Auffahren eines Staukanals mit Spritzbetonsicherung

Dr.-Ing. Thomas Voß, Dipl.-Geol. Andreas Bahmer, Kronberg,
Prof. Dr.-Ing. Norbert Meyer, Clausthal-Zellerfeld

In Wiesbaden wurde der ca. 1,7 km lange Hauptsammler West bergmännisch im Stollenvortrieb mit Spritzbetonsicherung in einem geologisch und hydrogeologisch sehr schwierigen Untergrund hergestellt.

Die Landeshauptstadt Wiesbaden optimiert derzeit die Regenwasserentlastung des bestehenden Kanalnetzes. Im Rahmen der dazu vorgesehenen ca. 30 Einzelmaßnahmen wurde ein neuer Staukanal in bergmännischer Bauweise aufgefahren.

Der sogenannte „Hauptsammler West“ verbindet das Hauptklärwerk der Stadt mit einem Regenüberlaufbecken am Hauptbahnhof und ist gleichzeitig als Regenstaukanal ausgelegt.

Trassenführung

Der Hauptsammler West erstreckt sich über eine Länge von 1685 m vom Hauptklärwerk am Theodor-Heuss-Ring bis zum Vorplatz des Hauptbahnhofs. Im ausgebauten Zustand weist der Sammler eine Breite von 3,90 m bei einer Höhe von 3,55 m auf. Das bei diesen Abmessungen erreichte Stauvolumen beträgt 15 418 m^3. Die Sohlenhöhe des Hauptsammlers liegt zwischen 100,36 mNN (am Hauptbahnhof) und 96,50 mNN (am Hauptklärwerk) mit einem Gefälle von 2,3 ‰. Die Stollensohle verläuft somit in Tiefen zwischen 8,25 m bis 17,50 m unter der Geländeoberkante.

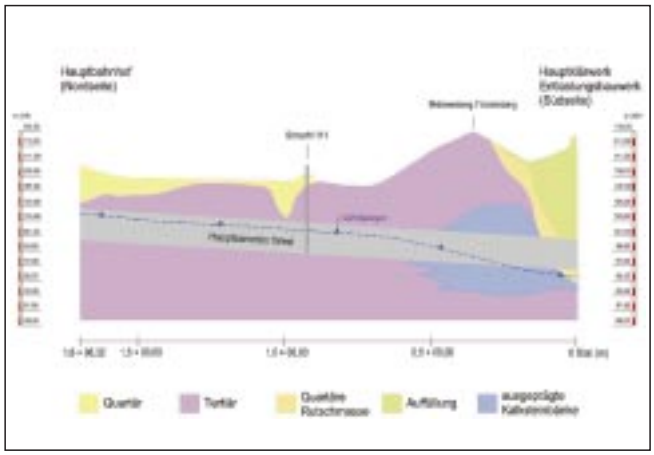
Am Hauptklärwerk wird der Sammler an das geplante Entlastungsbauwerk angeschlossen werden; am Bahnhofsvorplatz ist über ein zusätzliches Schachtbauwerk der Anschluss an das vorhandene Kanalnetz sowie an ein Regenrückhaltebecken vorgesehen.

1 Der Hauptsammler West wurde im bergmännischen Vortrieb aufgefahren. Das frisch ausgebrochene Gebirge wurde mit einer ersten Lage Spritzbeton gesichert. Daraufhin wurden die Mattenbewehrungen sowie die Ausbaubögen eingebaut und die eigentliche Spritzbetonschale aufgebracht

Geologie

Über die gesamte Vortriebsstrecke des Hauptsammlers ist eine sich im Wesentlichen wiederholende Schichtenfolge anzutreffen. Unter örtlichen Auffüllungen folgen quartäre Lösse, Lösslehme und Terrassenkiese, die von tertiären Formationen, den so genannten Hydrobienschichten, unterlagert werden.

