

Anspruchsvolle Brunnenbauarbeiten bei der Unterquerung des Main-Donau-Kanals in Nürnberg für den Neubau einer U-Bahn

Für die Main-Donau-Kanal-Unterquerung der U-Bahn Linie U3 Südwest BA 2.2 wird eine geschlossene Wasserhaltung mit vier Stück Tiefbrunnen mit Enddurchmesser 800 mm zur Verringerung der Nachbruchgefahr im Tunnelvortrieb durch den vorhandenen Wasserdruck geplant. Östlich und westlich des Kanals wurden jeweils zwei Brunnen mit 40 bis 60 m Tiefe zur Grundwasserabsenkung hergestellt. Für den sicheren Betrieb der geschlossenen Wasserhaltung wurde ein entsprechendes Konzept aufgestellt.



Einführung, Beschreibung der Maßnahme

In der Region Nürnberg leben etwa 3,5 Mio. Menschen, wobei Nürnberg selbst seit 2010 um ca. 40.000 Einwohner gewachsen ist. Um dem kontinuierlichen Bevölkerungswachstum Rechnung zu tragen, wird neben der Schaffung von neuem Wohnraum auch die Entwicklung des Nahverkehrs vorangetrieben – mit der U-Bahn als Rückgrat des Verkehrsnetzes (Abb. 2). In Nürnberg wird daher seit über 50 Jahren der U-Bahnbau ständig weiterentwickelt. Inzwischen beträgt die Streckenlänge der U-Bahn 42 km mit 49 Bahnhöfen. Und täglich nutzen über 400.000 Menschen diese Verkehrswege.

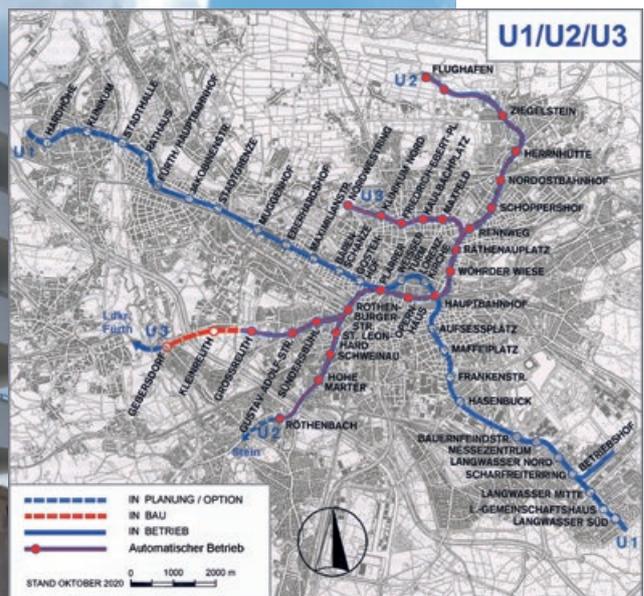
Die Linie U3 führt vom Nordosten bis in den Südwesten der Stadt. Im Jahre 2020 wurde der aktuell letzte Bauabschnitt 2.1. Südwest: U-Bahnhof Großreuth bei Schweinau eröffnet. Derzeit ist der Abschnitt 2.2. Kleinreuth bis Gebersdorf im Bau und soll 2025 eröffnet werden. Die Gesamtlänge dieses Abschnittes beträgt ca. 2,1 km. Perspektivisch ist die weitere Planung bis in das Stadtgebiet Fürth möglich.

Am Tiefpunkt der Strecke unterquert der bergmännisch aufgefahrene Tunnel den Main-Donau-Kanal. Dieser ist zwar wirksam abgedichtet, jedoch ist der Wasserdruck hier aufgrund der Tiefenlage am größten. Der bergmännische Vortrieb erfolgt mit

einer maschinellen Tunnelfräse und nachfolgender Spritzbetonsicherung. Der Abstand zwischen Sohle des Kanals und Firste des Tunnels beträgt ca. 9,0 m. Der Vortrieb erfolgt mit wenig vorseilender Kalotte. Damit der Spritzbeton auf den freigelegten Fels aufgebracht werden kann, muss der Restwasserzutritt mini-

» Die Anlage wurde so dimensioniert, dass eine ständige Redundanz besteht. Im Falle eines Pumpenausfalles können die verbliebenen Brunnen die Gesamtfördermenge realisieren und so eine Havarie verhindern. «

miert werden. Um die Nachbruchgefahr des Gebirges beim Vortrieb zu verringern, wurde eine Tiefbrunnenanlage geplant, die den Wasserdruck im Gebirge so weit absenkt, dass das Risiko für den Vortrieb und die Bergleute minimiert wird.



