

Geothermie-Projekt „Quartier Unterlinden“ in Freiburg: nachhaltiges Klimatisierungskonzept für große Bürogebäude

Zukunftskonzept ■ Seit 2007 realisiert der Projektentwickler Unmüssig Bauträgergesellschaft Baden mbH in Freiburg das Bauvorhaben „Quartier Unterlinden“. Dabei wird das Zukunftskonzept umgesetzt, einen Bürokomplex mit Hilfe von geothermischer Energie nachhaltig, umweltfreundlich und wirtschaftlich zu klimatisieren. Insgesamt 108 Bohrungen für Erdwärmesonden mussten in äußerst komplexer Geologie in Tiefen von bis zu 125 Metern eingebracht werden. Mit der Anbindung der Sonden im April 2009 konnten die Bohrarbeiten erfolgreich und termingerecht abgeschlossen werden.

Die Firma Unmüssig erstellt derzeit als Generalübernehmer im Zentrum des südbadischen Freiburg im Auftrag der Sparkasse Freiburg – Nördlicher Breisgau das Bauvorhaben „Quartier Unterlinden“. Der Baukomplex umfasst einen „Solitär“ getauften Geschäfts- und Büroturm mit einer Nutzfläche von 4.000 m² sowie den Sparkassenneubau mit einer Nutzfläche von insgesamt 12.900 m². Er liegt geologisch betrachtet in einem sehr wechselhaften Gebiet, der sogenannten „Freiburger Bucht“. Dieses Gebiet im östlichen Randbereich des Oberrheingrabens begann sich mit der Entstehung der Alpen zu Beginn des Tertiärs vor etwa 65 Millionen Jahren abzusenken. Die vertikalen Bewegungen im Graben haben zum Teil bereits ca. 5.000 Meter erreicht und sind auch heute noch anhaltend messbar.

Die Baustelle befindet sich rund 500 Meter westlich der Haupttrandverwerfung des Schwarzwalds. Unter den jung- und altquartären Schottern stehen ab

ca. 80 Meter Tiefe die Festgesteine des Keupers an, die von Muschelkalk unterlagert sind. Die detaillierte geologische Profilaufnahme über das Baufeld (siehe Kasten S. 40) verdeutlicht die starke tektonische Beanspruchung des Untergrundes durch die starken Relativbewegungen im Grabenrandbereich. Es wurde daher ein sehr heterogenes Schollenmosaik (Bruchschollentektonik) in Kombination mit der örtlich ausgeprägten vertikalen Klüftung erwartet. Dadurch stellte das Projekt bezüglich der geologisch bedingten Anforderungen an Bohr- und Maschinenteknik das in Deutschland bisher wohl anspruchsvollste dar. Die zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie eingesetzten Erdwärmesonden mussten zum Großteil auf eine Teufe von 125 Metern niedergebracht werden. Aufgrund der komplexen Geologie war es notwendig, die Bohrungen vor der Einbringung der Sonden bis zur Endteufe zu verrohren und anschließend die Casing-Rohre wieder zu bergen. Bei der Entscheidungsfindung zur Vergabe der Bohrarbeiten war daher der Faktor Er-

fahrung mit Erdsondenbohrungen in vergleichbaren geologischen Bedingungen ein ausschlaggebendes Kriterium für die Bauherren.

Planung

Der Zuschlag der Bauherrngemeinschaft fiel zugunsten einer für dieses Projekt gegründeten Arbeitsgemeinschaft aus. Sie bestand aus der drillexpert GmbH aus dem ca. 15 Kilometer nördlich von Freiburg gelegenen Teningen und der Heinz Burkhardt GmbH & Co. KG aus Neuweiler im Nordschwarzwald. Somit entschied man sich für eine Allianz zweier Bohrunternehmen, die sowohl über jahrzehntelange Erfahrungen bei der Durchführung von Bohrungen in der regional zu erwartenden Geologie als auch über einen für die anspruchsvolle Aufgabenstellung geeigneten Maschinenpark verfügt.