Die Hydrobienschichten bestehen in der oberen Abfolge aus Ton, Tonstein und Mergel. Kalksteine können vereinzelt in Form von dünnen Bänken auftreten. In der unteren Abfolge werden vorwiegend Kalksteinbänke, Tonsteine und Tone sowie Kalk-, Schluff- und Tonwechsellagerungen angetroffen. Die hier vielfach abrupten Wechsel zwischen bindigen und nicht bindigen Schichten bei gerin-



2 Längsschnitt mit geologischen Verhältnissen

gen Schichtmächtigkeiten von wenigen Zentimetern bis Dezimetern sind für den Gesteinsaufbau typisch. Die Beschreibung des generellen Schichtenaufbaus macht deutlich, dass hier Gesteine bzw. Böden vorliegen, die, im Grenzbereich zwischen Festgestein und Lockerböden liegend, vielfach fließend ineinander übergehen.

Aus geologischer Sicht ist entlang der Trassenführung des Hauptsammlers zwischen drei Abschnitten zu differenzieren:

- der erste, geologisch schwierigste Streckenabschnitt erstreckt sich vom Stollenanschlag am Hauptklärwerk auf einer Länge von ca. 175 m. Hier stehen bis zu 16 m mächtige Auffüllungen über so genannten Rutschmassen an, die auf dem Tertiär aufliegen. Im Zuge der Baugrunderkundung wurden im Tertiär starke Verkarstungserscheinungen mit teilweise beträchtlichen Hohlräumen angetroffen
- im zweiten Abschnitt muss der östliche Teil des Melonenberges durchfahren werden. Der Hauptsammler liegt hier bis zu 15 m unter Gelände. In diesem Streckenabschnitt stehen ausschließlich Hydrobienschichten in unterschiedlichster Ausprägung an
- der dritte Abschnitt umfasst etwa den Bereich vom Zwischenschacht bis zum Stollenende. Der Sammler weist hier bei einer Tiefenlage von nur noch 7 bis 8 m seine geringste Überdeckung auf. Der zu durchfahrende Untergrund wird im Wesentlichen durch tertiäre Schluffe, Tone sowie Mergel/Kalke mit zwischengeschalteten Sand- und Kiesschichten unterschiedlicher Mächtigkeit gebildet.

Grundwasser

Grundwasser wurde in allen Bohrungen in den unterschiedlichsten Tiefenlagen zwischen 4,6 m bis 23,8 m unter Gelände angetroffen. Das Grundwasser tritt nicht als geschlossener Grundwasserleiter im hydrogeologischen Sinne, sondern in einer Vielzahl von Schicht- und Sickerwasserhorizonten von variierender Stärke und Ergiebigkeit auf.

Der Untergrund lässt sich in zwei „Grundwasserstockwerke“ gliedern. Die bis zu ca. 6 m mächtigen, quartären Überdeckungen bilden den oberen Porengrundwasserleiter mit meist geringer Wasserführung (bevorzugt in den Terrassenkiesen). Die Grundwasserführung des Quartärs reagiert auf wechselnde Niederschlagstätigkeit und ist maßgeblich zeitnah durch Niederschlagsereignisse beeinflusst.

Die tertiären Schichten stellen den Hauptgrundwasserleiter dar. Die Wasserführung innerhalb der Hydrobienschichten ist vor allem an die nichtbindigen Schichten wie Kalksande und Kalkschluffe sowie die geklüfteten und zum Teil zellig porösen bis kavernösen Kalksteine gebunden, deren wesentliches Merkmal es ist, dass sie keinen durchgehenden Horizont bilden, sondern in der tonigen Matrix schwimmen. Ein Grundwasserkörper mit durchgehendem Druckspiegel hat sich darin nicht ausgebildet. Auf Grund der Wechsellagerung mit bindigen, relativ wasserundurchlässigen Schichten liegt das tertiäre Wasser häufig gespannt vor.

