



Abb. 1 Streckenverlauf Noord/Zuidlijn

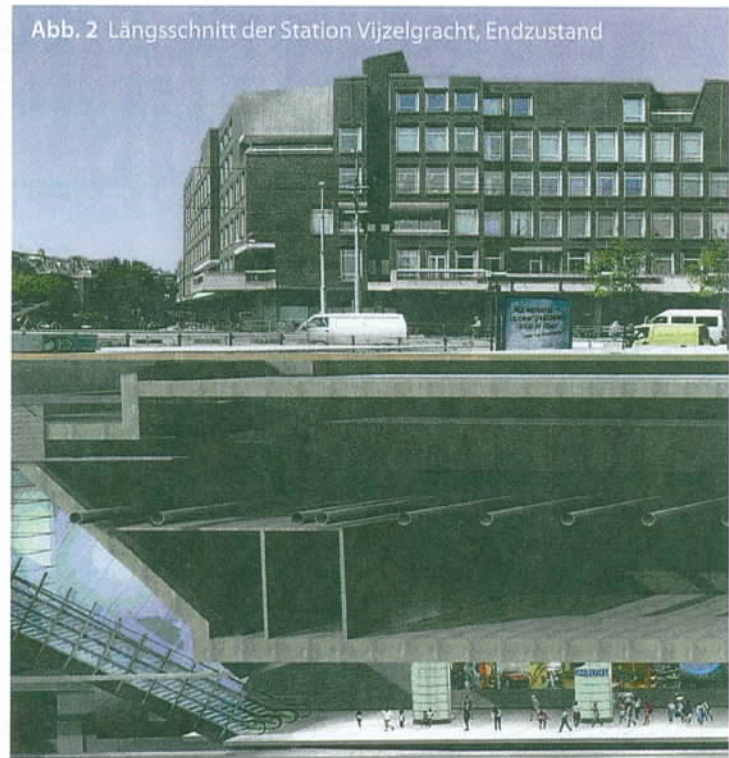


Abb. 2 Längsschnitt der Station Vijzelgracht, Endzustand

## Vakuumbrennentechnik bei der U-Bahn Amsterdam

**Grundwassermanagement** ■ Im Rahmen der Ausbaurbeiten des Streckennetzes der U-Bahn in Amsterdam ist eine besondere Aufgabe zu bewältigen: Für den Bau einer U-Bahn-Station erfordert die Sicherung des Baugrundes die Entspannung eines kritischen Aquifers. Das Problem wird durch Einbau von 80 Vakuumtiefbrunnen in Tiefen von bis zu 44 Metern gelöst.

Amsterdam baut eine neue Metro-Linie, die „Noord/Südlijn“ (Nord/Süd-Line). Das Herz von Amsterdam, die historische Innenstadt, soll mit dieser Verbindung direkt an die nördlichen und südlichen Stadtteile angebunden werden. Mit einer Gesamtlänge von 9,7 km verläuft die Metro, von Norden aus gesehen, über die Stationen Buikslotermeerplein, Johan van Hasseltweg, Centraal Station, Rokin, Vijzelgracht, Ceintuurbaan und Europaplein zur Station Zuid/WTC. In **Abbildung 1** ist der Streckenverlauf dargestellt.

Die beiden nördlichen Stationen werden oberirdisch erstellt. Im weiteren Verlauf wird die Strecke über 7,5 km, davon 3,8 km bergmännisch aufgeföhren, unter

dem IJ, der Centraal Station sowie der Innenstadt bis zum Europaplein unterirdisch verlaufen. Die abschließende Station Zuid/WTC besteht bereits und bietet wie die Centraal Station Umstiegsmöglichkeiten zu den bestehenden Amsterdamer Metros sowie Regional- und Fernverkehrszügen. Im April 2003 wurde mit der Ausführung begonnen. Die ersten Bahnen werden die Strecke voraussichtlich im Jahre 2017 passieren können.

