

GRUPPE GEOTECHNIK GRAZ



Herausgeber: M. Dietzel, W. Schubert, H.F. Schweiger, S. Semprich

Heft 30

Beiträge zum 22. Christian Veder Kolloquium

MASSNAHMEN ZUR BEHERRSCHUNG DES WASSERS IN DER GEOTECHNIK

Redaktionelle Bearbeitung:
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

GRAZ, 12. und 13. April 2007

TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ 2007

Planung und Bemessung einer komplexen Grundwasserkommunikations-Anlage für den City-Tunnel Leipzig

C. Spang¹⁾, W. Glitsch²⁾, G. Renker³⁾,

T. Franke³⁾, B. Rommunde¹⁾

¹⁾ Dr. Spang GmbH, Witten

²⁾ DEGES GmbH, Berlin

³⁾ CDM Consult AG, Leipzig

1 Einleitung

Als wohl bedeutendstes infrastrukturelles Vorhaben der Stadt Leipzig rückt der Bau des City-Tunnels zur direkten Verbindung zweier außerhalb des Innenstadtrings liegenden Kopfbahnhöfe in das Blickfeld der Region und der Fachwelt. Zwischen Bayerischem Bahnhof (Süden) und Hauptbahnhof (Norden) verläuft die Trasse vollständig unter der Innenstadt. Im Südteil liegt sie bis zum Haltepunkt Wilhelm-Leuschner-Platz unter der breiten Windmühlenstraße, nördlich bis zum Hauptbahnhof unter dichter, mehrgeschossiger Bebauung.

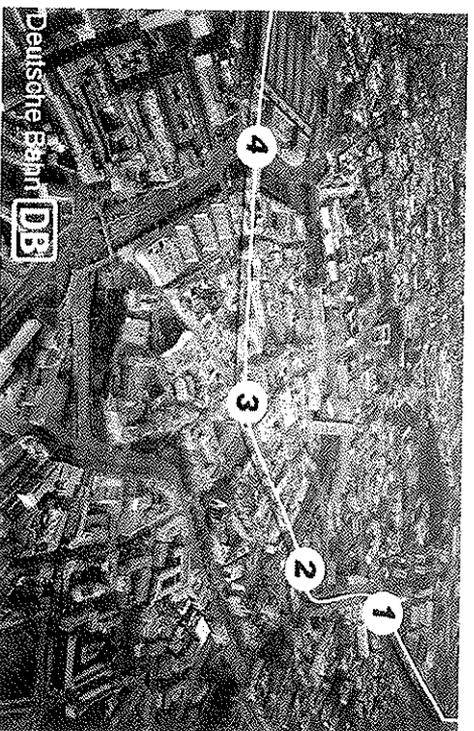


Abb. 1: Verlauf des City-Tunnels; Haltepunkte 1 – Bayerischer Bahnhof, 2 – Wilhelm-Leuschner-Platz, 3 – Markt, 4 – Hauptbahnhof

Die Gesamtlänge des Bauvorhabens beträgt einschließlich der Ein- und Ausfahrbereiche 5.279 m und schließt die Haltepunkte für den S-Bahn-Verkehr ein. Die eigentliche zwischen den o.g. Bahnhöfen bergmännisch aufzufahrende Tunnelstrecke besteht aus zwei Röhren und beträgt jeweils 1.438 m. Letztere erhalten einen Kreisquerschnitt mit 63,7 m² Ausbruchfläche.

Die Tieflage des Tunnelbauwerkes bewirkt, dass die Tunnelröhren fast durchgängig unterhalb des Grundwasserspiegels liegen und unter ungünstigen Randbedingungen ein Strömungshindernis darstellen (Abb. 2). Das Bauwerk würde ohne Ausgleichsmaßnahmen insbesondere im Bereich des Grundwasseranstroms der Haltepunkte zu einem unerwünschten Aufbau des Grundwasserspiegels führen.

