

Abb. 1 – Das 2013 fertiggestellte Servicecenter der Fa. Thomann



Abbildung: Musikhaus Thomann

## Errichtung eines Erdwärmesondenfeldes – Untersuchungen und Bauablauf

Im Frühjahr 2012 wurde der Startschuss für die Errichtung eines modernen Servicecenters der Fa. Thomann im oberfränkischen Treppendorf gegeben. Die Planungen setzten dabei auch bei der Kühlung und Heizung des mehrstöckigen Gebäudes mit einer Gesamtnutzfläche von 5.400 m<sup>2</sup> auf modernste Technik. Innerhalb einer Rekordzeit von knapp sechs Monaten wurde neben dem zeitgleich gebauten Servicecenter ein Erdwärmesondenfeld, bestehend aus 38 Doppel-U-Sonden bis 100 m Tiefe, wasserrechtlich genehmigt und errichtet.

**Musikhaus Thomann in** Treppendorf bei Burgebrach/Lkrs. Bamberg ist Europas größter Händler für Musikinstrumente, Studio-, Licht- und Beschallungstechnik. Gegründet als Ein-Mann-Unternehmen in den Fünfziger Jahren beschäftigt der Fami-

lienbetrieb heute rd. 900 Mitarbeiter. Der Beginn des Internetzeitalters hat der Firma einen zusätzlichen Expansionsschub gegeben. Heute verlassen täglich etwa 12.000 Pakete das Firmengelände in alle Welt. Der Erfolg stellt größte Herausfor-

derung an die Logistik und führt auch zu wachsendem Flächenbedarf. Nach etwa sechs Monaten Vorplanung wurde die Errichtung eines Servicecenters zur kundenorientierten Bearbeitung von Aufträgen beschlossen (Abb. 1).

Der Bedarf des Servicecenters wurde mit etwa 155 kW Heiz- und 125 kW Kühlleistung prognostiziert. Das Ingenieurbüro Gartiser, Germann & Piewak (Bamberg) wurde vom Musikhaus Thomann beauftragt, nach Prüfung der Machbarkeit eine monovalent betriebene geothermische Anlage zu planen und die Errichtung unter Berücksichtigung der wasserrechtlichen Vorgaben fachtechnisch zu überwachen.

### Vorüberlegungen

Die am Standort anstehenden Schichten des Sandsteinkeupers sind als gering ergiebige Kluftgrundwasserleiter mit tief liegendem Grundwasserspiegel zu klassifizieren. Eine geothermische Grundwassernutzung über Brunnen (offenes System) kam aus hydrogeologischen Gründen nicht infrage. Daher wurde die Errichtung eines geschlossenen Systems vorgesehen.

Die Daten des Informationssystems Oberflächennahe Geothermie (IOG) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt wiesen für den Standort zulässige Bohrtiefen von etwa 40 m Tiefe aus (Stand 19.04.2012). Exakte Bohrprofile aus der näheren Umgebung existierten ebenso wenig wie eine amtliche geologische Karte. Eine Nachfrage am zuständigen Wasserwirtschaftsamt ergab eine Teufenbegrenzung aus hydrogeologischen Gründen bis etwa 60 bis 70 m. Aufgrund der beengten



Abbildung: Gartiser, Germann & Piewak

Abb. 2 – Kernstrecke der Pilotbohrung SKL 146 mm im Coburger Sandstein mit nahezu hundertprozentigem Kerngewinn

In fachlicher Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt Kronach wurde zur Klärung der Untergrundverhältnisse die Durchführung einer Pilotbohrung bis 100 m Tiefe festgelegt. Damit sollten die hydrogeologischen und thermophysikalischen Gegebenheiten detailliert erkundet und aus den Ergebnissen die möglichen Zieltiefen und Dimensionierung eines Erdwärmesondenfeldes abgeleitet

### Pilotbohrung

Die wasserrechtlich bis 100 m Tiefe genehmigte Pilotbohrung wurde vom 18.06. bis 21.06.2012 zur Ermittlung der lithologischen und stratigraphischen Verhältnisse als Kernbohrung (SKL 146 mm) durch das DVGW-W 120-zertifizierte Bohrunternehmen Keller & Hahn (Insingen) durchgeführt. Die Bohrung setzt im Bereich des künftigen Parkplatzes unter