Die Auswahl der zwei einzusetzenden Bohranlagen fiel auf eine Bohrtec Vertical VB10 von Herrenknecht und eine HBR205GT der Firma Hütte. Beides sind Doppelkopfböhranlagen, die über



Für den Bürokomplex „Quartier Unterlinden“ in Freiburg wurden insgesamt 108 Bohrungen für Erdwärmesonden realisiert.



die notwendigen Drehmomente und Rückzugskräfte verfügen, um die temporäre Schutzverrohrung (6“ Casing-Rohre) auf Endteufe zu bringen und den Rohrstrang anschließend wieder bergen zu können (Abb. 1).

Die Planung der Haustechnik und die geologische und geothermische Betreuung übernahmen zwei Freiburger Ingenieurbüros: die „Planungs-Gruppe Technik GbR“ als Generalplaner für

die komplette technische Gebäudeausrüstung in Kooperation mit der „Ingenieurpartnerschaft Neumann + Schweizer“ (Geologie/Geothermie). Bei der Planung wurde größter Wert auf die Optimierung des Energieverbrauchs für Heizung und Kühlung der beiden Gebäude sowie die Umweltfreundlichkeit bei der Energieerzeugung gelegt. Das energetische Gebäudekonzept für das Sparkassengebäude stützt sich auf vier Kälte-/Wärmeerzeugersysteme (siehe

Kasten S. 38). Die benötigte Heizenergie wird von einer Doppel-Brennwertkesselanlage mit 2x 370 kW (316 MWh/a), einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit 448 kW (443 MWh/a) und einer Luft/Luft-Wärmepumpe mit VRV-Technologie mit 194 kW (133 MWh/a) Heizleistung zur Verfügung gestellt. Um die Temperaturen im Inneren des Gebäudes auch im Sommer auf einem angenehmen Niveau zu halten, kommen mehrere Kaltwasser- ▶



PE-VERTEILER | GROSSVERTEILER

- Massive Bauweise
- Frostbeständigkeit aller Bauteile
- Komplett vormontiert mit hochwertigen Materialien
- Höchstmaß an baustellengerechter Praxistauglichkeit
- Kurze Lieferzeiten garantiert
- Fertigung nach Kundenvorgabe
- Hydraulische Berechnung auf Wunsch

Terra Calidus GmbH - Siemensstraße 37 - 07546 Gera
Tel. +49 (0) 365-51 61 89 89- Fax +49 (0) 365-51 61 89 88
info@terra-calidus.de - www.terra-calidus.de

TERRA GmbH
CALIDUS

HERSTELLER VON
ERDWÄRMEKOMPONENTEN UND ZUBEHÖR

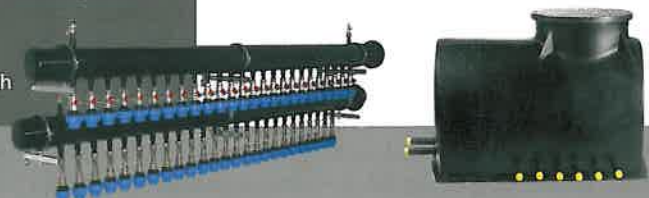




Abb. 1 Die mobile Vertikalbohranlage VB10 von Herrenknecht in der Baugrube

erzeuger mit insgesamt 542 kW (416 MWh/a) zum Einsatz: die Sole/Wasser-Wärmepumpe mit 262 kW (314 MWh/a) und die Luft/Luft-Wärmepumpe mit 194 kW (145 MWh/a) Kühlleistung. Dadurch deckt das Erdsondenfeld im Heizfall ca. 51 und im Kühlfall ca. 35 Prozent der erforderlichen Jahresenergie des Gesamtgebäudes ab. Für die Büronutzung der Sparkasse beträgt der Geothermieanteil im Heizfall sogar 91 und im Kühlfall 83 Prozent. Eine vergleichbare Kombination mehrerer Heiz- und Kühlsysteme kommt auch beim „Solitär“ getauften Geschäfts- und Büroturm zum Einsatz, den vom Projektentwickler getragenen Teil des Gebäudekomplexes. Hierbei verzichtete man jedoch auf die zusätzliche Luft/Luft-Wärmepumpe. Der von den Erdsonden abgedeckte Anteil beträgt hier sowohl im Heiz- wie auch im Kühlfall ca. ein Drittel der erforderlichen Jahresmenge.