2 Geotechnische Verhältnisse

2.1 Erkundungsprogramm

In mehreren Erkundungs- und Untersuchungsphasen wurden seit 1997 alle geotechnischen und hydrogeologischen Untersuchungen für das Bauvorhaben geplant, durchgeführt, überwacht und ausgewertet. Im Zusammenhang mit der Aufstauberechnung und dem Entwurf der Grundwasserkommunikation sind insbesondere die seit 1998 erfolgten umfangreichen Erkundungsarbeiten zur Ermittlung geohydraulischer Parameter bedeutsam. Der Aufbau vertiefter Messnetze war daher speziell auch im Bereich der geplanten Haltepunkte erforderlich.

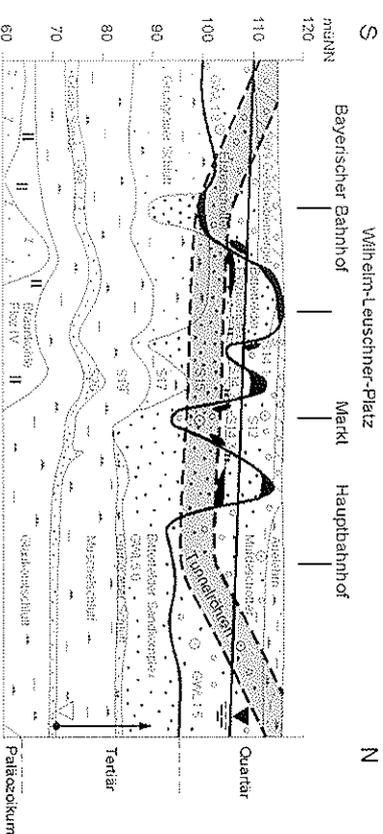


Abb. 2: Schematisches geologisches Modell der Gesamttrasse. Tertiär-quarzit in autochthoner und allochthoner Lagerung schwarz

2.2 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

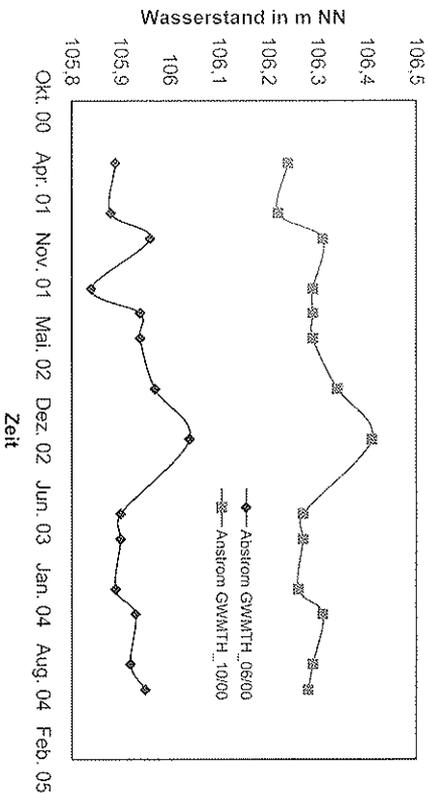
Der Untergrund im Stadtgebiet besteht im Wesentlichen aus quartären und tertiären Lockersedimenten. Insgesamt wurden anhand der Lithologie 13 quartäre und 10 tertiäre Schichten auskartiert (Abb. 2). Besonders im Süden und im mittleren Abschnitt treten wir unter den Auffüllungen bis 10 m mächtige, pleistozäne Geschiebemergel mit ihren Bänderungen an. In Erstere können Findlinge mit bis zu 1 m Durchmesser eingelagert sein. Es folgen ca. 17 m mächtige Flussschotter der Weißen Elster (S 12). Im Nordteil hingegen lagern unter den Auffüllungen und den Auesedimenten ca. 10 m mächtige Flussschotter der Mulde.