U-Bahnbaust Nürnberg

Abb. 2 – Übersicht der U-Bahnstrecken in Nürnberg

Abb. 1 – Brunnenbohrung am Main-Donau-Kanal

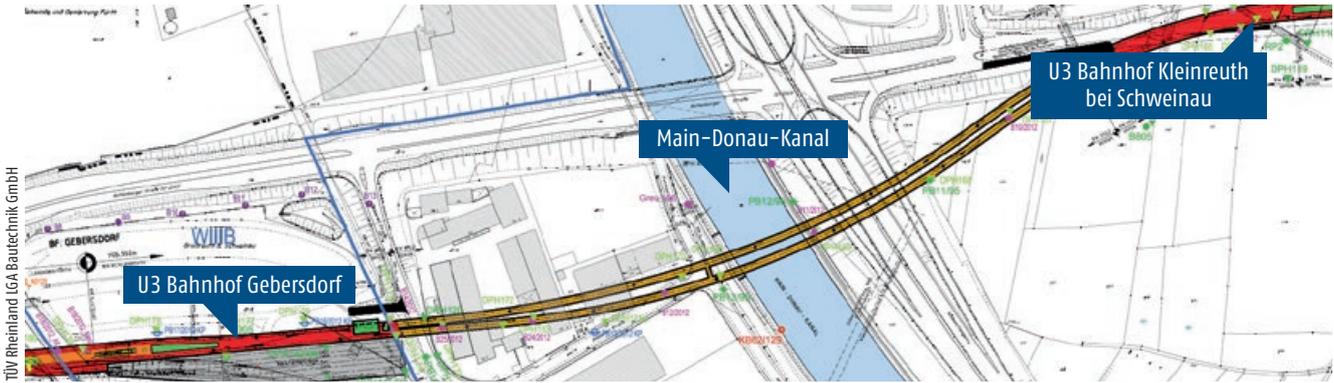


Abb. 3 – Lageplan der U-Bahnstrecke

Bauherr des Projekts (Abb. 3) ist die Stadt Nürnberg mit dem U-Bahnbauamt. Die geotechnische Begutachtung und Baubegleitung erfolgt durch die TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH, Nürnberg. Den Auftrag für den Bau erhielt die ARGE U-Bahn Nürnberg U3 Südwest BA 2.2, bestehend aus den Firmen HOCHTIEF Infrastructure GmbH und Max Bögl. Als deren Partner errichtet

die Brunnenbau Conrad GmbH, Bad Langensalza die komplette Brunnenanlage und übernimmt den Wasserhaltungsbetrieb. Die Ausführungsplanung der Tiefbrunnenanlage sowie die Ausarbeitungen für den Wasserrechtsantrag wurden durch die WhC Wasserhaltung Consult GmbH, Mühlhausen erstellt.

Geologie und Hydrologie

Der Baugrund besteht im oberen Bereich aus Auffüllung sowie quartären Sanden und Kiesen. Darunter folgt eine sandig-bindige Verwitterungszone als Übergang zum Festgestein. Das Festgestein des Keupers ist im Baubereich in zwei Schichten unterteilt, dem Blasensandstein und den Lehrbergschichten. Im Liegenden folgt als Grundwasserstauer in ca. 40 bis 60 m Tiefe die Estherienschiefer, welche mit den Brunnen nicht durchstoßen werden dürfen.

Gemäß Baugrundgutachten der TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH ist der oberflächennahe Grundwasserkörper in zwei zusammenhängende Grundwasserstockwerke Ia (im Quartär) und Ib (Keuperfels) unterteilt. Für die Grundwasserabsenkung ist vor allem die Schicht Nr.4, Zone K2 Keuperfels (Lehrbergschichten und Schilfsandstein) relevant. In dieser Schicht werden die Brunnen verfiltert. Alle anderen Schichten werden im Brunnen mit einem Vollrohr abgesperrt. Der Keuperfels, bestehend aus einer Sandstein-/Tonstein-Wechsellagerung, ist ein Kluftgrundwasserleiter. Die Grundwasserbewegungen finden in den hydraulisch zusammenhängenden Klüften, Spalten und Rissen des Keupersandstein statt.