## Eine Kernbohrung mit Pumpversuch ist bei fehlenden Informationen zur örtlichen Hydrogeologie anzuraten. <<

Platzverhältnisse war bei diesen Vorgaben unsicher, ob die Errichtung einer monovalent betriebenen Anlage wirtschaftlich umsetzbar war.

werden. Die Daten sollten ferner Grundlage der Genehmigung, der Detailplanung und einer sicheren Ausschreibung des Gesamtfeldes werden.

geringmächtigen Deckschichten im Mittleren Burgsandstein an. Der Untere Burgsandstein wurde bis 45,6 m, der Coburger Sandstein bis 65,9 m durch-

## terrateg Geophysical Services

Seit 1989 ist terrateg ihr spezialisierter Dienstleister in den Bereichen:

- Bohrlochgeophysik
- Oberflächengeophysik



In den Bereichen Brunnenbau und Wassererkundung bietet terrateg folgende Dienstleistungen an:

- Auffinden und Festlegen von Brunnenstandorten
- Hydrodynamische Bohrlochmessungen
- In situ Probenahme
- Ausbaukontrolle
- Bohrloch Scanner Befahrung

terrateg Schillerstrasse 3 D-79423 Heitersheim  
Tel.: +49 (0)7634 50319-0 www.terrateg-geoservices.com

teuft. Die Bohrung endet im Blasensandstein des Mittleren Keupers in 100 m Teufe. Es wurden Sandsteine mit Ton- und Schluffsteinzwischenlagen sowie untergeordnet Kalksteine erbohrt. Gipsführende Schichten wurden nicht angetroffen, sind jedoch im Unteren Burgsandstein grundsätzlich nicht ausschließbar.

Die Bohrkern zeigen kaum Klüftung, eine tektonische Beanspruchung ist nicht erkennbar. Die Kerne mit einem nahezu hundertprozentigen Kerngewinn wurden nach der geologischen Aufnahme der Geologischen Abteilung am Bayerischen Landesamt für Umwelt für weitere Forschungszwecke überlassen (Abb. 2).

Im offenen Bohrloch wurde am 20. Juni 2012 ein Kurzpumpversuch durchgeführt, der bei natürlichen Grundwasserspiegeln um 45 m u. GOK mit einem Leistungsquotienten von  $C = 0,004 \text{ l/s} \cdot \text{m}$  ein tief liegendes Grundwasserniveau sowie eine sehr geringe hydraulische Anbindung an den Klufftgrundwasserleiter zeigte. Negative wasserwirtschaftliche Auswirkungen über die hydraulische Kopplung einzelner Klufftgrundwasserleiter durch Bohrungen konnten aufgrund der sehr geringen Wasserführung in der Pilotbohrung, der überwiegend sandigen Fazies ohne nennenswerte aushaltende Stauhazone sowie der geringen Klüftung weitgehend ausgeschlossen werden. Weiterführende Überlegungen zur Dimensionierung des Erdwärmesondenfeldes wurden daher mit Zielteufen von 100 m anstatt der bisher angesetzt, wasserwirtschaftlich zulässigen 60 bis 70 m vorgenommen.

Zur weiteren Absicherung der stratigraphischen Zuordnung des Profils sowie um genauere Erkenntnisse zur Temperatur und Mineralisation des Grundwassers im Untergrund zu erhalten, wurde am 21.06.2012 eine „kleine Bohrlochgeophysik“ durch die Fa. Fontus Logging Service (Pleinfeld) durchgeführt. Das Messprogramm umfasste die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit sowie ein Gamma-Log.

Die Grundwassertemperaturen sinken von  $13,05 \text{ }^\circ\text{C}$  in 45 m Teufe auf  $12,9 \text{ }^\circ\text{C}$  in 51 m Teufe und steigen anschließend auf  $13,2 \text{ }^\circ\text{C}$  in 80 m Teufe. Zur Endteufe 100 m hin nehmen die Temperaturen wieder ab auf  $12,75 \text{ }^\circ\text{C}$  ab. Die Temperaturen spiegeln dynamische Prozesse in der erschlossenen Wassersäule mit abwärts gerichteter Vertikalkomponente wider. Sie werden überprägt von thermischen Restbeeinflussungen durch die vorangegangenen Bohrarbeiten.