Unter den Flussschottern liegt im Zentrum der Trasse die bis ca. 9 m mächtige Folge des Bitterfelder Flözkomplexes. Sie besteht aus Mittelsanden mit Braunkohlenschluff- und -tonlagen sowie in Senken abgelagerten, geringmächtigen Braunkohlentfözresten. Ebenfalls angetroffen werden hier Xylithe. Silifizierete Baumstammreste können nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Von besonderer Bedeutung für das Bauvorhaben sind jedoch die in zwei Horizonten, im Hangenden und Liegenden nachgewiesenen, bis 4 m mächtigen silifizierten Tertiärquarzite in linsenförmiger Ausbildung.

Die darunter folgenden tertiären Schichten bestehen im Zentral- und Nordteil aus Fein- und Mittelsanden des Bitterfelder Sandkomplexes mit einer Mächtigkeit von 7 m bis 16 m. Ihnen schließt sich, besonders im Süd- und Zentralteil, der bis 15 m mächtige Gringraue Schluff an. Schließlich ist entlang der gesamten Tunneltrasse die markante Schichtenfolge des so genannten Muschelschluffes als regionalgeologisch bedeutender Stauer mit 4 m bis 8 m Mächtigkeit ausgebildet.

Besonders kompliziert gestalten sich die Lagerungsbedingungen im mittleren Abschnitt der Tunneltrasse. Die weitgehend flachwellige Struktur der tertiären Schichten wird hier durch tiefe pleistozäne Erosionsrinnen durchbrochen. Stehengebliebene tertiäre Schichtenfolgen kommen hingegen am Wilhelms-Leuschner-Platz bis zur Oberfläche vor (Abb. 2). Das Hauptproblem stellen hierbei die Tertiärquarzite dar. Diese lagern primär linsenförmig in unterschiedlicher Mächtigkeit zunächst an der Oberfläche und an der Basis der Fein- und Mittelsande des Bitterfelder Flözkomplexes. Sie wurden jedoch durch die starken Erosionsprozesse im Pleistozän unterspült, dabei verstell und sind teilweise in die Erosionsrinnen der alten eiszeitlichen Flussläufe abgerutscht und auch verschleppt. Somit kommen Tertiärquarzite in unregelmäßigen und unterschiedlichen Tiefenlagen vor, besonders in der Nähe der stehengebliebenen tertiären Schichtenfolgen. Lokal kann es zu blockfeldähnlichen Anhäufungen von unterschiedlich mächtigen Tertiärquarzitlinsen kommen.

Notwendigkeit am HP-Hauptbahnhof zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Hauptbahnhofgebäudes zu ergreifen. Etwa seit dem Jahr 2001 ist keine signifikante Erhöhung der Grundwasserstände im GWL 1.8 und 5.0 mehr zu verzeichnen. Der Grundwasserspiegel im oberen GWL hat inzwischen die Stände der zwanziger Jahre des 20. Jahrhunderts wieder erreicht. Beispielfhaft wird in (Abb. 4) die Gangelinie von zwei Grundwasserpegeln, die im An- und im Abstrom des HP-Hauptbahnhof liegen angezeigt. Das sehr niederschlagsreiche Jahr 2002 ist deutlich zu erkennen.



3.2 Hydraulische Bemessung

Die geplante permanente Grundwasserkommunikation besteht aus vertikalen Sammelschächten, Horizontalbrunnen und Rohrleitungen, über die das Grundwasser auf der Anstromseite gefasst, unter dem Bauwerk hindurchgeleitet und auf der Abstromseite wieder in das Grundwasser eingespeist wird. Das auf der Entnahmeseite anfallende Wasser aus den Horizontalbrunnen wird durch ein geschlossenes Rohrleitungssystem über einen Düker unter dem Bauwerk von der Anstrom- auf die Abstromseite übergeleitet. Die Strömung in der Kommunikationsanlage erfolgt allein durch den geringen natürlichen Gradienten mit der maximal zulässigen Aufhöhung auf der Anstromseite von 10 cm. Das Wasser muss nicht gepumpt werden.

