

Regenerative Energienutzung Erdwärmennutzung und Ausführung auf einer U-Bahn-Baustelle in Wien

Energiepfähle ■ Die regenerative Energienutzung rückt bei Neubauten zunehmend in den Vordergrund. Die Nutzung der oberflächennahen Erdwärme als Teil der Geothermie ist eine Möglichkeit, bei der die Betonbauteile der Gründung zusätzlich als Wärmetauscher dienen. In diesem Zusammenhang fällt häufig das Schlagwort Energiepfähle. Bei der Verlängerung der U-Bahnlinie U 2 in Wien werden derzeit Verbauwände aus Bohrpfehlwänden und Bodenplatten als Wärmetauscher ausgebildet.

Grundsätzlich können Pfähle für die Gründung von Bauwerken und auch Verbauwandpfähle bei aufgelösten oder überschnittenen Bohrpfehlwänden als Energiepfähle ausgebildet werden. Entsprechend ist es auch möglich, zusätzlich zur statischen Funktion Schlitzwände als Wärmetauscher heranzuziehen.

Erdwärmeanlagen dienen der Nutzung der im Boden gespeicherten Wärmeenergie. Zur Gewinnung werden Rohrleitungen aus PVC in die erdberührten Bauteile des Bauwerkes eingebaut. Diese so genannten „Energierohre“ werden an den Bewehrungskörben der Pfähle oder Schlitzwände fixiert und unterhalb der Bodenplatten auf Montagebehelfen verlegt. Die Leitungen führen abschnittsweise zu Verteilern. Je nach hydrogeologischen Verhältnissen wird der Bodenkörper unter und um das Bauwerk entweder als Wärme- und Kältespeicher (saisonaler Erdwärmespeicher) oder als konstante Temperaturquelle genutzt, abhängig von den Strömungsverhältnissen des Grundwassers als Transportmedium für Wärme. In den Leitungen zirkuliert ein Wärmeträ-

ger – meist Wasser – welcher dem Boden Wärmeenergie zuführt oder entzieht. Diese Energie wird mittels Wärmepumpe oder Kältemaschine für Stations-Klimatisationszwecke genutzt. So kann den saisonal unterschiedlichen Anforderungen (Heizen/Kühlen) über eine im Untergrund ausgeglichene Energiebilanz Rechnung getragen werden. Bei der Verlängerung der U-Bahn-

linie U 2 in Wien werden derzeit Verbauwände aus Bohrpfehlwänden und Bodenplatten als Wärmetauscher ausgebildet. Die Nutzung der Erdwärme in Ingenieurbauwerken ist bislang wenig verbreitet. Im nachfolgenden Beitrag werden das Konzept und konstruktive Details der Ausführung im Spezialtiefbau an dem Beispiel des U-Bahnbaus erläutert.



Abb. 1 ■ Luftaufnahme der Baustelle U 2/1 „Schottenring“ mit der Kaiserbadschleuse.

Das Konzept der Erdwärmenutzung der U 2 in Wien

Bei der Planung der Verlängerung der U-Bahn Linie 2 in Wien hat der Bauherr Wiener Linien GmbH das Konzept der Erdwärmenutzung vorgesehen und entsprechend in die Ausschreibung aufgenommen: Die Betriebsräume einer U-Bahn-Station, wie etwa Stationsüberwachung, Trafo- und Schalträume, Lagerräume, Geschäftsflächen etc. sind aktiv zu klimatisieren, da eine natürliche Belüftung technisch kaum möglich ist. Bei den bisherigen Stationen der Wiener U-Bahn wird der Heizbedarf üblicherweise durch einen Fernwärmeanschluss oder durch elektrische Beheizung, der Kühlbedarf durch herkömmliche Kältemaschinen, die die Abwärme an die Außenluft abgeben, gedeckt. Dadurch sind oftmals große Lüftungsbauwerke erforderlich, um den notwendigen Wärmetausch zu garantieren. Des Weiteren arbeiten die Kältemaschinen im Spitzenlastbetrieb durch die hohen Außenlufttemperaturen in einem ungünstigen Wirkungsgradbereich. Die elektrische Wärmeerzeugung bei Stationen, die nicht über Fernwärme versorgt werden können, ist darüber hinaus wenig primärenergieschonend.

