Fall von Pullach trotz geringerer spezifischer Ergiebigkeit der Bohrungen ganz wesentlich die Wirtschaftlichkeit des Projektes verbesserten und die Effizienz der Geothermianlage steigern.

#### Faktoren zum bohrtechnischen Gelingen

- Der konsequente Einsatz der Richtbohrtechnik im Malmteiefengrundwasserleiter hat bei den Projekten Riem und Pullach ganz wesentlich zum Fündigkeitserfolg beigetragen. Mittels Einsatz einer sehr leichten Polymer-Wasserspülung im Malmteiefengrundwasserleiter und PDC-Bohrwerkzeugen blieben die Spülungsverluste im Malm bohrtechnisch beherrschbar und erlaubten bei teilweise extrem gutem Bohrfortschritt hohe Eindringteufen in den Malmteiefengrundwasserleiter.
- Die eingesetzten Bohranlagen hatten ausreichende Kapazitäten als auch Reserven, so dass in jeder Phase der Bohr- und sonstigen Arbeiten höchste bohrtechnische Sicherheit

gewährleistet war und geologisch-hydrogeologisch bedingte Planungsänderungen ohne Schwierigkeiten umgesetzt werden konnten.

Der Erfolg der Projekte Messestadt Riem und Pullach i. Isartal war sehr stark abhängig vom Zusammenspiel der mitarbeitenden Firmen als auch von den notwendigen finanziellen Reserven für das Projekt, um auftretende Schwierigkeiten überlegt und erfolgreich zum wirtschaftlichen Gesamterfolg zu führen. Aus richtbohrtechnischer, spülungstechnischer und geologischer Sicht wurden die Bohrungen sowohl vom Equipment als auch vom Engineering intensiv betreut.

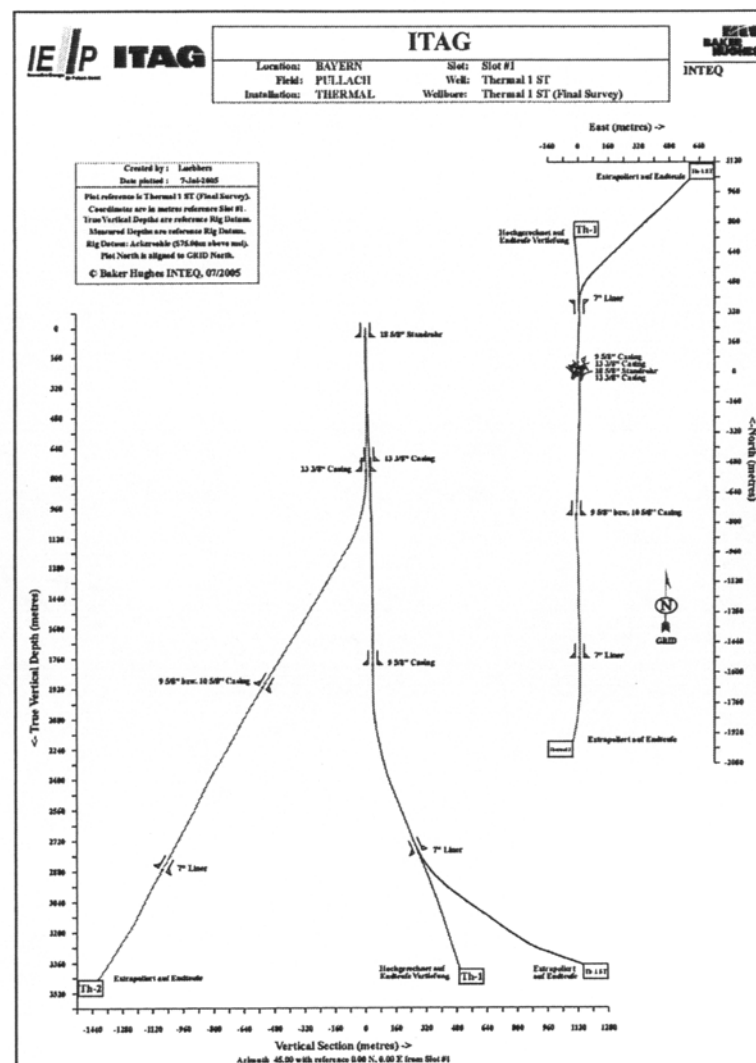


Abb.: 2: Bohrtechnischer Schnitt für das Geothermieprojekt Pullach mit Sidetrack-Bohrung