Die Grundwasserabsenkung wird ausschließlich in den tieferen Schichten des Keuperfeldes ausgeführt. Ein unmittelbarer hydraulischer Zusammenhang mit dem oberen Grundwasser im Quartär besteht aufgrund der gegebenen geologischen Verhältnisse nicht. Das oberflächennahe Grundwasser wird eher verzögert und gedämpft auf die tiefere Entnahme reagieren. Ein Trockenfallen der Vegetation oder eine andere umweltrechtliche Beeinträchtigung Dritter ist daher nicht zu befürchten.

Die mittleren Wasserstände liegen zwischen 300 und 301 mNN. Der Bemessungswasserstand liegt im Bereich Main-Donau-Kanal-Querung bei 301,5 mNN. Die Grundwasserfließrichtung ist nach West in Richtung Rednitz orientiert. Die Ergebnisse von hydraulischen Bohrlochversuchen zeigen ein relativ breites Spektrum der Gebirgsdurchlässigkeiten. Dies ist für den angebotenen Kluftgrundwasserleiter charakteristisch, da die Wasserwegsamkeiten vor allem an das vorhandene Kluftnetz gebunden sind. Für geohydraulische Berechnungen wird die horizontale Durchlässigkeit für die Lehrbergschichten im Mittel zu $k = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ abgeschätzt. Aufgrund des Trennflächengefüges ist die vertikale Durchlässigkeit um eine Zehnerpotenz geringer.

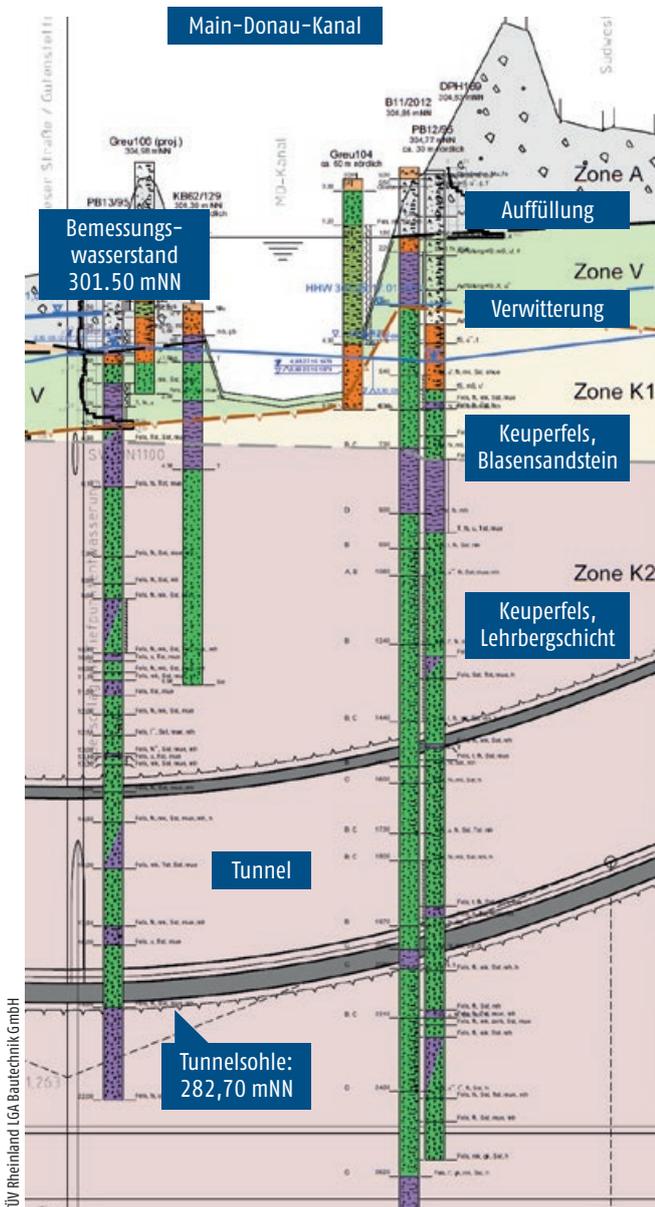
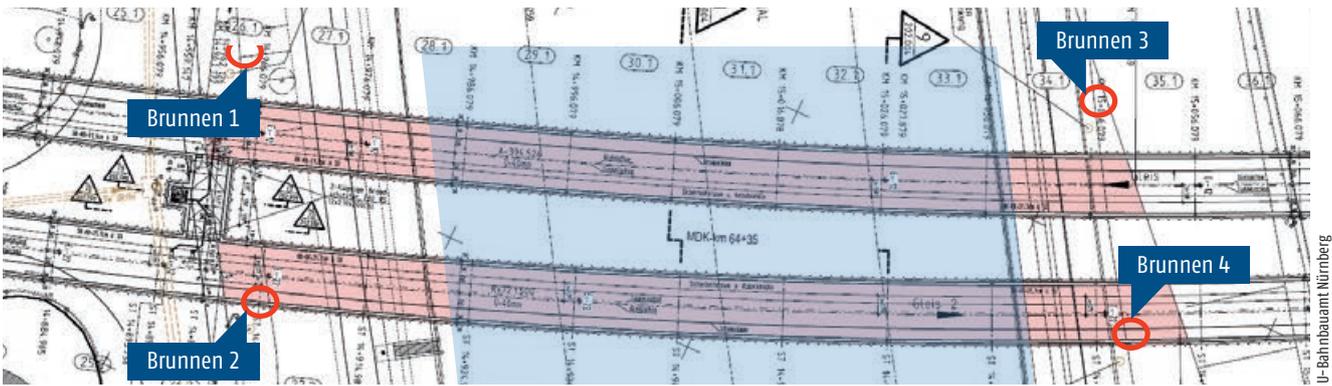