Durch diese Anwendung der Erdwärmenutzung lassen sich relativ niedrige Betriebskosten erreichen, da die Wärmepumpen und Kältemaschinen in einem günstigen Wirkungsgradbereich arbeiten können (hohe Leistungszahlen). Darüber hinaus trägt die Geothermie als regenerative Energiequelle zur Einsparung von Primärenergie bei, da sie die quasi gratis zur Verfügung stehende Ab- und Umgebungswärme des im Erdreich eingebetteten Bauwerks als Energiequelle heranzieht. Der Einsatz dieser Energiequelle kann daher mit helfen, den Ausstoß an Treibhausgasen signifikant zu verringern und die Klimaschutzziele der Stadt Wien und der Republik Österreich (Kioto-Protokoll) zu erreichen.

Das Baulos U 2/1 „Schottenring“

Die ARGE U 2/1 „Schottenring“ führt im Auftrag der Wiener Linien GmbH & Co KG, Abteilung Neubau U-Bahn Planung, die Baumeisterarbeiten für das Baulos U 2/1 Schottenring aus. Die Trasse des Bauloses U 2/1 erstreckt sich

von der bestehenden U-2-Station Schottentor entlang der Maria-Theresien-Straße und schwenkt dann in einer S-Linie zur Station Schottenring ab. Der bestehende U-2-Tunnel unter der Maria-Theresien-Straße muss für den seitlichen Absprung der neuen Trasse in offener Bauweise erweitert und eingetieft werden. Die Röhren der beiden ca. 700 m langen Streckengleise unterqueren den Schottenring, den Ringturm, den Franz-Josefs-Kai, die Gleise der U 4 und werden mittels der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode (NÖT) aufgeföhrt. Die Herstellung der Stationsröhren für die schräg unter dem Donaukanal zu liegen kommende neue U 2-Station Schottenring erfolgt im Schutze eines Vereisungsringes ebenfalls mittels der NÖT. Auf Seite des ersten Bezirkes gelangt man durch einen zwischen den Stationsröhren gelegenen Zugangstunnel über einen mittels Fahrtreppen und Lift ausgestatteten Schacht an die Oberfläche bzw. auf den U 4-Bahnsteig. Auf Seite des zweiten Bezirkes erfolgt der Zugang entweder direkt vom Vorkai aus über einen Gang oder über einen im Haus Obere Donaustraße Nr. 61 liegenden Eingang. Die Obere Donaustrasse stellt auch die Baulosgrenze zum Bauabschnitt U 2/2 dar (Abb. 1).

Nachfolgend wird über die Ausführungen der Erdwärmenutzung auf der Baustelle U 2/1 berichtet. Das Prinzip der Erdwärmenutzung durch erdberührte Betonbauteile, insbesondere der Energiepfähle, das Konzept der Planung sowie die erwartete Energiebilanz ist Gegenstand weiterer Ausarbeitungen, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Bis Oktober 2003 wurden alle Energiepfähle des Bauloses U 2/1 hergestellt. Folgend wird die Verlegung der Energieröhre unter den Bodenplatten, der horizontale Anschluss der Energiepfähle unterhalb der Bodenplatte und die wasserdichte Durchdringung der Bodenplatte zur weiteren Verlegung der Sammelleitungen in die Energiezentrale.

Bauteile für die Erdwärmenutzung

Folgende Bauteile werden beim Bauvorhaben U 2/1 „Schottenring“ zur späteren Erdwärmenutzung verwendet:

Bauteil T: Schacht in offener Bauweise, 2. Bezirk – Bereich Vorkai

Als Bauweise für den Schacht T kamen aufgelöste Großbohrpfähle DN 1200 mit einer Länge von im Mittel: 33,0 m und einer Zwickelabdichtung im Bereich der quartären Sande und Kiese mit dem Düsenstrahlverfahren (DSV) zur Ausführung. Nach Herstellung der obersten Decke wird der Schacht im Schutze von zwei Aussteifungshorizonten ausgehoben und die Bodenplatte betoniert. Die Herstellung der Innenschale erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt. Von den 89 Großbohrpfählen wurden 14 Bohrpfähle als Energiepfähle ausgeführt. Des Weiteren wird die Bodenplatte des Schachtes durch Belegung mit Energieröhren zur Energienutzung herangezogen.