Projekttablauf

Die Baugrube mit einer Tiefe von 15,5 Meter unter der Geländeoberkante (GOK) und einem Rauminhalt von

Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

Die Grundheizung/-kühlung der Büroräume im Neubau der Sparkasse erfolgt über thermische Bauteilaktivierung. Die Einzelraumregelung innerhalb der Kernzeiten wird über Randstreifen-elemente, die unterhalb der Betondecken angeordnet sind, sichergestellt. Das Bürogebäude „Solitär“ wird energetisch über Heiz- und Kühldecken versorgt. Die Außenluftversorgung sämtlicher Büroräume mit aufbereiteter Luft ist durch einen 1,5 – 2-fachen Luftwechsel sichergestellt. Die Verlegung der Lüftungsrohre und der thermischen Bauteilaktivierung erfolgt in den Betondecken.

Bei diesen Versorgungskonzepten werden Medientemperaturen bis max. 35 °C im Heizfall, bzw. 18 °C im Kühlfall geplant. Somit bieten sich entsprechend den Temperaturniveaus Wärmepumpen als Energieproduzenten hervorragend an. Die raumlufttechnischen Anlagen sowohl für die Büroräume als auch für den Einzelhandel werden mit Doppelplattenwärmetauschern ausgestattet. Der Wärmerückgewinnungsgrad beträgt bis zu 77 Prozent.

Als Wärmepumpen werden reversible Maschinen mit COP-Werten von 4,7 im Heizmodus und 6,1 im Kühlmodus eingesetzt. Es werden spezielle Aggregate vorgesehen, welche die parallele Wärme- und Kälteerzeugung ermöglichen. Die Beheizung der Büroräume erfolgt ausschließlich über den Wärmepumpenbetrieb. Die Kühlung der

Büroräume wird überwiegend als freie Kühlung im Naturalbetrieb vorgenommen.

Für die Versorgung der Umluftkühlgeräte der EDV-Serverräume im Neubau der Sparkasse und im Bürogebäude „Solitär“ werden jeweils zentrale Kälteversorgungen aufgebaut. Die notwendigen Temperaturen für die Kaltwassernetze werden den Sondenfeldern als Naturalkühlung entnommen. Steigen die Temperaturen über ein definiertes Sollniveau an, werden die Wärmepumpen zur Kaltwasserversorgung zugeschaltet. Sinken die Vorlauftemperaturen der Wärmepumpen unter einen eingestellten Wert, sodass kein wirtschaftlicher Wärmepumpenbetrieb mehr möglich ist, übernimmt eine separate Kältemaschine den weiteren Kühlbetrieb. Die energetische Versorgung der Gastronomienutzung im „Solitär“ wird monovalent mit einem Gas-Brennwertkessel vorgenommen.

Auf den Einsatz von Heizkörpern innerhalb der Verkaufsflächen wird komplett verzichtet. Die Grundlastversorgung der Ladeneinheiten erfolgt über die raumlufttechnischen Anlagen mit Nachbehandlungszonen. Im Kühlfall werden Einblasttemperaturen von +17 °C vorgegeben. Die restlichen Heiz-/Kühlkosten werden über Umluft-Verdampfer-Einheiten (Wärmepumpenbetrieb, VRV-System) abgedeckt. Es können spezifische Werte zwischen 70 und 90 W/m² (Kühlbetrieb) realisiert werden.



Abb. 2 Übersicht über die Baustelle „Quartier Unterlinden“ im Zentrum von Freiburg



Abb. 3 Nach Abschluss der Arbeiten wurden die Anlagen per Kran aus der Baugrube gehoben.