Die elektrischen Leitfähigkeiten des Grundwassers liegen relativ einheitlich zwischen  $630$  und  $650 \text{ } \mu\text{S/cm}$  und steigen in 95 m Teufe sprunghaft bis zur Endteufe auf  $660 \text{ } \mu\text{S/cm}$ . Eine besonders erhöhte Mineralisation des Grundwassers ist damit auszuschließen.

Die im Gamma-Log aufgezeichnete Strahlungsintensität wird durch den radioaktiven Zerfall des  $^{40}\text{K}$ -Isotops verursacht. Das Kaliumisotop ist in Tonmineralien angereichert und eignet sich normalerweise zur Abgrenzung von Tonsteinen gegenüber Sandsteinen. Hohe Werte mit Impulsraten von  $> 180$  bis  $400 \text{ API}$  sind typisch für Keuperton-/schluffsteine. Werte  $< 80 \text{ API}$  stehen für reine Sandsteine.



Abbildung: Gartiser, Germann & Plewak

Abb. 3 – Thermal-Response-Test an der Pilotbohrung



Abbildung: Gartiser, Germann & Plewak

Abb. 4 – Bohrarbeiten im Bereich des künftigen Parkplatzes mit zwei Bohrgeräten

Im Sandsteinkeuper existiert zusätzlich eine Überprägung durch Isotope der Uran-/Thorium-Zerfallsreihe. Im vorliegenden Messprofil wurde in 85,5 m Teufe eine Impulsrate von 1.450 API registriert, was für eine erhebliche radiometrische Anomalie spricht. Das übrige Messprofil des Gamma-Logs konnte gut mit den Profilaufnahmen und den anstehenden Wechselfolgen aus Ton- und Sandsteinen korreliert werden. Es diente im Zweifelsfall zur Grenzziehung zwischen stratigraphischen Einheiten durch Korrelation mit Gamma-Logs aus weiter entfernten Bohrungen.

Die Erkenntnisse aus der Pilotbohrung waren Grundlage zur wasserwirtschaftlichen Genehmigung mit zulässigen Bohrtiefen bis 100 m des später ausgeführten Erdwärmesondenrestfeldes. Die fachlichen Abstimmungen hierzu liefen parallel zu den Arbeiten an der Pilotbohrung.

Nach der Vorabstimmung mit der Fachbehörde wurde die Pilotbohrung auf 160 mm aufgeweitet und zu einer PEHD-RC-Doppel-U-Sonde 4 x 32 mm unter Verwendung von Abstandshaltern bis 100 m Tiefe ausgebaut und mit Thermozeptem im Kontraktorverfahren verpresst. Nach

Druckprüfung und Abwarten der Abbindezeiten des Zements wurde von der UBeG Dr. E. Mands & Sauer (Wetzlar) ein Thermal-Response-Test (TRT) durchgeführt (Abb. 3).

Die mittlere Untergrundtemperatur wurde mit 11,4 °C, die mittlere Wärmeleitfähigkeit mit 2,65 W/m · K bei einem niedrigen Bohrlochwiderstand von 0,072 m · K/W ermittelt.

Die mittlere Untergrundtemperatur liegt damit deutlich niedriger als die geophysikalisch ermittelten Wassertemperaturen. Die mittlere Wärmeleitfähigkeit liegt nahezu exakt im Bereich der typischen Werte für Sand- und Ton-/Schluffsteine, die gem. VDI 4640 unter Berücksichtigung des aufgenommenen Profils mit 2,61 W/m · K angesetzt worden wären.

#### Konzeption des Erdwärmesondenfeldes

Das komplette Erdwärmesondenfeld sollte unter den künftigen Parkplatzflächen des Servicecenters errichtet werden. Der verfügbare Platz war somit begrenzt. Zudem waren zu Beginn der Planungen der genaue Kühl- und Heizbedarf sowie das Lastprofil im Jahresgang noch nicht exakt

bekannt. Daher wurden auf Basis der Ergebnisse des TRT mit dem Simulationsprogramm EED 3.0 mehrere Varianten gerechnet, die sukzessive an die Planungsvorgaben angepasst wurden.