Bauteil A: Schacht in offener Bauweise, 1. Bezirk – Bereich Schleusenkammer

Als Bauweise für den unter der ehemaligen Schleusenkammer der unter Denkmalschutz stehenden Kaiserbadschleuse situierten Schacht A wird eine Schlitzwand mit $d = 100$ cm ausgeführt. Im Fall des Schacht A wird nur die Bodenplatte mit Energieröhren belegt. Der Schacht A dient im Bauzustand als Hauptvortriebsschacht, da von diesem ▶

Sondier- spitzen

- DPH (SRS 15)



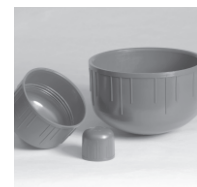
Verschluss- kappen

- Material PA 6
- versch. Größen
- 2" – 6"



Boden- kappen

- von DN 50 – DN 200
- Material PP



Michael Colshorn
Kirchstrasse 5
D 73240 Wendlingen

Telefon:
07024/929242
Telefax:
07024/929244

www.m-colshorn.de



Tabelle 1 ■ Absorberbelegte Flächen U 2/1 „Schottenring“.

Bauteil	Fläche [m ²]
Bodenplatten Schächte „A“ und „T“	ca. 1.447
Bohrpfahlwand Schacht „T“	ca. 1.116
Gesamtfläche:	ca. 2.563

aus die zwei Streckenröhrenvortriebe Richtung Maria-Theresien-Straße und die zwei Vereisungsstrecken der beiden Stationsröhren unter dem Donaukanal, insgesamt also vier Vortriebe, sowie die Innenschalenherstellung erfolgen muss (Tabelle 1).

Herstellung der Energiepfähle (Bauteil T)

Die 89 Pfähle Ø 1200 wurden voll verrohrt im Greiferbohrverfahren hergestellt. Dies gilt auch für die 14 Energiepfähle. Die Pfahlänge betrug 32,25 m, der Pfahlabstand 30 cm. Alle Pfähle sind bewehrt. Die Energierohre in den Pfählen wurden als Schlaufen verlegt, die sich über einen Radius von 360° des Pfahlumfanges verteilen. Eine Verankerung der Zwischendecken aus der Deckelbauweise in den Energiepfählen ist nicht möglich, da eine Verletzung der

Geologie ab Pfahl-Oberkante: Anschüttung; Quartäre Sande und Kiese (bis ca. 10 m); Tone u. Schluffe (Wiener Tegel) in denen teilweise geringmächtige (0,5–1,5m) Sandschichten (stark schluffig, wasserführend) eingebettet sind. Als Geräte wurden 2 Hydroseilbagger vom Typ Liebherr HS 855 HD/ HS 853 HD und Verrohrungsmaschinen vom Fabrikat Leffer 1500 eingesetzt. Die Pfahlbewehrung wurde als fertiger Korb in 2 Schüssen auf die Baustelle geliefert. Die Bewehrungskörbe wurden auf der Baustelle mit den Energierohren aus HDPE 25 × 2,3 mm ausgestattet. Zu erwähnen ist, dass sämtliche Pfahlbewehrungskörbe Längsbewehrung bis DN 36 aufweisen. (Abb. 3).