66.650 m³ wurde mit Trägerbohlwänden („Berliner Verbau“) gesichert. Hierzu wurden im Vorfeld der Erdsondenbohrungen 120 Bohrpfähle und eine Gesamtanzahl von 600 Ankern durch die Firma Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG aus dem bayrischen Neumarkt eingebracht (**Abb. 2**). Aufgrund der im Umfeld des Bauvorhabens beengten Platzverhältnisse im Freiburger Innenstadtdgebiet

und der enormen Volumina von notwendigen Erdbewegungen erstellte man im weiteren Bauablauf quasi eine „dynamische Baugrube“. Diese wurde während der Bohrarbeiten sukzessive vergrößert. Zudem musste die für den Abtransport des Aushubmaterials und die logistische Versorgung der Bohranlagen benötigte Rampe während der Bohrarbeiten einmal in ihrer Lage verlegt werden. Bei den letzten ca. 30 Boh-

rungen war die Rampe sogar vollständig abgebaut. Ab diesem Zeitpunkt wurde notwendiges Equipment unter Zuhilfenahme von Kränen in die Baugrube abgesenkt. Nach Abschluss der Bohrarbeiten wurden sowohl die Bohrgeräte als auch die in der Grube befindlichen Bagger und Radlader der Arbeitsgemeinschaft mit einem mobilen Auto-kran geborgen (**Abb. 3**).

Im Vorfeld der Baumaßnahme wurden insgesamt drei Probebohrungen abgeteuft, geophysikalisch vermessen (Gamma- und Temperatur-Log) und zwei Thermal-Response-Tests ($\lambda=2,2$ W/mK, $R_b=0,05$ mK/W) durchgeführt. Im Verlauf der Ausführung des Erdsondenfeldes wurden zur Erkundung und Dokumentation der Untergrundverhältnisse insbesondere im Hinblick auf die tektonische Struktur im Grabenrandbereich weitere acht Bohrungen detailliert aufgenommen und beprobt. Die geothermische und geologische Planung, Aufnahme und Dokumentation der Bohrungen wurde durch den Geologen Dr. Thomas

Geologie

Die tiefste Erkundungsbohrung in den beiden Baufeldern war die Probebohrung 2 (PB2) im Baufeld der Sparkasse mit ca. 150 Metern unter Geländeoberkante (GOK). Die quartären Kiese reichen hier bis in eine Tiefe von ca. 83 Meter. Darunter folgt bis in eine Tiefe von 93 Metern die sogenannte Gipskeuper-Formation (km1, Mächtigkeit ca. 10 Meter) bestehend aus Kalkstein, Zellenkalk, Tonstein und Dolomitstein. Anhydrit- und Gipslagen konnten makro- und mikroskopisch unter dem Binokular nicht nachgewiesen werden. Die salinaren Sedimente unterlagen somit bereits in früheren geologischen Zeiträumen Aufquellungs- und Auslaugungsvorgängen. Unter dem ausgelaugten Gipskeuper lagert dann bis in eine Tiefe von ca. 108 Metern die ca. 15 Meter mächtige, tektonisch reduzierte Lettenkeuper-Formation (kuL), bestehend aus Tonstein und im wesentlichen Dolomitstein. Bis 111 Meter Tiefe steht der ebenfalls tektonisch reduzierte Dolomitstein des Trigonodusdolomits (mo2D) an, bis 132 Meter Tiefe konnte der Plattenkalk (mo2P) und darunter bis Endteufe der untere Hauptmuschelkalk (mo1) nachgewiesen werden (Abb. 5). Der untere Hauptmuschelkalk erwies sich als stark geklüftet, lokal verkarstet und stark wasserführend.

Am Standort des Bauvorhabens sind bis zur maximalen Erkundungstiefe von 150 Metern zwei Grundwasser-Stockwerke ausgebildet: der jungquartäre Schotterhorizont und der Hauptmuschelkalk. Die altquartären Kiese und Sande sind meist stark mit