Schacht- und Stollenbau

Der Hauptsammler West wurde im bergmännischen Vortrieb aufgefahren. Dabei kam ein Sondervorschlag der Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft zum Tragen, der einen Vortrieb mit Hilfe der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT) vorsah. Ein wesentlicher Vorteil dieser Bauweise bestand in der erheblichen Verkürzung der Bauzeit, die durch das parallele Auffahren des Stollens in drei unabhängigen Teilstrecken möglich wurde. Etwa auf halber Länge des Hauptsammlers war ein Zwischenschacht für spätere Wartungs- und Inspektionsarbeiten (Schacht 111) vorgesehen, dessen Baugrube zum Stollenanschlag benutzt wurde. Zunächst wurde der Vortrieb vom Zwischenschacht aus beidseitig nach Norden (Vortrieb Nord) und Süden (Vortrieb Süd) ausgeführt. Nach Fertigstellung der Baugrube/Hangsicherung für ein Entlastungsbauwerk am Klärwerk wurde vom südlichen Ende der geplanten Trasse (Stollenportal) ein Gegenvortrieb aufgefahren.

Schacht

Im ersten Schritt wurde der Baugrubenverbau für Schacht 111 als kreisförmige, überschnittene Bohrpfahlwand mit einem Außendurchmesser von D = 16 m und Pfahllängen von 15 bis 18 m hergestellt. Die Stützung der Baugrubenwand erfolgte über einen Aussteifungsbalken (Druckring) aus Stahlbeton in einer Tiefe von 4,50 m unter GOK. Nach Erreichen der Endtiefe wurde eine druckwasserdichte Sohle aus Stahlbeton eingezogen, in die zur Fassung des beim Stollenvortrieb anfallenden Wassers ein Pumpensumpf integriert wurde. Der gesamte Bodenaushub für die Baugrube konnte ohne Wasserhaltung erfolgen, da der Baugrubenverbau in stauende Bodenschichten eingebunden und wasserführenden Schichten „abgeschnitten“ wurden.

Stollenportal Kläranlage

Für das geplante Entlastungsbauwerk an der Kläranlage musste eine Baugrube hergestellt werden, in de-

3 Bohrpfahlwand für Entlastungsbauwerk und Stollenportal Hauptklärwerk

ren nördlichem Bereich das Stollenportal für den Hauptsammler errichtet werden sollte.

Die Baugrubenwand war als aufgelöste, rückverankerte Bohrpfahlwand (Durchmesser der Einzelpfähle D = 1,2 m) mit Spritzbetonausfachung konzipiert. Die Herstellung der Pfähle erfolgte nach dem Verfahren Hochstrasser-Weise (HW-Verfahren). Durch das gewählte Bohrverfahren konnten sämtliche Bohrarbeiten vom Baufeld aus erfolgen und Behinderungen des laufenden Klärwerksbetriebs dadurch minimiert werden.

Nach Herstellung der Pfahlwand war die Voraussetzung für den Gegenvortrieb vom Hauptklärwerk aus nach Norden gegeben. Dazu musste die Pfahlwand im Bereich des Stollenportals über eine Distanz von zwei Pfählen durchbrochen werden. Deren Vertikallasten sollten planmäßig von den benachbarten Pfählen übernommen werden, was durch eine Verstärkung der Spritzbetonausfachung im Bereich der Stirnwand und durch Anordnung eines Stahlbetonbalkens über dem Stollenfirst erreicht wurde.

Da nach der im Vorfeld der Baumaßnahme durchgeführten Baugrunderkundung in der Zone der Stirnwand künstliche Auffüllschichten bis unter die planmäßige Stollensohle zu erwarten waren, mussten weitere Sicherungsmaßnahmen vorgesehen werden, um ein Einrutschen der Auffüllungen nach dem Öffnen der Pfahlwand und dem Anfahren des Stollens zu verhindern. Durch den Einbau eines „Ankerschirmes“ von insgesamt 24 Einstabankern mit jeweils 10,0 m Länge oberhalb des Stollenportals konnte der Bereich des Stollenanschlages verfestigt und stabilisiert und mit dem Vortrieb begonnen werden.