Die Bemessung der Horizontallassungen erfolgt nach der Formel, die von Chapmann 1956 auf Basis von Modellversuchen für unvollkommene Stickerschlitze entwickelt wurde. Die Modelluntersuchung hat für jedes Bauwerk die Wassermenge ermittelt, die überzuleiten ist, um den Aufstau auf 0,1 m zu begrenzen. Aus dieser Wassermenge und der zur Verfügung stehenden Potenzialhöhe ergibt sich die erforderliche Strömungslänge der Horizontalfilter. Da sich aus dem zulässigen Aufstau plus dem Gefälle zwischen Entnahme und Rückgabe nur wenige Dezimeter hydraulische Potenzialdifferenz ergeben, sind insgesamt vergleichsweise lange Horizontalbrunnen für Entnahme und Wiederverickerung erforderlich. Das Fassungsvermögen, also der Nachweis genügender Filterfläche zum Eintritt des Grundwassers in die Fassung, ist aufgrund der extrem niedrigen Filtergeschwindigkeiten und der langen Fassungsringe dagegen nicht bemessungsrelevant. Eine Verkürzung der Horizontalfilterbrunnen in Kombination mit einer Vergrößerung des Durchmessers liefert keine gleichwertige Lösung.

3.3 Entwurf der Grundwasserkommunikation

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurden aus allen größeren U-Bahn-Baumaßnahmen in Deutschland, bei denen Grundwasserkommunikationsanlagen ausgeführt worden waren, Ausführungsvarianten und Betriebsfähigkeiten gesammelt. Außerdem wurden die Grundwasser chemisch und bakteriologisch auf die Gefahr von Ausfällungen und Verschleimungsrisiken untersucht. Im Ergebnis wurde für die Grundwasserkommunikation ein System von Horizontalbrunnen, die von tiefreichenden Schächten aus hergestellt und gewartet werden, vorgeschlagen. Die Horizontalbrunnen (Durchmesser 100 mm) wurden mit Längen bis zu 100 m geplant und fächerförmig angeordnet. Die Ausführung dieser Bohrungen ist technisch sehr anspruchsvoll. Von der Anstromseite auf die

Abstromseite wird das Wasser in geschlossenen Rohrleitungen unter den Haltpunkten gedükt.

Mit Bezug auf die Anwenderfähigkeiten müssen die Horizontalbrunnen als Edelstahl-Wickeldrahtfilter ausgeführt werden. Dieses Filtermaterial weist aufgrund seines Filteraufbaus eine hohe Sicherheit gegen Verstopfung und eine im Vergleich zu anderen Filtermaterialien sehr gute Reinigungsmöglichkeiten und Spülbarkeiten auf. Außerdem ist es mechanisch sehr stabil und unempfindlich gegen Korrosion. Die Schlitzweite kann in sehr kleinen Abstufungen variiert und somit den örtlichen Bedingungen angepasst werden. Die Filter sind auf den anstehenden Boden abzustimmen. Hydraulisch ist, nachdem die Horizontalbrunnen vollständig unterhalb des Grundwassers liegen, eine Neigung nicht erforderlich. Textilfilter (Geotextil, Tressen oder Vlies) dürfen nicht verwendet werden, da sich diese nicht bzw. nur sehr schwierige reinigen lassen.

Bohrdurchmesser und Auspandurchmesser müssen aufeinander abgestimmt sein. Der Wickeldrahtfilter muss sich in die gestützte Horizontalbohrung unter Einhaltung seiner mechanischen Belastbarkeit einschieben lassen. Der Zwischenraum zwischen äußerem Bohrdurchmesser und Wickeldrahtfilter ist zur Vermeidung von Auslockerungen im Überlagernden Baugrund auf ein Minimum zu begrenzen. Im Hinblick auf die Reinigungsmöglichkeit ist ein Wickeldrahtfilter DN 100 zu verwenden. Der Bohrdurchmesser ist nach obigen Vorgaben darauf abzustimmen.