Im Zuge der Verlegung und Befestigung der Absorberleitungen wurde auch ein Anschlusskasten montiert, der dazu

Kreisläufe dicht hinter der Bewehrung nicht auszuschließen wäre. Aus diesem Grunde liegt immer ein Pfahl ohne Energierohre zwischen zwei Energiepfählen (Abb. 2).

dient, die Energieleitungen im Bereich der Bodenplatte, nach Erreichen der Endtiefe des Aushubs für den Schacht, auszufädeln. In den meisten Fällen werden die Energierohre von Energiepfählen am Pfahlkopf ausgefädelt, so z. B. bei Gründungspfählen unter einer Bodenplatte. Der Anschlusskasten aus Stahlblech liegt in der Ebene der Längsbewehrung des Korbes und beinhaltet die Absperrorgane der Absorberkreisläufe und die Anschlüsse für die spätere horizontale Anbindung zur Energiezentrale. Je Korbhälfte wurde ein Kreislauf als Endlosschleife verlegt, so dass in dem Kasten jeweils eine Vor- und eine Rücklaufleitung von oben und von unten eingeführt wurden (Abb. 4). Da der Anschlusskasten nach dem Schachtaushub wieder freigelegt wird, ist dessen Deckel außerhalb der Bewehrungslagen aus massiven 20 mm starken Kunststoffplatten ausgeführt.

Nach dem Verlegen der Energierohre an der Bewehrung und vor der Montage des Deckels wurde gemeinsam mit der örtlichen Bauaufsicht die Druckprüfung mit Luft bei ca. 7 bar Druck durchgeführt. Die Leitungslänge je Pfahl beträgt ca. 280 m, aufgeteilt auf zwei Kreisläufe.

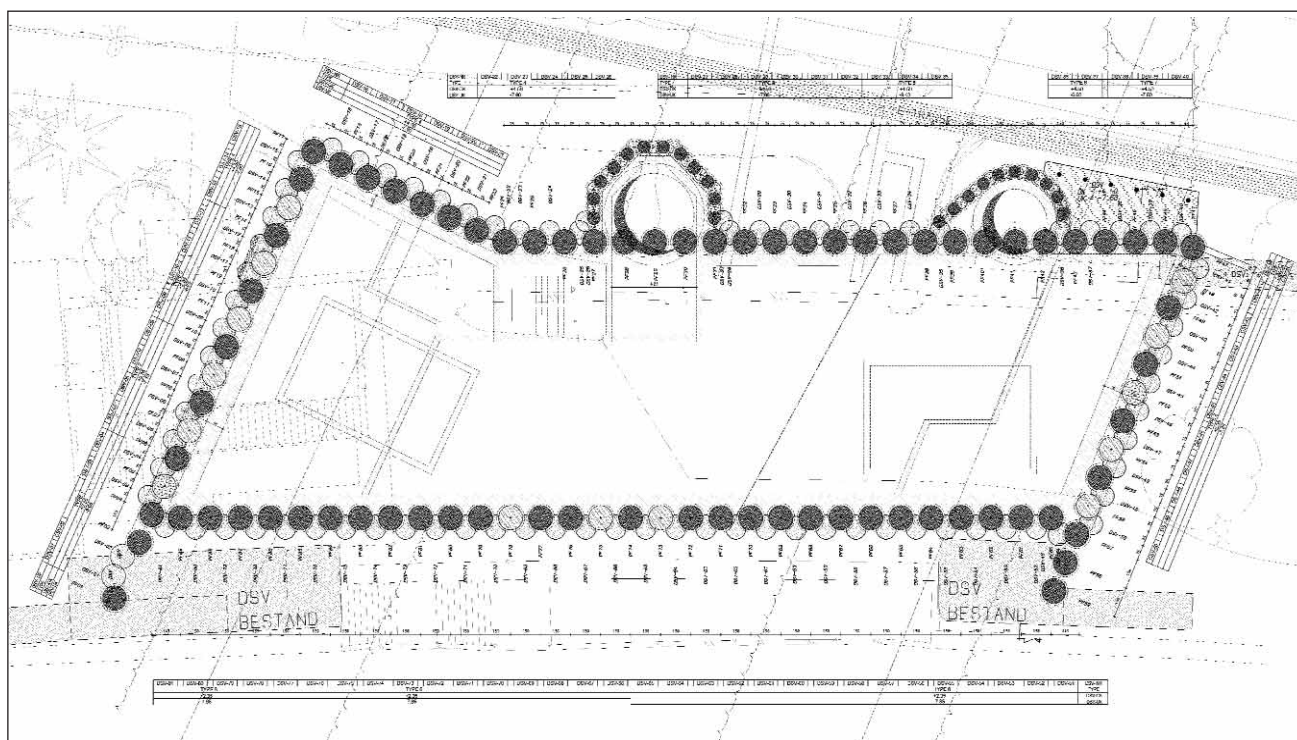


Abb. 2 ■ Lage der Energiepfähle im Grundriss des Bauteils T der Baustelle U 2/1 „Schottenring“ (14 Energiepfähle an der linken und rechten Stirnseite).