Grundwasserabsenkung

Bis weit in den Tunnelquerschnitt anstehendes Grundwasser machte etwa von Station 0,6+50 (südlich des Schachtes 111) bis zum Hauptbahnhof entsprechende Vorkehrungen für den Stollenvortrieb notwendig. Aus wirtschaftlichen Überlegungen wurde eine Grundwasserabsenkung geplant, welcher – auch weil die Wiesbadener Heilquellenschutzgebiete nicht betroffen waren – die Genehmigungsbehörden unter bestimmten Auflagen zugestimmt haben.

Die ausgesprochen heterogenen und komplexen Untergrund- und Grundwasserverhältnisse im Projektgebiet ließen eine zuverlässige rechnerische Dimensionierung der Grundwasserhaltungsmaßnahmen im Vorfeld der Baumaßnahme nicht zu. Auch Pumpversuche in wirtschaftlich noch vertretbarer Anzahl hätten bei dem vorliegenden Linienbauwerk unter den gegebenen hydrogeologischen Randbedingungen erfahrungsgemäß nicht zu einem adäquaten Ergebnis geführt.

Die Absenkbrunnen wurden deshalb auf der Basis entsprechender Erfahrungen im „Wiesbadener Baugrund“ zunächst in einem gleichmäßigen Raster mit einem mittleren Abstand von ca. 15 m vorgesehen. In der Summe waren dementsprechend 75 Brunnen (Filterdurchmesser 300 mm), die im genannten Abstand beidseitig des geplanten Stollenvortriebes abgeteuft werden sollten, geplant. Analog zum Vortriebskonzept wurde die Grundwasserabsenkung zunächst lediglich im Bereich des Anfahrschachtes hergestellt, in Betrieb genommen und sukzessiv dem Stollenvortrieb vorauseilend in beide Richtungen erweitert. Verfahrensbedingt (die Spritzbetonschale ist nicht druckwasserdicht) war die Grundwasserhaltung über die gesamte Vortriebsdauer bis zur vollständigen Fertigstellung der wasserdichten Innenschale zu betreiben.

Erfolg (Absenkziel), notwendiger Umfang (Anzahl der Brunnen) und Auswirkungen (Reichweite, Setzungen) der weiträumigen Grundwasserabsenkung wurden mit einem Messprogramm kontinuierlich überwacht, bewertet und entsprechend gesteuert. Dazu wurden insgesamt 25 Kontrollpegel installiert, in denen die Grundwasserstände fortlaufend gemessen und aufgezeichnet wurden. Die im Einflussbereich der Grundwasserabsenkung liegenden Gebäude, Anlagen und Verkehrsflächen wurden durch geodätische Messungen (Feinnivellement) erfasst.

Wie sich anhand der Grundwasserbeobachtung bald erkennen ließ, waren zum Erreichen des Absenkzieles deutlich weniger Brunnen herzustellen bzw. in Betrieb zu nehmen als ursprünglich geplant. Bereits mit dem Betrieb von lediglich 28 Brunnen konnte das Grundwasser im gesamten Trassenabschnitt des Vortriebes Nord über eine Länge von ca. 800 m größtenteils auf das erforderliche

Niveau unterhalb der Vortriebssohle herabgezogen werden. Auch im Vortrieb Süd, der ohnehin nur in Teilabschnitten innerhalb des natürlichen Grundwasserspiegels aufzufahren war, konnte das Grundwasser mit weniger Brunnen als erwartet unter Stollenniveau abgesenkt werden. Die einzelnen Brunnen verhielten sich im Hinblick auf ihre Ergiebigkeit und Reichweite so komplex, dass sowohl eine wirtschaftliche Konzeption als auch ein optimaler Betrieb der Grundwasserhaltung letztlich, wie beschrieben, nur auf iterativem Wege möglich war.