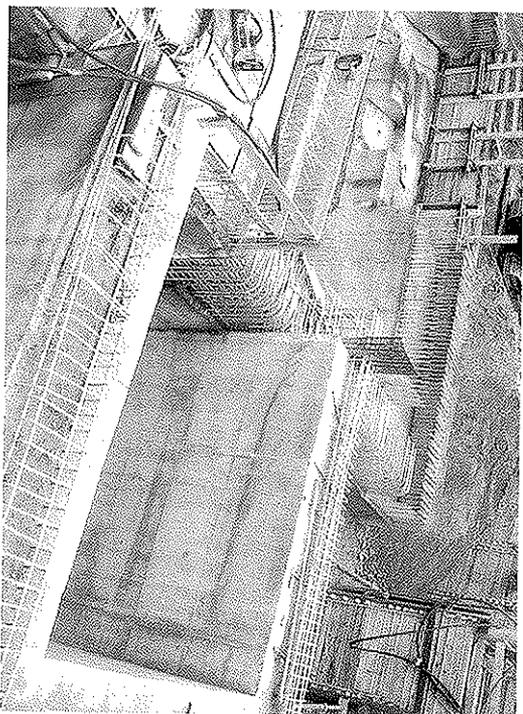


Abb. 5: Schacht der Grundwasserkommunikationsanlage

Die GWK-Schächte bestehen aus Schlitzwandlamellen und wurden als Vorsprünge an den Stationsrohbau angebaut. Sie haben eine tiefe Weite von mindestens 4 m sie sind innen rechteckig ausgeführt. Aus diesen Schächten heraus werden Horizontalbrunnen gebohrt. (Abb. 5)

Der Düker kann sowohl in das Bauwerk integriert als auch unterhalb des Bauwerks ausgeführt werden. Die Horizontalbrunnen sind dabei über Schieber verschließbar und können einzeln gewartet werden. Die Düker sind so anzuordnen, dass sie gereinigt werden können. Über Revisionsöffnungen sind die Kontrolle und die Spülbarkeit der Horizontaldrängen auf Dauer gewährleistet. Bei nachlassender Leistung besteht die Möglichkeit, von den Schächten an vorbereiteten Positionen weitere Horizontaldrängen herzustellen.

3.4 Betrieb und Wartung der Grundwasser-Kommunikationsanlagen

Zunächst ist die Durchführung einer quartalsweisen Inspektion im ersten Jahr, später halbjährlich (Analyseprogramm Sandfreiheit des Wassers, Dokumentation von Eintrittsverlusten in Peilrohren, Kamerabefahrung) erforderlich. Die Überwachung der Funktionsfähigkeit der permanenten Grundwasserkommunikation wird durch Pegel erfolgen. Die Pegel sind bereits hergestellt und mit Datennetz ausgerüstet. Täglich werden 4 Messwerte erfasst und ausgelesen. Die Funktionsfähigkeit der Anlage lässt sich aus dem sich zwischen Anstrom und Abstrom ermittelten Grundwassergefälle nachweisen. Für den HP WLP ist in der Abbildung 6 die Auswertung der erlassenen Daten für ein Pegelpaar dargestellt.

Die Schächte für die Herstellung, Wartung und ggf. Neuerstellung der Horizontalbrunnen erhalten nach derzeitiger Planung eine Schachtabdeckung aus Stahlbeton, die ca. 1,5 m unter GO liegen wird. In dieser Platte ist eine abnehmbare Öffnung von mindestens 2 x 3 m vorgesehen, durch die nach Freilegung der Abdeckung das für die Neuerstellung von Horizontalbohrungen erforderliche Bohrgestüt in den Schacht abgelassen werden kann. Über einer weiteren Öffnung ist über Schachtringe eine Einstiegsöffnung an der Geländeoberfläche geplant, durch die Personal für Wartungs- und Prüfzwecke sowie das erforderliche Kleingerät und Material in der Schacht abgelassen und wieder geborgen werden kann. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen wäre es besser, auch die große Öffnung direkt an der Tagesoberfläche anzunordnen und über den ganzen Schachtquerschnitt auszuweiten.