Abb. 4 – Baugrund mit Darstellung Tiefenlage des Tunnels



Ur-Bahnbaumeister Nürnberg

Abb. 5 – Lage der Brunnen im Grundriss und Schnitt

Für die Brunnenanströmung ist der horizontale Anteil der Durchlässigkeit bestimmend.

Planung der Tiefbrunnenanlage

Die Tunnelsohle liegt an der tiefsten Stelle der Main-Donau-Kanal-Unterquerung ca. 17 bis 19 m unter dem Grundwasser (Abb. 4). Um diesen hohen Wasserdruck zu reduzieren, wird eine geschlossene Wasserhaltung mit vier Tiefbrunnen geplant (Abb. 5). Eine vollständige Absenkung bis unter die Tunnelsohle wird durch diese Brunnen voraussichtlich nicht erreicht werden können. Daher sind aus dem Tunnelvortrieb heraus zusätzlich weitere Maßnahmen erforderlich – z. B. eine offene Restwasserhaltung. Diese wurden nicht detailliert geplant, sondern je nach Erfordernis konstruktiv umgesetzt.

In der Planung wurde eine Berechnung nach Herth/Arndts für Reichweite und Wassermengen durchgeführt. Dazu wurde das

Programm DC-Absenkung von Doster & Christmann, München verwendet. Die Berechnungsergebnisse decken sich ungefähr mit den Angaben aus der Vordimensionierung im Baugrundgutachten. Es ergeben sich rechnerische Reichweiten von rund 120 m und Fördermengen von 51 m³/h (14 l/s) für die Tiefbrunnenanlage (Abb. 6). Über den geplanten Zeitraum von 360 Tagen summieren sich die Gesamtfördermengen auf 442.500 m³. Für den Einzelbrunnen bedeutet dies rechnerische Fördermengen von jeweils 12,75 m³/h (3,54 l/s). Als Absenkzeitraum wurde Oktober 2020 bis Oktober 2021 geplant.

Herstellung der Brunnen

Da zwei der Tiefbrunnen auch später noch als dauerhafte Pegel erhalten bleiben sollen, entschied sich der Bauherr für die Herstellung eines massiven einzementierten Stahlsperrrohres DN 1000 mm (Abb. 7) mit Fußzementation auf den oberen 8,0 m.