Zunächst wurde mit angenommenen Werten, später mit konkretisierten Werten gerechnet. Für die Planung der Gebäudetechnik wurden Angaben zu maximal möglichen Entzugsleistungen eines Sondenfeldes ermittelt. Auf diese Weise wurde das Erdwärmesondenfeld optimiert und an den Bedarf angepasst. Die Simulation wurde für den monovalenten Betrieb mit einer schließlich festgelegten Kühlarbeit von 62,5 MWh/a (direkte Nutzung) und einer Heizarbeit von 310 MWh/a (Wärmepumpe) gerechnet.

Aufgrund der Lage im Bereich des künftigen Parkplatzes wurde eine klassische Rechteckanordnung mit gegenüber den Mindestvorgaben nach VDI 4640 erhöhten Sondenabständen von 9 m gerechnet. Für das Lastprofil wurden mangels genauer Daten Literaturangaben für vergleichbare Gebäude verwendet.

Weitere Randbedingungen für die Simulationsberechnung waren, dass die Fluidtemperaturen in einem Zeitraum 

# GEOT EXPO

## INTERNATIONALE GEOTHERMIE INDUSTRIEMESSE

Globales Business  
Innovative Technologien  
Internationaler Expertentreff

Willkommen am  
Hotspot der Energie!

12.–14. November 2013

Deutscher Geothermiekongress  
DGK 2013

[www.geotexpo.com](http://www.geotexpo.com)



STARKE MESSEPARTNER –  
GEBALLTE KOMPETENZ



EnergieAgentur.NRW 

#### KONTAKT

MESSE ESSEN

**Anna Pietler**

Project Manager

Norbertstraße, 45131 Essen

Telefon: +49 (0)201 7244-742

[anna.pietler@messe-essen.de](mailto:anna.pietler@messe-essen.de)





Abbildung: Gartiser, Germann & Plewak

Abb. 5 – Verteilerschacht und Anbindung der 40 mm PE 100 RC-Leitungen

von 30 Jahren im Bereich zwischen mindestens 0 (bzw. max. -3 °C) bis maximal 20 °C liegen sowie gleichzeitig das ± 11 K-Kriterium für die mittlere Untergrundtemperatur im Grundlastfall gem. VDI 4640 eingehalten werden soll.

Es wurde eine benötigte Gesamtlänge der Doppel-U-Sonden von 3.600 m ermittelt, die bei zwischenzeitlich wasserrechtlich genehmigten zulässigen Tiefen von 100 m einer Sondenanzahl von 36 entspricht. Da mit dieser Konstellation eine rechnerische Minimaltemperatur von 0,56 °C ermittelt wurde und der Kühlbedarf nicht exakt angegeben werden konnte, wurde gemeinsam mit der technischen Planung entschieden, die Gesamtzahl der Sonden auf 38 festzulegen. Der Anschluss soll in vier redundant betriebenen Kreisläufen mit Einzelfeldern von jeweils acht bis zehn Sonden pro Verteilerschacht erfolgen. Zwei weitere Sonden könnten nachträglich noch in das auf bis zu 40 Sonden ausgelegte System eingebunden werden. Von den Verteilerschächten werden die Erdwärmeleitungen aus Gründen der geforderten Redundanz getrennt voneinander ins Gebäude geführt.

#### Errichtung des Restfeldes

Gemäß den Vorplanungen wurden auf dem Erdplanum des künftigen Parkplatzes zusätzlich zur Pilotbohrung weitere 37 Erdwärmesonden im Abstand von 9 m zueinander platziert. Die Errichtung des Restfeldes erfolgte im Zeitraum vom 14.08. bis 02.10.2012 durch die Terra

Therm (Fulda), ein nach DVGW-Arbeitsblatt W 120 zertifiziertes Fachunternehmen. Zur Zeitersparnis wurde parallel mit zwei Bohrgeräten gearbeitet (Abb. 4).

Sämtliche Bohrungen wurden im schonenden Spülbohrverfahren (rechts) ausgeführt, eine von der Bauüberwachung mitgetragene Entscheidung des Bohrunternehmers aufgrund der Erkenntnisse aus der Pilotbohrung mit zu erwartenden, geringen Spülverlusten.