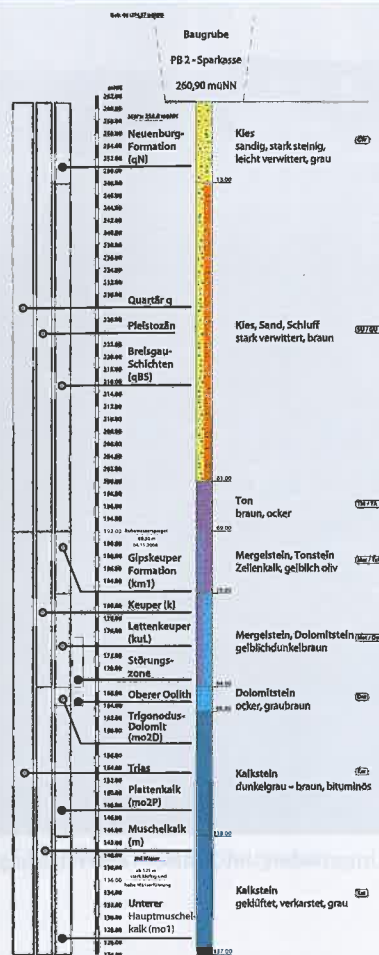


Abb. 5 Schichtenverzeichnis gemäß der Probebohrung 2

bindigen Feinanteilen durchsetzt und fungieren wie die darunter befindliche Keuper-Formation hydraulisch als Stauer bzw. geologische Barriere. Der Flurabstand

des jungquartären Aquifers beträgt bei Mittelwasser-Verhältnissen ca. 16,5 Meter. Das gesamte Bauwerk wurde gemäß den Vorgaben der Unteren Wasserbehörde der Stadt Freiburg oberhalb des sogenannten MHWs (Mittlerer Hochwasserstand) angeordnet. Für den Bemessungsfall bei Wasserhöchstständen wurde nach DIN 18195 Teil 6 eine druckwasserdichte „Weiße Wanne“ vorgesehen. Der oberflächennahe Grundwasserleiter weist bei einem hydraulischen Gefälle von ca. einem Prozent eine Fließgeschwindigkeit von ca. drei Meter/Tag auf und ist ungespannt. Der tiefere Grundwasserleiter im Muschelkalk ist gespannt und weist einen Druckwasserspiegel von ca. 83 Meter ab GOK auf. In Bezug auf die Thermal Response Tests konnte durch nachgelagerte Temperaturlogs kein Einfluss des Grundwassers auf die Erdsonden nachgewiesen werden. Dies ist für den quartären Grundwasserleiter sicherlich durch die geringe wassererfüllte Mächtigkeit zu erklären; in Bezug auf den Hauptmuschelkalk vermutlich durch einen sehr geringen Gradienten und damit niedriger Fließgeschwindigkeit.

Während der gesamten Bohrkampagne wurden auf Veranlassung des Bauherrn zur Beweissicherung anhand von zwei sechs Meter tiefen Zwei-Zoll-Pegeln im oberen Zustrom- und unteren Abstrombereich die Wasserstandsschwankungen im quartären Grundwasserleiter überwacht und auch im Hinblick auf die punktuell erforderliche Baugrubenwasserhaltung dokumentiert.

Schweizer (Ingenieurpartnerschaft Neumann + Schweizer) durchgeführt. Die Proben wurden zur lithostratigraphischen Bearbeitung an das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) übergeben. Nach Aufbereitung und mikroskopischer Untersuchung durch das LGRB konnte als

wesentliches Ergebnis das bereits im Feldeinsatz festgestellte Fehlen von Gips- und damit indirekt von Anhydrit-Lagern bestätigt werden. Dieses hatte in der rund 20 Kilometer weiter südlich gelegenen Stadt Staufen vermutlich zu den aktuell vorherrschenden Problemen geführt.

Zu Beginn der Bohrarbeiten wurden mehrere Exzentrersysteme getestet, um den optimalen Bohrmeißel für die komplexe Geologie zu finden. Es galt, den klüftigen, stellenweise kavernen Kalkstein zu durchbohren und zu verrohren. Nach wenigen Bohrungen fand man den für diese Aufgabenstellung



Ingenieurpartnerschaft
Neumann + Schweizer

Sasbacher Str. 7 · 79111 Freiburg · Tel. 0761 / 45 62 769 · Fax: 0761 / 45 36 99 36
Sonnhalde 21 · 79859 Schluchsee · Tel. 07656 / 988 76 73 · Fax: 07656 / 988 76 77
Internet: www.neumann-schweizer.de · E-Mail: info@neumann-schweizer.de