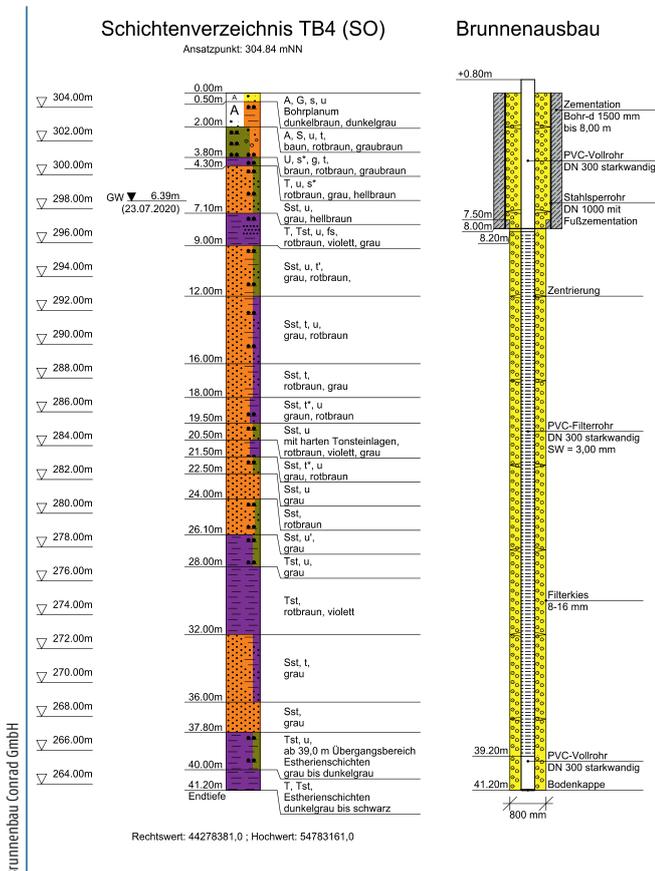


Abb. 6 – Darstellung Schichtenverzeichnis und Brunnenausbau



Abb. 7 – Einbau Sperrrohr DN 100

Brunnenbau Conrad GmbH

Denn nur so kann eine permanent wirksame Abdichtung der einzelnen Grundwasserleiter gewährleistet werden.

Der Bohrdurchmesser in diesem Bereich beträgt 1.500 mm (Abb. 8). Unterhalb des Sperrrohres wurde mit einem Verrohrungsdurchmesser von 880 mm weitergebohrt. Nach Erreichen des festen und standsicheren Felses in ca. 15 m Tiefe wurde

bis zur Endteufe ein unverrohrter Durchmesser von 800 mm verwendet. Da die Estheriensichten (Grundwasserstauer) schon in ca. 40 m Tiefe erreicht waren, musste die Bohrung hier beendet werden. Die Brunnen wurden mit einem starkwandigen PVC Filter- und Vollrohr DN 300 mm ausgebaut und verkiest. Unmittelbar nach der Herstellung erfolgte das Klarpumpen mit