### Die Station Vijzelgracht

An der Station Vijzelgracht ist die Hölscher Wasserbau GmbH mit dem Grundwassermanagement beauftragt. Vijzelgracht zählt neben Rokin und Ceintuurbaan zu den tiefsten Stationen (ca. 30 m Aushubtiefe) der Strecke. Die

ungefähr 18 m breite Metrostation erstreckt sich über eine Länge von 270 m. **Abbildung 2** zeigt einen Längsschnitt der geplanten Metrostation. Es wurde eine Schlitzwandbox erstellt, deren Elemente bis in eine Tiefe von ca. 45 m abgeteufelt wurden. Die Schlitzwände sind wechselseitig mit einhergehender Umlegung des Verkehrs errichtet worden. Um den Straßenverkehr über die Bauzeit aufrecht erhalten zu können und die Umgebung nicht übermäßig zu beeinflussen, wurde die Deckelbauweise ausgewählt. Unter dem stetigen Aushub in der Baugrube wurden Aussteifungslagen sowie die planmäßige Zwischendecke eingebaut. Nach dem Aushub auf die finale Tiefe werden die Tunnelbohrmaschinen die Vijzelgracht passieren. Im Endzustand sollen in der



Station auf der untersten Ebene die Bahnen der Metro verkehren. Der Raum über der eigentlichen Metrohaltestelle soll eventuell teilweise als automatisierte Parkgarage genutzt werden.

#### Geologie

Im Zentrum der Stadt Amsterdam im Bereich der Station bzw. Baugrube Vijzelgracht stehen maritim sedimentierte Lockergesteine in dieser Abfolge an:

- Oberflächenniveau ungefähr 1,0 mNAP („Normaal Amsterdams Peil“ entspricht müNN),
- bis zu einer Tiefe von -2,0 mNAP Anfüllung,
- bis -4,5 mNAP Hollandveen,
- bis -7,0 mNAP Oude Zeeklei,
- wechsellagige Meeressedimente bis -12,5 mNAP,
- bis -14,0 mNAP 1. Sandschicht,
- bis -17,5 mNAP Alleröd-Sedimente,
- bis -26,0 mNAP 2. Sandschicht,

- bis -28,5 mNAP Übergangsschicht,
- dann die entscheidende Meeresablagerung als nahezu undurchlässige Schicht des sogenannten Eemkleis bis zur Basis von -40,0 mNAP im Norden und -41,0 mNAP im Süden der Baugrube.

Die unterliegende Zwischensandschicht mit einer Schichtdicke von nur 0,5 bis 1,5 m stellt als gespannter und gering wasserführender Grundwasserleiter ►

## SiLibeads® – lassen Brunnen länger sprudeln

### INNOVATIONS

#### Glaskugeln als Ersatz für Filterkies in Brunnen

- SiLibeads Glaskugeln entsprechen den Anforderungen des § 31 LFGB und Artikel 3 der Verordnung (EG) Nr. 1935/2004, somit entfällt die Desinfektion vor der Befüllung
- Einkornschüttung ermöglicht optimale Anpassung der Filterschlitzöffnungen
- Kein Materialbruch beim Befüllen des Ringraumes, somit bleiben Filterschlitzöffnungen frei
- Harmonische Kugelform und einheitliche Kugelgröße verhindern Brückenbildung beim Befüllen des Ringraumes
- Klar- bzw. Entsandungspumpen nach dem Befüllen entfällt
- Höchstmöglicher Wasserdurchfluss auf Grund exakt gleicher Korngröße und Kugelform
- Eisen- und Manganverockerung reduziert sich um bis zu 40%, dadurch lassen sich Kosten für Brunnenregenerierarbeiten einsparen

**SIGMUND LINDNER GmbH** • Oberwarmersteinacher Str. 38 • D-95485 Warmersteinach  
 Phone (+49) 92 77 - 99 40 • Fax (+49) 92 77 - 9 94 99 • E-Mail: [sili@sigmund-lindner.com](mailto:sili@sigmund-lindner.com)  
[www.sili.eu](http://www.sili.eu)

Gefördert vom  
 Bundesministerium  
 für Wirtschaft und  
 Technologie auf Grund  
 eines Beschlusses  
 des Deutschen  
 Bundestages



großes Gefährdungspotenzial für einen hydraulischen Grundbruch dar. Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  liegt im Mittel bei  $10^{-5}$  bzw. in den Grenzbereichen zwischen  $2 \cdot 10^{-6}$  bis  $2 \cdot 10^{-5}$ . Bei der Zwischensandschicht handelt es sich geotechnisch um einen Feinstsand mit 15 bis 20 Prozent Schluffanteilen. Darunter stehen die glazialen Drenthe- und Warvenkleie in einer Gesamtmächtigkeit von 9,0 m an, bevor die wasserführende und gespannte 3. Sandschicht beginnt. Die Bodenschichtung ist mit dem Bauwerksquerschnitt in **Abbildung 3** dargestellt.