Gleichwohl konnte in einigen wenigen Abschnitten, lokal meist eng begrenzt, das Grundwasser entweder überhaupt nicht oder nur mit sehr großen Vorlaufzeiten bis auf das erforderliche Niveau abgesenkt werden. Auch durch die Herstellung zusätzlicher Brunnen war es in diesen Abschnitten nicht möglich, den Grundwasserspiegel planmäßig bis unter Stollensohle abzusenken. Durch entsprechende Pumpversuche konnte nachgewiesen werden, dass bei sehr geringen Förderraten (Q ca. 0,2 bis 0,5 l/s) die Brunnen keinerlei Reichweite ausbildeten und bereits in unmittelbarer Nähe messbare Absenkungen des Grundwassers nicht mehr erzielt werden konnten. Zum Erreichen des planmäßigen Absenkzieles wäre also eine sehr viel größere Anzahl an Brunnen, bei sehr geringen Abständen unerlässlich gewesen.

Es wurde deshalb entschieden, die betroffenen Abschnitte ohne vorhergehende Absenkung mit einer offenen Wasserhaltung an der Ortsbrust aufzufahren. Abweichend vom Regelausbruch wurde in diesem Zusammenhang in den betroffenen Abschnitten im Querschnitt ein stabilisierender Kern aufrechterhalten. Beim Stollenvortrieb in den beschriebenen Bereichen zeigte sich dann erwartungsgemäß ein erhöhter Anstrom von Grundwasser, der sich primär etwa im Übergangsbereich von der Sohle zur Kalotte bemerkbar machte. Auf Grund der bodenmechanischen Eigenschaften der hier anstehenden, überwiegend bindigen Böden mit entsprechend ausreichender Kurzstandfestigkeit konnte der Stollenausbruch trotz des erhöhten Wasseraufkommens weitgehend problemlos bewältigt und fortgesetzt werden. Das aus der Ortsbrust austretende Grundwasser konnte kontrolliert gefasst, in Pumpensümpfen gesammelt und abgeleitet werden.

4 Abbruch der Pfahlwand am Klärwerk mit stillgelegtem Sammelkanal

Nach Fertigstellung der Innenschale konnte die Grundwasserhaltung nach einer Gesamtbetriebsdauer von 28 Monaten außer Betrieb genommen werden. Der Wiederanstieg des Grundwassers auf das natürliche Niveau nahm einen vergleichsweise langen Zeitraum in Anspruch. Erst nach ca. 6 Monaten befand sich das Grundwasser wieder auf seinem ursprünglichen Niveau.

Vortrieb

Der Vortrieb wurde, ausgehend von Schacht 111, zunächst mit nur einem Tunnelbagger (Schaeff ITC 312) durchgeführt. Mit Hilfe der an einem Hydraulikarm befestigten Schaufel und des Meißels wurde der Boden/Fels gelöst, mittels eines Förderbandes hinter den Bagger durchgeladen und abtransportiert.

Der Arbeitsablauf war ursprünglich wie folgt konzipiert. Nach dem Lösen des anstehenden Gebirges in einem Vortriebsstrang über die entsprechende Abschlagslänge wurde der Tunnelbagger in die Anfahrgrube zurückgesetzt, gewendet und zur Ortsbrust des jeweils anderen Vortriebes zum Bodenabbau transportiert. Zwischenzeitlich konnte das frisch ausgebrochene Gebirge mit einer ersten Lage Spritzbeton gesichert, die Mattenbewehrungen sowie die Ausbaubögen eingebaut und die eigentliche Spritzbetonschale aufgebracht werden. Auf Grund dieser konzipierten und zunächst auch praktizierten Vortriebsweise in zwei entgegengesetzte Richtungen mit nur einem Abbaugerät waren beim Umsetzen des Tunnelbaggers zunehmend längere Transportwege zurückzulegen. Aus zeitlichen (Stillstand) und wirtschaftlichen Gründen (Fahrwerksschäden) wurde deshalb ein zweites Gerät (Schaeff ITC 112) im Vortrieb Nord eingesetzt. Auf Grund der geologisch günstigeren Bedingungen (keine ausgeprägten Kalksteinformationen) war der Einsatz eines leistungsschwächeren Gerätes hier ausreichend.