Abb. 8 – Herstellen der Bohrung Durchmesser 1.500 mm



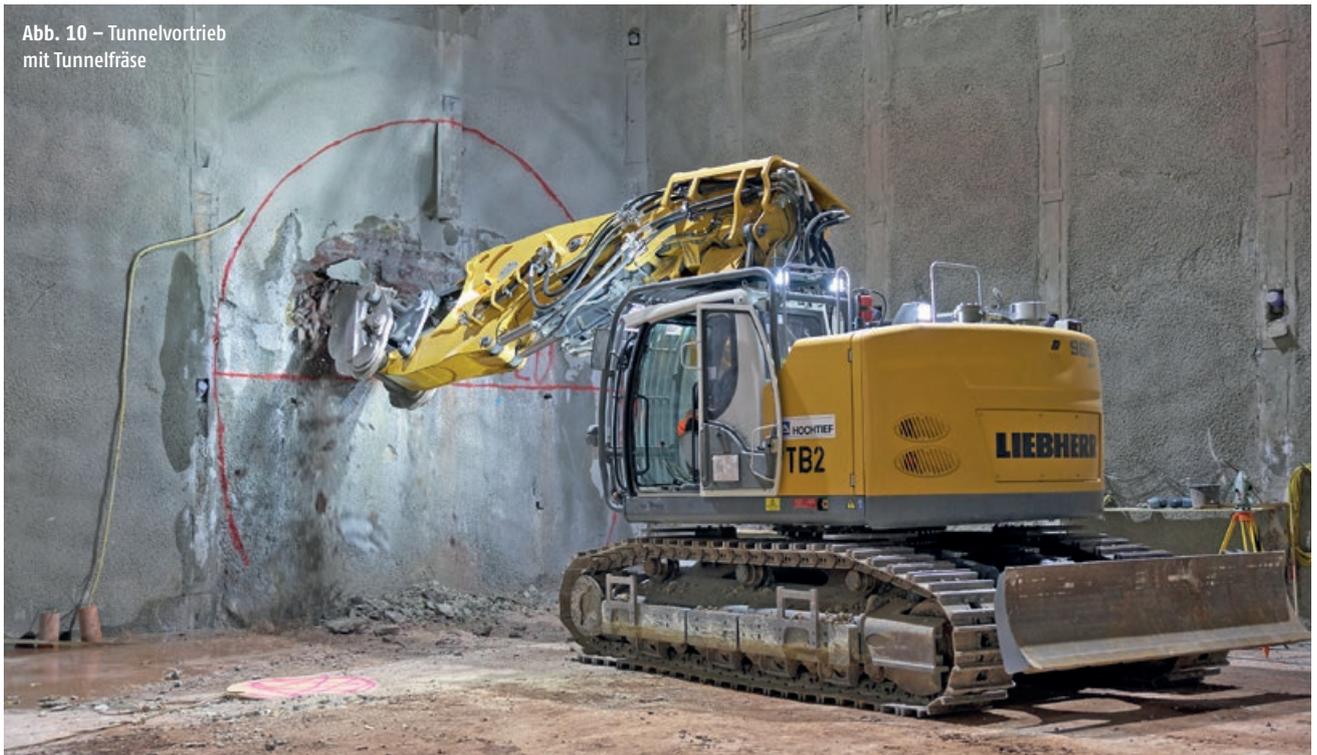
Brunnenbau Conrad GmbH

Abb. 9 – Klarpumpen inklusive DVGW-Sandmessgerät



Brunnenbau Conrad GmbH

Abb. 10 – Tunnelvortrieb mit Tunnelfräse



ARGE Hochtief – Max Bögl

Dokumentation der Sandfreiheit über das DVGW-Messgerät (Abb. 9). Die Sandfreiheit konnte in wenigen Stunden erreicht werden.

Aufgrund des großen Bohrdurchmessers und der Bohrteufe kam ein leistungsfähiges Großbohrgerät LIEBHERR LB 45 mit einem Gesamtgewicht von ca. 120 Tonnen zum Einsatz. Auf der Ostseite des Kanals stand nur ein schmaler Betriebsweg für die Arbeiten zur Verfügung, welcher nur für einen kurzen Zeitraum gesperrt werden durfte. Um die strom- und schiffahrtspolizeiliche Genehmigung vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) zu erhalten, musste ein Standsicherheitsnachweis der Kanalböschung eingereicht werden. Für das große Bohrgerät wurde daher eine Verbreiterung des Betriebsweges notwendig, um die Böschungssicherheit zu gewährleisten. Der unterhalb des Wasserspiegels befindliche Böschungsbereich wird im Rahmen der Beweissicherung vor und nach den Arbeiten von Tauern begutachtet und dokumentiert.

Sicherer Betrieb der Wasserhaltung durch Redundanz

Um die hohen Sicherheitsanforderungen für den bergmännischen Untertagevortrieb zu gewährleisten, wurde großer Wert auf einen störungsfreien Betrieb gelegt. Die Anlage wurde so dimensioniert, dass eine ständige Redundanz besteht. Im Falle eines Pumpenausfalles können die verbliebenen Brunnen die Gesamtfördermenge realisieren und so eine Havarie verhindern. Zur Kontrolle der Funktionsfähigkeit wurde eine Telenotanlage installiert. Diese sendet bei Störungen oder einem Wasseranstieg ein Alarmsignal an den Pumpwart und weitere verantwortliche Personen im 24-Stunden-Bereitschaftsdienst an 365 Tagen im Jahr über das Funknetz. So bleibt genügend Zeit für eine Reparatur oder einen Pumpenwechsel. Eine Ersatzpumpe wird auf der Baustelle ständig vorgehalten. Ein Pumpwart kontrolliert die Anlage regelmäßig. Es wurde ein Notfall- und Havariekonzept aufgestellt und Meldekettens eingerichtet.