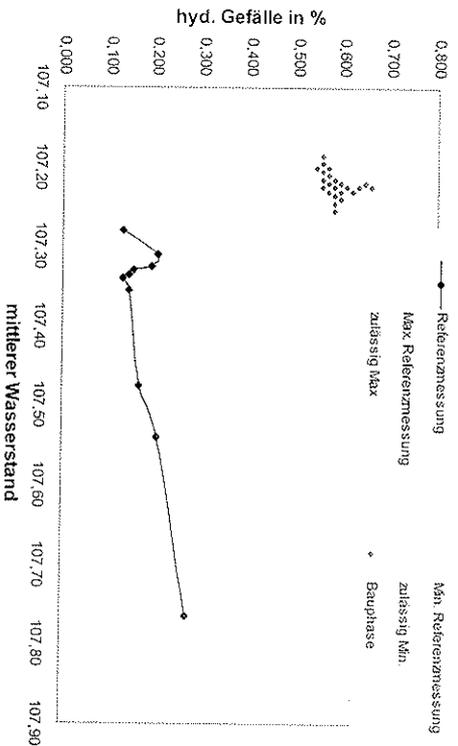


Abb. 6: Ergebnisse der Aufstaubewertung Stand 1/2007

Zur Reinigung der Rohrleitungen und Horizontalbrunnen kommen folgende Verfahren in Frage:

- **Mechanische Verfahren**
Bürsten, spülen und abpumpen (entschlammten und entsanden)
- **Hydromechanische Verfahren**
Wasserstrahl, Hochdruck-Wasserstrahl, Ultraschall; eine Hochdruckreinigung kann über einen Präventer oder ein oberhalb des Grundwasserspiegels liegendes im Normalfall verschlossenes Standrohr erfolgen. Fest sitzende Beläge in der Rohrwandung können damit gelöst und herausgespült werden. Die Spüleintrichtung wird an den Horizontalfilter angeflanscht. Daher sind entsprechende Adapter in Richtung des Filters vorzusehen. Der Filter selber und die Anschlüsse zu den Dückern müssen mit Kugelventilen absperbar sein.
- **Chemische Verfahren**
Einkrusten mit Salzsäure, Ameisen-, Zitronen- und Neutralisationsprodukten, abschnittsweise Behandlung mit Packern, Erzeugung von Kurzschlusströmungen/Zirkulationswalzen- einsetzen: Keimabtötung mit hypochloritahaltiger Lösung.
- **Fe-Hydroxid-Schlämme / Schleime**
gallerartiger Konsistenz können gut mechanisch gereinigt werden. Durch Dehydratation geht der Eisenschlamm in eine feste Form über. Es erfolgt die Bildung von Krusten (Verzierung), die nur noch erschwert chemisch entfernt

werden können. Eine Verzerrung ist durch regelmäßige Inspektionen (TV-Kamerabefahrung, Analysenprogramm) und vorbeugende Maßnahmen (mechanische und chemische Reinigung) zu vermeiden. Konstruktive Vorsorgemaßnahmen sind für die Regenrierung zu konzipieren. Die Reichweite der Wirkung der Regenrierungsmethode ist im Voraus zu berücksichtigen, wobei davon ausgegangen werden muss, dass nicht mit allen Methoden der gesamte Filter erfasst werden kann.

4 Aktueller Stand der Arbeiten

4.1 Ergebnisse des Grundwassermonitoring

Mit Stand 1/2007 sind die Umfassungswände (Schlitzwände) und die Decke des HP Hauptbahnhof bis zur Vorderkante des Bahnhofsgebäudes bereits eingebaut. Aus 3 Vertikalbrunnen werden derzeit ca. 30 m³/h Grundwasser aus dem Anstrom entnommen und direkt in den Vorfluter eingeleitet. Damit wird der zusätzliche Grundwasseranstau auf den Betrag von 0,1 m begrenzt und eine zusätzliche Verlässung des Bahnhofsgebäudes vermieden. Mit der Grundwassermodellierung war für diesen Bauabschnitt eine Überleitmenge von 35 m³/h prognostiziert worden.