Vortrieb Süd

Beim Vortrieb nach Süden war der Trassenabschnitt von Schacht 111 bis zum Hauptklärwerk und damit auch

der östliche Ausläufer des Melonenberges zu durchfahren, wo der Hauptsammler West mit ca. 13 m seine größte Überdeckung erreicht. Die zu durchfahrenden Böden bestanden in dieser Richtung aus tonig-sandigen Wechsellagerungen, in die zunächst nur einzelne Kalksteinbänke eingelagert waren. Mit fortschreitendem Vortrieb nahm der Anteil der Kalkbänke am Ausbruchsquerschnitt stetig zu; im Maximum waren Kalksteine mit Bankmächtigkeiten von bis zu 2,0 m zu lösen. Dies konnte im Hinblick auf die Lösbarkeit mit dem eingesetzten Tunnelbagger ohne besondere Schwierigkeiten realisiert werden. Problematisch hingegen erwies sich das maßgenaue Einhalten des vorgesehenen Tunnelprofiles, da insbesondere im Firstbereich ein kontrollierter Abbau der bankartigen Gesteine nicht möglich war. Infolge des kaum kontrollierbaren Mehrausbruches und des hieraus resultierenden Überprofiles entstand ein außerplanmäßiger Mehraufwand (Zeit- und Materialbedarf) in erheblicher Größenordnung.

Nach den Erkenntnissen der Baugrunderkundung war in den massiven tertiären Kalken mit Klüften und Verkarstungserscheinungen zu rechnen, in denen in unterschiedlich starkem Maß Wasserführungen auftreten können. Insbesondere war nicht auszuschließen, dass beim Antreffen von wasserführenden Klüften schlagartig große Grundwassermengen eindringen und – verbunden mit dem Vortriebsgefälle zur Ortsbrust hin – das Personal gefährden könnten. Planungsseitig war deshalb ursprünglich vorgesehen, den südlichen Vortrieb nur bis zum Erreichen der massiven Kalksteinbänke zuzulassen und den verbleibenden Restabschnitt im Gegenvortrieb vom Klärwerk aus aufzufahren. Auf Basis der bis dahin im Verlauf der Bauausführungen gewonnenen Erfahrungen wurde jedoch dem „Grundwasser-Risiko“ in den Kalksteinbänken durch jeweils drei waagerechte Sondierbohrungen in der Ortsbrust (Länge 3 m) Rechnung getragen und der Vortrieb fortgesetzt. Mit Hilfe der Erkundungs-/Entspannungsbohrungen konnten stärker wasserführende Hohlräume oder Klüfte rechtzeitig erkannt und ohne Risiko für das Personal sicher beherrscht werden. Der Vortrieb Süd konnte so bis zum Stollendurchbruch ohne besondere Schwierigkeiten durchgeführt werden.

Vortrieb Nord

Die Vortriebsverhältnisse im Vortrieb Nord waren durch eine stetige Abnahme des Massenanteiles der Kalksteinbänke und auch der Überdeckung des Stollens gekennzeichnet. Im Bereich des Stollenendes am Hauptbahnhof wurden beim Stollenausbruch nur noch einzelne, ca. 10 cm mächtige Kalksteinbänke angetroffen. Diese waren auf Grund ihres Verwitterungsgrades und der Klüftung meist in Bodenklasse 6 einzustufen. Auf Grund der hier nur noch geringen Restüberdeckung des Firstbereiches von lediglich etwa 4 m waren zur Erhaltung des Gebirgstragringes beim Ausbruch der anstehenden Böden besondere Maßnahmen vorzusehen, um Auflockerungen zu vermeiden und den Bodenabbau entsprechend schonend durchführen zu können. Der Stollenfirst wurde zusätzlich durch etwa 20 ca. 3 m lange Spieße gesichert; die Stabilität der Ortsbrust konnte durch das Beibehalten eines stabilisierenden Stützkernes gewährleistet werden.