Die Grundwasserabsenkung sollte mit etwa vier bis sechs Wochen Vorlauf vor der Durchfahrt des Vortriebes beginnen, um im Grundwassergeringleiter eine ausreichende Absenkung zu erzielen. Zur Prüfung der Restzuflussmengen in Verbindung mit unwahrscheinlichen möglichen Störzonen wird eine Vorauserkundung je Tunnelröhre vor Passage des Kanals ausgeführt. Dazu wird jeweils eine 70 m lange horizontale Kernbohrung aus dem Tunnel heraus hergestellt. Mit geophysikalischen Messungen kann man eine Bandbreite von Wasserzuflussraten bestimmen. Falls die Brunnen aufgrund ihrer großen Abstände die Grundwasserabsenkung nicht vollständig bis unter die Tunnelsohle realisieren können, so übernimmt diese Horizontalbohrung eine wichtige Funktion als zusätzliche Wasserdruckentspannung unmittelbar mittig unter dem Main-Donau-Kanal.

Während der kritischen Phase im direkten Unterfahrbereich wurden die Grundwassermessstellen zweimal täglich per Lichtlot gemessen, ausgewertet und die Grenzwerte geprüft. Ab dem vorhandenen Stromanschlusspunkt wurde ein Notstromaggregat mit ausreichender Leistung (4 x 4,0 kW Pumpenleistung und Sicherheit für hohen Anlaufstrom) von ca. 48 kVA-Leistung integriert, welches über einen Automatikstart bei Stromausfall verfügt.

Vor der Einleitung des Förderwassers in den MDK wurde ein ausreichend dimensioniertes Drei-Kammer-Absetzbecken installiert. Die geförderten Wassermengen werden mit einem elektronischen Wasserzähler MID gezählt und im Wasserbuch dokumentiert. Eine weitere Reinigung des Grundwassers ist nicht erforderlich, da die Brunnen nach der Herstellung klargepumpt

werden und sandfreies Wasser liefern. Bei der Einleitung in den Main-Donau-Kanal sind die Grenzwerte des LfU-Merkblatts 4.5/15 zu beachten. Dazu werden zur Beweissicherung regelmäßig Wasseranalysen genommen und ausgewertet.

Fazit

Obwohl die Brunnen aufgrund der höher anstehenden Stauerschichten nicht auf die geplante Endteufe von ca. 60 m hergestellt werden konnten, war das Fassungsvermögen aufgrund des großen Bohrdurchmessers ausreichend. Alle vier Brunnen hatten einen guten Anschluss an das wasserführende Kluftsystem. Nach anfänglichen 36 m³/h ging die Gesamtfördermenge auf eine dauerhafte Leistung von 16 m³/h zurück. Die zur Beweissicherung gemessenen Pegel in der Nähe verzeichneten eine ausreichende Absenkung. Der bergmännische Vortrieb (Abb. 10) konnte problemlos den Main-Donau-Kanal unterqueren.

Autor

Henning Thormann
WhC Wasserhaltung Consult GmbH
An der Burg 17
99974 Mühlhausen
Tel.: +49 (0) 176 55 92 10 10
info@whconsult.de
www.whconsult.de



STÜWA
BRUNNENFILTER
BOHRBEDARF
Qualität Made in Germany

GEOTEC
STÜWA & GEOTEC präsentieren:
driller days
BY GEOTEC & STÜWA
Das Highlight der Bohrbranche!
07. + 08. April 2022

+++ ACHTUNG TERMINÄNDERUNG | 07. + 08. APRIL 2022 +++
NUR NOCH WENIGE PLÄTZE VERFÜGBAR!

- LIVE Bohrvorführung: Brunnenbau, Geothermie, Geotechnik und HDD Bohrungen mit der neusten Gerätetechnik
- Schulung mit Teilnahmebestätigung zertifiziert nach W120-1 und W120-2
- Betriebsführungen beim etablierten Brunnenausbauerhersteller STÜWA
- „Drink & Drill“ - Gemeinsamer Austausch beim geselligen Barbecue

Mehr Informationen + aktuelle Corona Hinweise finden Sie unter: stuewa.de/de/aktuelles/drillerdays

+++ JETZT ANMELDEN! +++

STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH | www.stuewa.de