Abb. 3 ■ Blick in einen Bewehrungskorb für einen Energiepfahl \varnothing 1200.

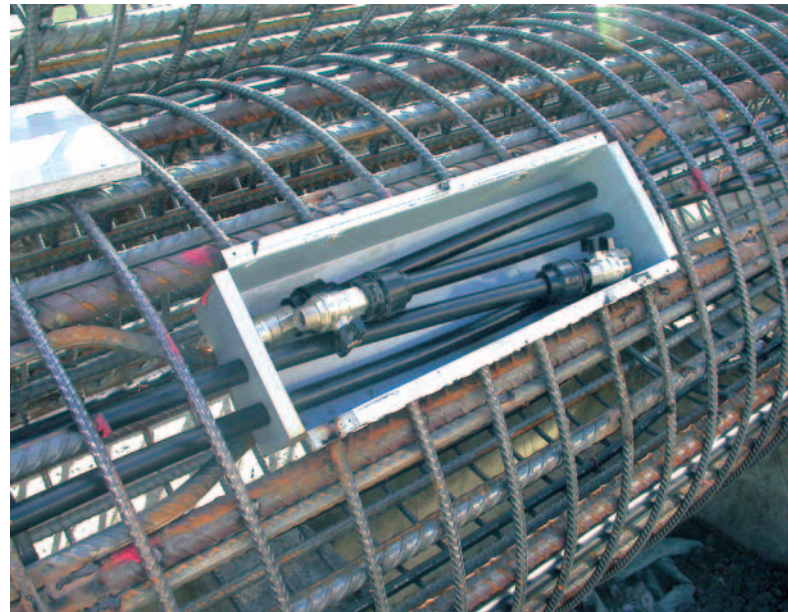


Abb. 4 ■ Anschlusskasten in einem Bewehrungskorb für einen Energiepfahl \varnothing 1200 (ohne Deckel).

Beim Einbau der mit Energierohren belegten Bewehrungskörbe ist Folgendes unbedingt zu beachten:

- Schutz vor mechanischer Beschädigung, insbesondere bei maschinell abgelängten und unabgegrateten Bewehrungsstäben
- Schutz vor thermischer Beschädigung (Bewehrungsschweißen)
- Lagerichtiges Einbauen der Bewehrungskörbe (Orientierung des Anschlusskastens)
- Vorsichtiges Aus- und Einbauen der Betonierrohre
- Schutz vor Verdrehung und Hebung des Korbes beim Betonieren und Rohrziehen
- Ausreichender Abstand der Absorberleitungen von der Bewehrung am Pfahlkopf und -fuß

Durch die 2-teiligen Bewehrungskörbe mussten die Vor- und Rücklaufleitung der oberen Korbhälfte zum Anschlusskasten in die untere geführt werden. Die Verbindung der Energierohre wurde mit Elektroschweißmuffen hergestellt (Abb. 5).

Als zusätzlich erschwerend kam hinzu, dass aufgrund der strengen Anforderung der Wiener Linien an die elektrische Durchverbindung ein System gefunden werden musste, das eine ausreichende elektrische Verbindung zwischen den beiden Korbhälften trotz der Erdwärmeleitungen gewährleistet. Die-

ses erforderte Schweißverbindungen der Anschlusseisen im Korbstoßbereich – ein Bereich, in dem aufgrund der Konfiguration der Energierohre nur zwei Leitungen geführt werden. Normalerweise werden die Korbhälften von Energiepfählen mit Seilklemmen verbunden und fixiert. Zum Schutz der HDPE-Energierohre wurden daher Schweißschutzmatten verwendet (Abb. 6).