Im Keupergebiet mit seinen Wechselfolgen aus Sand- und Tonsteinen fallen beim alternativen Imloch-Hammer-Bohrverfahren Spülwässer an, die meist die wasserrechtlich vorgegebenen Einleitwerte bzgl. Sandführung und Trübung überschreiten und dadurch eine kostenintensive Entsorgung (Erfahrungswert ca. 3 bis 8 €/m<sup>3</sup>) verursachen. So werden in den wasserrechtlichen Bescheiden zunehmend auch Einleitgrenzwerte für Spülungswässer wie z. B. abfiltrierbare Stoffe < 100 mg/l und absetzbare Stoffe < 5 ml/l festgesetzt. Auch die örtlichen Kläranlagenbetreiber sehen erhöhte Trübungen zunehmend kritisch. Wird festgestellt, dass die Einleitgrenzwerte überschritten sind, ruht die Baustelle zunächst, bis eine Entsorgungsmöglichkeit gefunden ist. Daher wurde die Entscheidung zum Spülbohrverfahren mit Kreislaufspülung auch aus wasserwirtschaftlicher Sicht befürwortet.

Der Ausbau der Erdwärmesonden erfolgte bezüglich der Einbaumaterialien nahezu gleichartig wie bei der Pilotbohrung mit werkseitig vorkonfigurierten und

druckgeprüften Doppel-U-Sonden (4 x 32 mm, PEHD-RC, SDR 11, PN 16) mit Innenabstandshaltern. Unter Berücksichtigung des gemäß Merkblatt 3.7/2 des Bayerischen Landesamtes für Umwelt geforderten Ringraums von mindestens 30 mm wurde ein Endbohrdurchmesser von 170 mm gewählt. Die Verpressung der Erdwärmesonden erfolgte mit sulfatbeständigem Thermozeament der Fa. Fischer (Wärmeleitfähigkeit ≥ 2,4 W/sm · K) mittels Verpressgestänge, welches jeweils vollständig gezogen wurde. Die theoretisch benötigten Zementationsmengen, etwa 2,4 m<sup>3</sup> je Sonde inklusive Migrationsverluste, stimmten mit den tatsächlich eingebrachten Mengen überein. Es gab somit keine Hinweise auf nennenswerte Zementationsverluste.

Druck- und Durchflussprüfungen sowie Verpressungen erfolgten gemäß den Vorgaben der VDI 4640 sowie Merkblatt 3.7/2 des Bayerischen Landesamtes für Umwelt.

#### Horizontalanbindung

Jede Doppel-U-Sonde wurde über sogenannte Hosenstücke mit 2 x 40 mm PE 100 RC-Leitungen verschweißt, die mit ansteigendem Gefälle zu den Verteilerschächten geführt wurden. Alle Leitungen wurden eingesandet und parallel ohne Leitungskreuzungen in frostfreier Tiefe verlegt.

Die vorgefertigten wasserdichten Verteilerschächte aus HDPE wurden wegen der Parkplatzsituation für Befahrbarkeitsklasse B (12,5 t) ausgelegt (Abb. 5). Am Verteilerbalken der Schächte wurden Regulierventile und Manometer im Rücklauf sowie Messinstrumente für die Temperatur (Vor- und Rücklauf) installiert. Vom Schacht erfolgte der Anschluss an den Technikraum im nicht unterkellerten Gebäude über PE 100 RC 2 x 125 mm-Leitungen, zu denen parallel ein Leerrohr 63 mm für die Ansteuerung der Messinstrumente verlegt wurde. Die insgesamt acht Erdwärmehauptleitungen (jeweils eine Leitung je Verteilerschacht für Vor- und Rücklauf) wurden im Technikraum des Servicecenters auf den vorinstallierten Hauptverteilerbalken angeschlossen, an den die gebäudeseitige Anbindung zu den zwei Wärmepumpen erfolgte.