### Aufgabenstellung

Die mit dem vorhandenen Messstellennetz ermittelten Ruhewasserstände der Zwischensandschicht liegen im Norden bei -10,0 mNAP und im Süden bei

-17,0 mNAP. Im 2. artesischen Aquifer, der dritten Sandschicht, sind Druckhöhen von -2,5 mNAP festgestellt worden. Die hydrogeologische Situation wird in **Abbildung 3** verdeutlicht. Diese Wasserstände führen bei dem erforderlichen Maximalaushub bis -32,0 mNAP zu einer Grundbruchgefahr. Das Grundwassermanagement der Hölscher Wasserbau GmbH umfasst die im Bauprozess vorgesehene Entspannungswasserhaltung der Zwischensandschicht, die zusätzlich zur Hauptwasserhaltung (Wasserhaltung der vom Aushub betroffenen Sandschichten) notwendig ist. Die 3. Sandschicht bleibt unberührt. Generell können so zwei maßgebende Versagensbedingungen, zum einen ein Aufbrechen des Bodens aus der Zwischensandschicht und zum anderen aus der dritten Sandschicht heraus,

formuliert werden. Die aus den großen Baugrubenabmessungen resultierende Anzahl der erforderlichen Absenkbrunnen der Zwischensandschicht sollen die Gefahr eines Grundbruchs aus dieser verringern. Der anstehende Feinstsand mit dem geringen Durchlässigkeitsbeiwert führte zu dem technischen Vorschlag, die Absenkbrunnen als Vakuumtiefbrunnen zu installieren. Somit konnte Sicherheit durch eine verbesserte Entwässerung und eine erweiterte bodenstabilisierende Wirkung durch die Vakuumbeaufschlagung erreicht werden. Als weiteres Sicherungssystem wird ab der Aushubtiefe von -26,0 mNAP zusätzlich eine Überdruckanlage den Baugrund gegen Aufbruch resultierend aus der 3. Sandschicht heraus absichern.

Eine weitere Anforderung war die Verwendung größtmöglicher Brunnenabstände sowie Vermeidung von Platzierungen in der Baugrubenmitte. Damit sollte ein schneller und wirtschaftlicher Aushub garantiert werden. Des Weiteren bestand die Herausforderung an der Sicherstellung der kurz gesteckten Ausführungstermine für die Brunneninstallation, um die Aushub- und Betonierarbeiten nicht zu behindern. Dies konnte durch eine logistisch anspruchsvolle Arbeitsteilung mehrerer Bohrtrupps sichergestellt werden.

Erschwerend zu den vorher genannten Bedingungen mussten bohrtechnisch die gespannten Wasserstände der Zwischensandschicht beherrscht werden. Dazu wurde vorlaufend der Bestand der Filterstrecken im Aquifer genutzt, um druckentlastende Pumparbeiten durchzuführen. Damit konnten die Bohrungen sicher abgeteufelt und mit Brunnenausbaumaterial sowie Kies und Abdichtungsmaterialien sauber eingebracht werden.

### Das System

Die oben genannten Anforderungen konnten durch Verwendung eines Systems bestehend aus Vakuumtiefbrunnen und komplexer Steuerungstechnik erfüllt werden. Vakuumtiefbrunnen sind Tiefbrunnen mit einer zusätzlichen Beaufschlagung von Unterdruck auf den Brunnenraum. Somit wird auch auf den zu entspannenden Grundwasserleiter