5 Tunnelbagger mit Durchladeeinrichtung am Schacht 111

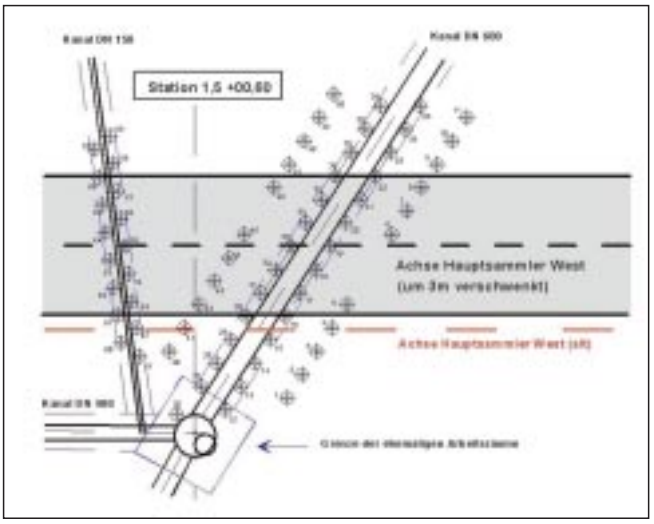
Gegenvortrieb

Der Gegenvortrieb wurde nach der Ausbruchsklasse A.1a als Vollausbruch (ohne vorlaufende Kalotte) durchgeführt. Grundwasser war in diesem Abschnitt nicht zu berücksichtigen. Die Trasse des neuen Hauptsammlers folgt auf den ersten 100 m dem (stillgelegten) östlichen Sammelkanal (Betonkanal DN 1750/1000), der fortlaufend mit dem Vortrieb abgebrochen wurde. Der im Vorfeld als schwierig eingestufte Vortrieb in den Auffüllungen und Rutschmassen konnte problemlos bewältigt werden.

Der Gegenvortrieb Klärwerk wurde vom Auftragnehmer nach ca. 190 m Vortrieb aus wirtschaftlichen Aspekten eingestellt; durch die unerwartet guten Vortriebsleistungen des Vortriebes Süd war ein Gegenvortrieb zur Einhaltung der Bauzeit nicht mehr erforderlich.

Unterfahrung von Abwasserkanälen

Planmäßig waren beim Auffahren des Hauptsammlers zwei Abwasserkanäle (DN 600 und DN 150) zu kreuzen und auf einer Länge von ca. 60 m eine Parallelführung mit sehr geringem Abstand zu berücksichtigen (Kanal DN 400). Während der kleinere, höher liegende Kanal DN 150 noch ca. 1 m über dem Ausbruchsfirst des Stollen verlief, ragte der in ca. 4,5 m Tiefe verlegte Kanal DN 600 bis in die planmäßige Spritzbetonschale des Stollenausbruches hinein.



6 Injektionsbohrungen zur Verfestigung der Kanalgräben

Unter Berücksichtigung der damaligen offenen Bauweise musste bei der Unterfahrung der Kanäle davon ausgegangen werden, dass die nur locker gelagerte, ehemalige Arbeitsraumverfüllung in den Stollenquerschnitt einbrechen und die Kanalrohre beschädigen könnte. Beim parallel verlaufenden Kanal war ein Anschnitt der alten Grabenverfüllung beim Stollenausbruch mit anschließendem Verbruch im Stollen nicht auszuschließen.

Der Gefährdung des Vortriebes durch den parallel der Trasse laufenden Kanal wurde durch ein Verschwenken der Trassenführung um ca. 3 m Rechnung getragen, wobei planungsseitig bei der „Neutrassierung“ (Radien) auch das spätere Betonieren der Innenschale (Länge des Schalwagens) zu berücksichtigen war.