Jedes der vier Einzelfelder wurde in den Schächten einer Druck- und Durchflussprüfung unterzogen. Eine weitere Prüfung erfolgte ab Technikraum für das Gesamtfeld. Sowohl am Hauptverteiler als auch in jedem Verteilerschacht sind Schieber installiert, die z. B. bei einer Leitungsschädigung durch Erd- oder Pflanzarbei-

ten ein Abtrennen eines gesamten Sondenfeldes oder der beschädigten Einzelsonde ermöglichen.

Die Befüllung des Erdwärmesondenfeldes erfolgte mit etwa 10,4 m<sup>3</sup> organischem Trägermittel auf Monoethylglykolbasis (33 %) mit Korrosionsinhibitoren der Wassergefährdungsklasse 1. Nach Anschluss an die Umwälzpumpe und etwa dreiwöchigem Testbetrieb erfolgte der hydraulische Abgleich der Einzelsonden, um eine gleichmäßige Beaufschlagung zu erreichen.

#### Abnahmen

Die VOB-Abnahmen erfolgten baubegleitend sowie durch ergänzende Schlussabnahme durch die Gartiser, Germann & Piewak GmbH. Die Abnahme nach Art. 61 BayWG erfolgte baubegleitend sowie auf Basis der erstellten Dokumentation durch einen externen, nicht mit der Planung betrauten Privaten Sachverständigen. Die Abnahme durch einen VAWS-Sachverständigen erfolgte erstmalig durch Sichten der Baudokumentation sowie Schlussabnahme mit Simulation eines Lecks zur Ermittlung der wirksamen Abschaltung

der Anlage. Künftig wird alle fünf Jahre eine Kontrolle der Anlage erforderlich.

#### Fazit

Das Erdwärmesondenfeld „Servicecenter Musikhaus Thomann“ konnte mithilfe eines umfangreichen, vom Auftraggeber mitgetragenen Untersuchungsprogramms optimiert und in Rekordzeit ohne jegliche bauliche oder wasserrechtliche Probleme errichtet werden. Gegenüber den ursprünglichen wasserwirtschaftlichen Vorgaben wurde das Erdwärmesondenfeld mit deutlich größeren Zieltiefen hergestellt. Für die erfolgreiche Planung solcher Anlagen sind immer detaillierte Kenntnisse zum Untergrund wichtig. Wenn diese nicht vorliegen, ist eine Pilotbohrung unabdingbar. Bei fehlenden hydrogeologischen Daten zum Untergrund wird allen Betreibern die Durchführung einer Kernbohrung mit Pumpversuch empfohlen. Die Kosten hierfür sind gut investiert. Der mit etwa 265.000 € brutto angesetzte Kostenrahmen (Erdwärmesonden und Horizontalanbindung) konnte nahezu exakt eingehalten werden. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass in der Ausschreibung die Ergebnisse der

Pilotbohrung berücksichtigt wurden und der Bohrunternehmer eine saubere Kalkulationsbasis hatte. Die Anlage wird seit Ende Mai 2013 erfolgreich betrieben.

#### Autoren

Dipl.-Geol. Andreas Gartiser  
Dipl.-Geol. Susan Meister  
Gartiser, Germann & Piewak  
Ingenieurbüro für Geotechnik  
und Umwelt GmbH  
Schützenstr. 5  
96047 Bamberg  
Tel.: 0951 201796  
Fax: 0951 201795  
info@geologie-franken.de  
www.geologie-franken.de

Alexander Schell  
Musikhaus Thomann e.K.  
Treppendorf 30  
96138 Burgebrach  
Tel.: 09546 9223-1170  
Fax: 09546 9223-1104  
alex@thomann.de  
www.thomann.de





## Beermann Bohrtechnik

- jeder Aufgabe gewachsen!

www.beermann.de

Grabenlose Rohrverlegung

Bohrlänge bis 1.500 m u. bis Ø 1,2 m

... alles im grünen Bereich

# beermann

bohrtechnik

Heinrich-Niemeyer-Str. 50 - 48477 Hörstel-Riesenbeck  
Tel.: (0 54 54) 93 05 - 0 - Fax: (0 54 54) 93 05 - 72  
E-Mail: info@beermann.de - Internet: www.beermann.de

Die Natur hat an alles gedacht.  
Auch an die Energiewende.



Energiegewinnung aus der Erde

## baugrund süd

info@baugrundsued.de · www.baugrundsued.de