Drei der 14 Energiepfähle wurden mit Temperaturfühlern (PT 100 Sensoren) ausgerüstet, um später als Messlot die Temperaturverteilung im Boden zu erfassen und die Erdwärmeanlage optimal zu steuern. Jedes Messlot besteht aus drei Temperaturfühlern. Die Leitungen der Messfühler werden mittels Schutzrohr vor mechanischen Beschädigungen geschützt. Eine besondere Herausforderung war das Zusammenführen der Messfühlerleitungen in den jeweiligen Anschlusskasten parallel mit dem Korbeinbau.

Die Herstellung von Energiepfählen ist nicht nur durch die zusätzlichen Aufwendungen für die Lieferung und den Einbau der Energierohre gekennzeichnet, sondern auch durch Erschwernisse und Stillstände bei der Herstellung der Pfähle. Dies sind insbesondere Vorkehrungen und Maßnahmen beim Einbauen und Betonieren der Körbe sowie der Druckprüfungen. Diese Erschwernisse-



Abb. 5 ■ Verbindung der Energierohre (Vor- und Rücklaufleitung) – Bewehrungskorb für einen Energiepfahl \varnothing 1200 (ohne Deckel).

se wurden korrekterweise durch die Wiener Linien in einer entsprechenden Position des Leistungsverzeichnisses der Ausschreibung als Zulage zur Pfahlerstellung abgefragt. Die Fa. Bilfinger Berger konnte hier auf entsprechende Erfahrungen aus anderen Projekten zurückgreifen (siehe Literaturverzeichnis) (Abb. 7).

Zum heutigen Zeitpunkt sind alle Pfähle des Stationsschachtes T hergestellt. Nach Erreichen der Endtiefe des Schachtes werden die Anschlusskästen



Abb. 6 ■ Verbindung der Bewehrungskorbhälften eines Energiepfahls \varnothing 1200 mit Schweißschutzmatten zum Schutz der HDPE-Rohre.

an den Energiepfählen lokalisiert und vorsichtig freigelegt. Nach einer erneuten Druck- und Durchgängigkeitsprüfung werden dann die Vor- und Rücklaufleitungen der Energiepfähle (je Pfahl vier HDPE-Rohre 25 mm) horizontal unter der Bodenplatte bis zu einem Durchdringungspunkt verlegt. Diese Durchdringung der gebündelten Leitungen werden dann zusammen mit den Leitungen der Energiekreisläufe der Bodenplatte druckwasserdicht in die Station geführt.

Herstellung der Bodenplatten mit Energierohren

Die Bodenplatte mit Energierohren wird in mehreren Abschnitten hergestellt. Als optimale Lösung hat sich die Verwendung von einer auf der ersten Sauberkeitsschicht befindlichen Baustahlgittermatte als Befestigungsmöglichkeit für die Energierohre ergeben, ähnlich der Befestigung der Energierohre am Bewehrungskorb der Pfähle. Als Energierohre werden ebenfalls HD-

PE Rohrleitungen DN 25 \times 2,3 mm verwendet. Jeder Abschnitt und Kreislauf wird einzeln druckgeprüft. Eine dauerhafte Kennzeichnung aller Leitungen ist unbedingt erforderlich. Ähnlich den Temperatursensoren in den Pfählen werden auch im Bereich der Bodenplatte Temperatursensoren eingebaut. Diese werden als Messlot in einem 5 m langen Rammhorn in den Boden eingebaut, wobei sich an der untersten Stelle sowie am Kopf des Rammhorns jeweils ein Temperaturfühler PT 100 befindet. Die Messkabel werden in einem

Leerrohr bestehend aus einem HDPE-Rohr 25 mm über die Durchführungskästen mit der Energiezentrale verbunden. Nach dem Verlegen aller Energierohre in den verschiedenen Abschnitten unter der Bodenplatte wird eine zweite Sauberkeitsschicht zum Schutz der Rohre aufgebracht. Ab diesem Zeitpunkt sind keine Reparaturen mehr an den Energiekreisläufen möglich. Der Druck in den Leitungen beträgt dann 2 bar, wenn die Arbeiten der Bodenplatte ausgeführt werden. Von den Anschlusskästen der Energiepfähle und der Energierohre unter der Bodenplatte werden die Energierohre bis zu den Durchdringungspunkten der Bodenplatte geführt. Oberhalb dieser

druckwasserdichten Durchdringungen werden Sammler und Verteiler angeordnet. Diese Sammelleitungen werden später mit großen Rohrleitungen in die Energiezentrale der Station geführt und dort an die Haustechnik angeschlossen.