Die querenden Kanäle dagegen wurden durch eine Verfestigung der Grabenverfüllung mit Zementinjektionen gesichert. Eine präventive Maßnahme bestand darin, vor Beginn der Injektionsarbeiten in das Kanalrohr DN 600 einen sogenannten Inliner einzuziehen, um auch bei einer (geringen) Beschädigung des Betonrohres dessen Dichtigkeit sicherzustellen.

Die Grabenverfestigungen wurden durch insgesamt 67 Injektionsbohrungen bis max. 5,0 m Tiefe und anschließender Verpressung mit Feinstzement hergestellt; im Bereich des Kanales DN 600 wurden zusätzliche Schrägbohrungen angesetzt, um auch den Bereich unter dem Kanalrohr (Sandbett) mit dem Injektionsgut zu erreichen. Beim Unterfahren des Kanales nach Erhärtung des Injektionsgutes wurde der in den Ausbruchquerschnitt ragende Kanal sorgfältig freigelegt und in die äußere Spritzbetonschale integriert. Durch die beschriebenen Maßnahmen konnten Schäden an den Bestandskanälen vermieden werden.

Ausbau

Nach Herstellung der kompletten Spritzbetonschale vom Hauptklärwerk bis zum Hauptbahnhof wurde die Innenschale abschnittsweise in insgesamt 170 Blöcken betoniert. Die Segmentierung des Hauptsammlers in einzelne Blöcke sollte Schäden bei unterschiedlichem Setzungsverhalten des Baugrundes vermeiden.

Die Länge der einzelnen Blöcke betrug im Regelfall 10 m. Jeder Block wurde in zwei Arbeitsgängen (Sohle und Gewölbe) hergestellt. Dazu wurden zwei speziell für das Stollenprofil angefertigte Schalwagen (Sohl- und Gewölbeschalwagen) aus Stahl eingesetzt. Der Beton wurde mit Hilfe einer stationären Betonpumpe (Reichweite ca. 500 m) vom Stollenportal bzw. vom Schacht 111 zur jeweiligen Einbaustelle transportiert.

Für die Innenschale wurde ein zweilagig bewehrter (WU-)Beton der Festigkeitsklasse B 35 verwendet; die Bewehrung diente ausschließlich zur Rissbreitenbeschränkung im Hinblick auf die geforderte Wasserundurchlässigkeit der Innenschale.

Die Nachbehandlung des Betons fand mit Hilfe eines Nachläuferwagens statt, der eine gleichmäßige, homogene Temperaturverteilung erzeugte und ein zu schnelles Abklingen der Hydratationswärme verhinderte. Die Nachbehandlungsdauer je Block betrug etwa 3 Tage.

Fazit

Die Baumaßnahme konnte in der vorgesehenen Bauzeit von 35 Monaten erfolgreich abgeschlossen werden. Das gewählte Vortriebsverfahren hat sich bewährt; durch die Spritzbetonbauweise konnte auf die wechselnden Gegebenheiten jederzeit reagiert und diese insbesondere an nicht vorhergesehene, außerplanmäßige Situationen angepasst werden. Dazu hat u. a. auch eine zielorientierte und pragmatische Zusammenarbeit von Auftraggeber, ausführender Firma und Bauüberwachung beigetragen.

Die ausgesprochen komplexen Grundwasserverhältnisse im Tertiär machten eine „iterative“ Vorgehensweise bei Herstellung und Betrieb der Grundwasserhaltung notwendig. Infolge der längerfristigen und großräumigen Grundwasserabsenkung traten im gesamten Einflussbereich Setzungen von in der Regel wenigen Millimetern bis zu 1 cm auf, die zu keinen nennenswerten Schäden in der Umgebung oder am Gebäudebestand geführt haben. Die Planung und Bauüberwachung wurde durch die Ingenieurgemeinschaft Dr. F. W. Hug Geoconsult GmbH/Prof. Menzenbach wahrgenommen.

tis