- Altlasten und Flächenrecycling
- Gebäudeschadstoffe
- Baugrund
- Geothermie
- Wasserwirtschaft
- Hydrogeologie

idealen Exzentermeißel, welcher im Anschluss über die komplette Bauphase erfolgreich zum Einsatz kam (Abb. 4). Die Bohrarbeiten begannen Ende November 2008 und wurden termingerecht Mitte April 2009 fertiggestellt. Der zeitweise vorherrschende Frost (Minustemperaturen von unter -5°C) sowie die geologischen und bohrtechnischen Rahmenbedingungen forderten das beteiligte Personal und die eingesetzten Maschinen bis aufs Äußerste. Insgesamt wurden 108 Bohrungen mit einer Gesamttiefe von 11.990 Metern abgeteuft. Trotz der schwierigen Baustellenbedingungen lag die Maschinenverfügbarkeit bei nahezu 100 Prozent, ein Beleg für die hohe Zuverlässigkeit der beiden Bohrgeräte. Lediglich eine einwöchige Bohrunterbrechung musste eingelegt werden, in der die Versorgungsrampe innerhalb der Baugrube verlegt wurde. Der vom Bauherrn gesetzte Endtermin konnte eingehalten werden.

Im Anschluss an die Abnahme der Bohrungen begann der nächste Arbeitsschritt – die horizontale Anbindung der insgesamt 108 Erdwärmesonden. Die jeweils zwei Vor- und Rückläufe der Doppel-U-Sonden (Dimension 32 x 2,9 mm) wurden mittels Y-Stücken zu einem Vorlauf und einem Rücklauf zusammengefasst. Hierbei wurden ca. 4.500 Meter PE100-Leitungen (Dimension 40x3,7 mm) auf sieben Sammler mit vier bis 22 Solekreisen geführt, um die vom Erdreich zur Verfügung gestellte Energie auf die zwei Gebäude des Gesamtkomplexes zu verteilen.

Zusammenfassung

Die frühzeitige, sorgfältige Planung und gute Zusammenarbeit der beteiligten Fachleute aus den Bereichen Haustechnik, Geologie und Bohrtechnik ermöglichte eine reibungslose Projektausführung. Das Projekt zeigt damit



Abb. 4 Exzentermeißel, der bei den Arbeiten in Freiburg erfolgreich zum Einsatz kam.

das große Potenzial der oberflächennahen Geothermie als zukunftsweisende und nachhaltige Technologie auf, gerade auch vor dem Hintergrund der

sich weltweit verknappenden fossilen Energieressourcen.

Abbildungen: Herrenknecht AG

Autoren:

Dipl.-Geol. Christian Fleissner
Herrenknecht AG

Schlehenweg 2
77963 Schwanau-Allmannsweiler
Tel.: 07824 302-7859
Fax: 07824 302-7888

E-Mail:
fleissner.christian@herrenknecht.de
Internet: www.herrenknecht.de

Dipl.-Geol. Wolfgang Fechner
drillexpert GmbH
Siemensstr. 9
79331 Teningen-Nimburg
Tel.: 07663 60388-0
Fax: 07663 60388-22

E-Mail: wolfgang.fechner@drillexpert.de
Internet: www.drillexpert.de

Dr. rer. nat. Thomas Schweizer
Ingenieurpartnerschaft
Neumann + Schweizer
Sasbacher Str. 7
79111 Freiburg
Tel.: 0761 4562772
Fax: 0761 45369936

E-Mail:
thomas.schweizer@neumann-schweizer.de
Internet: www.neumann-schweizer.de

Walter Zielinski, Versorgungstechnik
Planungs-Gruppe Technik
Werthmannstr. 15
79098 Freiburg
Tel.: 0761 29639-64
Fax: 0761 29639-89

E-Mail: zielinski@pgt-info.com
Internet: www.pgt-info.com



drillexpert GmbH
Siemensstrasse 9
79331 Teningen-Nimburg
Tel: +49 (0) 7663 60388-0
Fax: +49 (0) 7663 60388-22
info@drillexpert.de

Brunnenbau – Anschlussbohrungen – Erdwärme
Zertifiziert nach DVGW-Arbeitsblatt W120
B1, B4, A3, S1, G1