Tabelle 2 ■ Leistungen bzw. Energiemengen der Erdwärmearanlage U 2/1 „Schottenring“.

Erdwärmezentrale Schottenring (Bauteil „A“)	
Max. Heizleistung	19,1 kW
Max. Kühlleistung	8,0 kW
Durchschnittliche jährliche Heizenergie	32,9 MWh
Durchschnittliche jährliche Kühlenergie	44,9 MWh
Erdwärmezentrale Schottenring (Bauteil „T“)	
Max. Heizleistung	65,9 kW
Max. Kühlleistung	14,4 kW
Durchschnittliche jährliche Heizenergie	138,3 MWh
Durchschnittliche jährliche Kühlenergie	74,8 MWh



Abb. 7 ■ Lagegenauer Einbau eines Bewehrungskorbes mit Ausrichtung des Anschlusskastens für einen Energiepfahl \varnothing 1200.

druckwasserdichten Durchdringungen werden Sammler und Verteiler angeordnet. Diese Sammelleitungen werden später mit großen Rohrleitungen in die Energiezentrale der Station geführt und dort an die Haustechnik angeschlossen.

Durchführungskästen durch Bodenplatte

Aufgrund der Erfahrungen bei anderen Bauvorhaben hat die Arbeitsgemeinschaft U 2/1 „Schottenring“ eine Änderung in der Ausführung der Bodenplattendurchführung vorgeschlagen. Diese Durchführungsart hat den Vorteil, dass bei einer eventuellen Undichtigkeit der Durchführung eine zweite Nachver-

pressmöglichkeit geschaffen wurde. Die Durchführungskästen sind aufgeständerte Lochblechplatten mit so genannten Injektionsmatten. Über diese Injektionsmatten wird nach dem Betonieren der Bodenplatte ein quellfähiges und nachverpressbares Injektionsgut aus zwei Komponenten über die gesamte Fläche des Durchführungskastens injiziert, welches den Ringraum rund um die einzelnen Rohre dauerhaft abdichtet. Die Änderung wurde mit dem Auftraggeber (Wiener Linien) und dem Planer für Erdwärme (IC-Consultanten) diskutiert und in die Ausführungsplanung übernommen.

Befüllen der Anlage


Nach Fertigstellung des Absorbersystems und Anschluss der Verteiler und Sammler ist eine abschließende Prüfung der Dichtheit aller Energiekreise mittels Druckluft durchzuführen. Anschließend wird das gesamte System mit Wasser gespült und entlüftet. Um ein Einfrieren der Leitungen in den weiteren Bauphasen zu vermeiden, verbleibt ein Wasser-Frostschutz-Gemisch im System.

Abschluss

Die Geräte- und Steuerungstechnik der Erdwärmeanlage U 2/1 wird durch die Wiener Linien gesondert beauftragt und ist daher nicht Teil dieses Vortrages über die bautechnischen Belange der Erdwärmenutzung am Bauabschnitt U 2/1 „Schottenring“.

Als Ausblick auf die folgenden Beiträge gibt **Tabelle 2** einen Überblick über die Leistungen der Erdwärmeanlage U 2/1, entnommen der Ausschreibung U 2/1 – Technischer Bericht.

Der nachhaltige Umgang mit Energieressourcen rückt zunehmend in den Vordergrund der Kalkulation. Den Wiener Linien sei an dieser Stelle gedankt für die gründliche Planung und Ausschreibung des Gewerkes der Erdwärmenutzung. Die ARGE U 2/1 „Schottenring“ ist bestrebt, diese innovative Technologie durch ganzheitliches Projektmanagement seitens des Ausführenden zu fördern und konstruktive Details aus positiven Erfahrungen anderer Bauvorhaben einzubringen. Fortschritt hat seinen Preis, und es gibt heutzutage nur wenige Projekte, bei de-

nen sich die Bauherrschaft nicht dem allgemeinen Kostendruck unterwirft. 