Parallel zu den vorgesehenen Maßnahmen der Grundwasserkommunikation im Bereich Hauptbahnhof – Willy-Brand-Platz wurde unabhängig von diesen für den Mittelbau des Leipziger Hauptbahnhofs eine Bauwerksdrainage geplant. Diese gegenseitige Beeinflussung beider Maßnahmen wurde im Rahmen neuer Berechnungsszenarien mit dem Grundwassermodell nachgebildet. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass eine permanente Grundwasserkommunikation nicht mehr erforderlich ist und nach der Errichtung der Drainage auf den Bau der Anlage verzichtet werden kann. Bis zur Inbetriebnahme der Grundwasserhaltung wird die Bauwasserhaltung zur Aufstauvermeidung weiter betrieben. Ausreichende Entnahmekapazitäten bestehen, um auch den erhöhten Grundwasseranstau durch die Arbeiten unter dem Westflügel des Bahnhofsgebäudes sicher zu beherrschen. Die gehobenen Grundwässer werden dauerhaft dem Vorfluter Parthe zugeführt.

Auf Grund von zur Ausführung vorgesehenen veränderten Verbaulösungen an der Nordrampe konnte neben Kostenersparnissen auch die dauerhafte Abriegelung des oberen Grundwasserleiters gemindert werden. Damit konnten die Maßnahmen zur Grundwasserkommunikation deutlich reduziert werden. Derzeit wird weiter an der Optimierung der Lösung gearbeitet. Die Auswertung der Ergebnisse des Grundwassermonitorings bietet die Möglichkeit der Anpassung der Anlage an die im Feld beobachteten Aufstauerscheinungen.

Für den HP-Markt haben sich die prognostizierten Aufstauerscheinungen sehr gut bestätigt. Seit Juli 2006 ist die Baugrube vollständig geschlossen. Am Südkopf sind geringe Aufstaueträge in etwa der zulässigen Höhe von 0,1 m nachzuweisen. Damit bestätigen sich auch hier die Ergebnisse der Modellrechnung sehr gut. Im Anbetracht des zunehmenden Wissensstandes über den Baugrundaufbau durch die direkten Aufschlüsse bei der Baumaßnahme wird damit eine Optimierung der Anlage und eine verbesserte Gefährdungsschätzung für die bestehende Bebauung möglich.

Am Haltepunkt WLP wurde auf eine bauzeitliche GWK-Anlage verzichtet. Die eingetragenen Aufstauerscheinungen sind in Abbildung 6 dargestellt. Die Notwendigkeit zum Einbau der Grundwasserkommunikationsanlage ist nachgewiesen. In Summe wurden mit Stand 12/2006 ca. 0,6 m Aufstau und Absink festgestellt. Die Berechnungen zum Grundwasseranstau hatten in etwa 0,3 m Aufstau prognostiziert. Geht man von gleichen Anteilen Aufstau und Absink zu beiden Seiten des Bauwerkes aus, stimmen die Prognosewerte auch hier sehr gut mit den realen Ereignissen überein. Damit konnte mit Ausführungsstand 12/2006 für alle drei Haltepunkte, die mit einer GWK-Anlage ausgerüstet werden sollten, das zugrundeliegende Berechnungsmodell weitgehend bestätigt werden.

Die Anlagen WLP und Markt werden angepasst an bautechnologische Bedingungen zur Ausführung kommen. Die Anlage am HP-Hauptbahnhof wird wegen der Neuplanung einer dauerhaften Grundwasserhaltung am Hauptbahnhofsgebäude nicht in der geplanten Form notwendig. Änderungen der Ausführung am Bauwerk Nordrampe werden zu weiterer Anpassung führen. Zunächst wird dort derzeit über Vertikalbrunnen eine bauzeitliche Aufstauvermeidung realisiert.