Alle Abbildungen:

BILFINGER BERGER AG, Frankfurt/Main und
Bilfinger Berger BauGes. m.b.H., Wien

Literatur

HADORN, J. C. (1989): Wegleitung zur saisonalen Wärmespeicherung. – Verlag SIA, Dokumentation DO 28d, Zürich.

HELLSTRÖM, G. (1991): Ground Heat Storage. – Dep. Of Mathematical Physics, University of Lund, Sweden.

HORNUNG, B. (1999): Gallileo – ein Hochhaus für die Dresdner Bank. Eigenverlag der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Statik, Bericht Nr. 16 zum Darmstädter Statik-Seminar „Hochhäuser“; 1999 (ISSN 1433 – 7789)

KAPP, C. (1994): Untiefe geothermische Energieressourcen: Theorie und praktische Anwendungen. – Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Nr. 87.

KATZENBACH, R.; KINZEL, J.; EL-MOSSALAMY, Y; VON DER HUDE, N. (2001): Besondere Aspekte bei der Gründung des Hochhauses Gallileo in Frankfurt am Main, Vorträge zum 8. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium am 15. März 2001, in: Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft 55, 2001, S. 3–20

VON DER HUDE, N., KAPP, C. (1998): Einsatz von Energiepfählen am Beispiel des Main-Tower in Frankfurt am Main, Vorträge zum 5. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium am 19. März 1998, S. 15–28

VON DER HUDE, N.; KAPP, C.: Energiepfähle für Hochhäuser in Frankfurt am Main – Ausführungsbeispiele aus der Sicht einer Spezialtiefbaufirma, Vorträge zur 12. Fachtagung der Schweizerischen Vereinigung für Geothermie am 20. April 2001 in Bern (Separatdruck 14 S.)

VON DER HUDE, N.; KAPP, C.: Energiepfähle für Hochhäuser in Frankfurt am Main – Ausführungsbeispiele – Ergebnisse und Messwerte aus Schweizer Energiepfählanlagen – Hagener Bauseminar über Erneuerbare Energien in der Gebäudetechnik mit Energieeinsparverordnung EnEV 2002 am 26. und 27. Februar 2002, Veranstaltet von der Fachhochschule Bochum und den Verein Deutscher Ingenieure Lenne. Band 2 Erneuerbare Energien in Großbauten, Reihenhäusern und Siedlungen, 9,1–17

STAHLMANN, J.; EL-MOSSALAMY, Y.; LEINENBACH, J. (2001): Die Gründung des Hochhauses Gallileo – innovative wirtschaftliche Lösung oder ingenieurwissenschaftliche Spielerei, Braunschweiger Pfahl-Symposium 2001; Mitteilungen des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik Heft Nr. 65, 2001, S. 103–119

FROMENTIN, A.; PAHUD, D.; JAQUIER, C.; MORATH, M. (1997): Recommandations pour la réalisation d'installations avec pieux échangeurs, Programme de recherche géothermie : Bundesamt für Energiewirtschaft, Rapport final no 120.104, Lausanne Décembre 1997

LALOUI, L.; MORENI, M.; FROMENTIN, A.; PAHUD, D.; STEINMANN, G. (2000): Heat exchanger pile: effect of the thermal solicitations on its mechanical properties, Communication des laboratoires de mécanique des sols et des roches No 202, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne 2000, S. 331–339

Kontakt



Dr.-Ing. Nico von der Hude
BILFINGER BERGER AG
Niederlassung Spezialtiefbau
Goldsteinstraße 114
D-60528 Frankfurt/Main
Tel.: 069 6688-227
Fax: 069 6688-360
E-Mail: nvdh@bilfinger.de
Internet: www.bilfingerberger.de

Reinhold Völkner
Bilfinger Berger BauGes. M.b.H.
Ingenieurbau
Diefenbachgasse 5
A-1150 Wien
Tel.: 0043 1 899370
Fax: 0043 1 89937118

E-Mail: r.voelkner@bilfingerberger.at
Internet: www.bilfingerberger.de