5 Zusammenfassung

Der Bau des City-Tunnel Leipzig ist ausgehend von den geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnissen längs der Trasse, seiner innerstädtischen Lage und nicht zuletzt auch seiner zeitlich vorgegebenen Randbedingungen der Bauausführung ein in jeder Hinsicht besonders schwieriges Bauvorhaben.

Erst die Kenntnis und Nutzung der regionalgeologischen Zusammenhänge, der historischen und künftigen Entwicklung der Stadt und ihres Umfelds schafft in Verbindung mit der umfassenden Nutzung direkter Aufschlüsse und indirekter Aufschlüsse sowie der Untersuchung und kritischen Bewertung der betroffenen geologischen Schichten und hydrogeologischen Verhältnisse die notwendigen Voraussetzungen zur Planung und wirtschaftlichen Lösung der Aufgabe.

Mit Modellen für die komplexe Geologie und die Grundwasserverhältnisse kommen auf Grundlage der detaillierten Erkundung u.a. für die geohydraulischen Verhältnisse Berechnungen durchgeführt werden, auf deren Grundlage die tatsächlichen Verhältnisse gut vorhergesagt werden konnten. Die Anlagen für die Grundwasserkommunikation konnten dadurch mit einer hohen Planungssicherheit wirtschaftlich entworfen werden. Durch ein flächendeckendes Grundwassermonitoring konnten die Grundwassermanagementsysteme auch während der Ausführung noch auf veränderte Verhältnisse aus anderen Baumaßnahmen / geohydraulischen Veränderungen reagiert werden. Nur durch die vorgenannten Maßnahmen ist es möglich ein wirtschaftliches und dauerhaftes Bauwerk zu entwerfen, zu bauen und zu betreiben.

6 Literaturverzeichnis

- Ingenieurgesellschaft CDM Consult / Dr. Spang (1998)
City-Tunnel Leipzig – Geotechnisches Gutachten zur Planfeststellung.
- Ingenieurgesellschaft CDM Consult / Dr. Spang (1999)
City-Tunnel Leipzig - Vertiefende Erkundungen und Untersuchungen der Trasse des geplanten City-Tunnels im Zuge des Baugrubenaushubs der Jurdicuum-Passage Leipzig.
- Ingenieurgesellschaft CDM Consult / Dr. Spang (2001)
City-Tunnel Leipzig - Geotechnischer Bericht nach DIN 4020 (2001);
City-Tunnel Leipzig, Haltepunkt Markt.
- Ingenieurgesellschaft CDM Consult / Dr. Spang (2001)
City-Tunnel Leipzig - Hydrogeologisches Gutachten.
- Ingenieurgesellschaft CDM Consult / Dr. Spang (2003)
City-Tunnel Leipzig – Bauvorhaben Marktgalerie Leipzig Vertiefende Erkundungen und Untersuchungen im Zuge der Baugrubenherstellung und des Baugrubenaushubs.
- Louda, K. (1961)
Wassertechnik: Beitrag zur Berechnung von Horizontalfiltertrümmen. Wassertechnik, 11. Jahrgang, Heft 3.
- Nemecek, E. P. (1961)
Wassertechnik: Horizontalfiltertrümmen zur Grundwassergewinnung. Wassertechnik, 11. Jahrgang, Heft 3.

Procher, M. (1985)
Die Grundwasserdücker- und Überleitungsanlagen der U-Bahnlinie U 8/1 mit einer Beurteilung ihrer hydraulischen Wirksamkeit und rechnerischen Bemessung. Technische Universität München.

Scheffler, H.; Spang, R.M. (2004)
Geotechnische Verhältnisse im Zentrum von Leipzig und deren Bedeutung für Planung und Ausführung des Bauvorhabens City-Tunnel Leipzig. Vorträge der Baugrundtagung in Leipzig. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Gluckauf GmbH., 13-22.

Ulrichs, K. R. (1987)
Tunnelbau: Tunnelbauten in offener Baugrube. WIX + LIESENHOF, Dortmund, Beton- und Monierbau, Innsbruck.