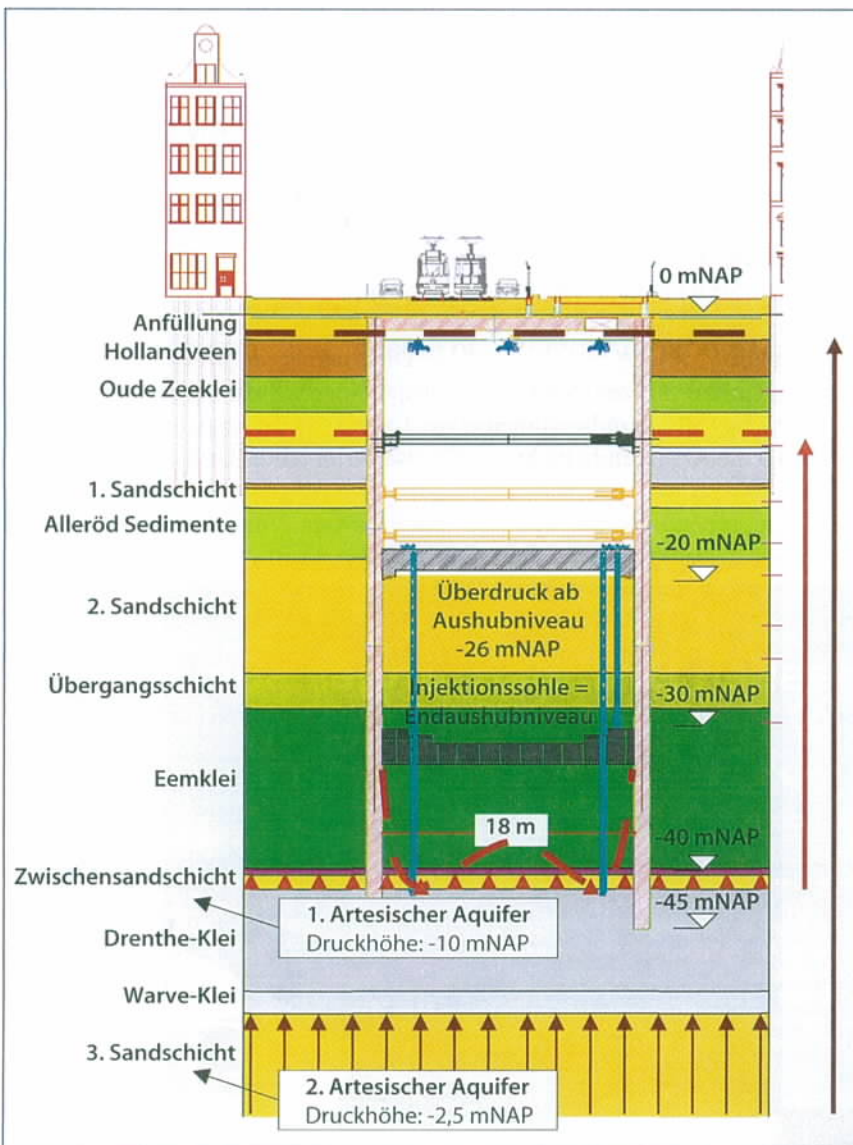


Abb. 3 Geologische und hydrogeologische Aspekte zum Bauwerk

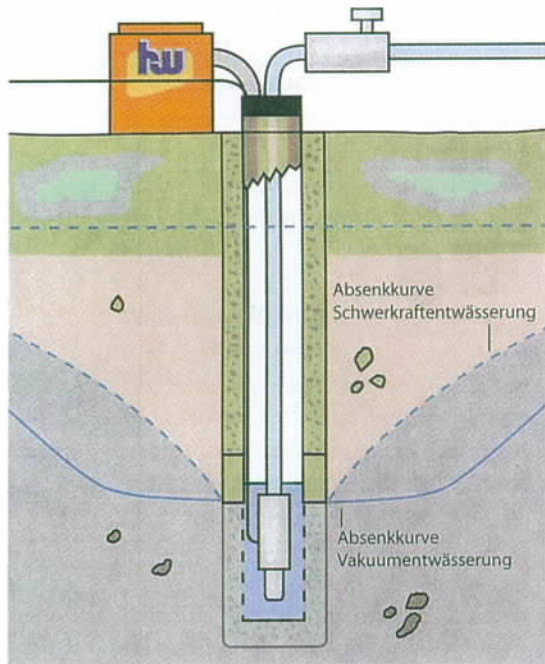


Abb. 4 Vergleich Schwerkraftentwässerung und Vakuumentwässerung

die Charakteristik der Absenkwirkung verändert. Das Entspannungsgefälle wird im angewandten System durch die Aufbringung von Unterdruck erhöht. Der wirksame Brunnenraum und die Absenkkurven verändern sich. Dies ist für einen größeren Wasserandrang sowie eine größere Entspannungswirkung verantwortlich. Das führt zu einem erweiterten, konstanten Anströmungsbereich an der Entnahmestelle, im Gegensatz zur Absenkspitze der Schwerkraftentwässerung (Abb. 4).

Durch die größere abzapfende Wassermenge, die proportional zum Entspannungsgefälle ansteigt, wird ein geringerer Maximalwert der Druckhöhe in der Baugrube erreicht bzw. bei größerem Brunnenabstand das gleiche Absenkniveau. Vergrößerte Brunnenabstände ermöglichen die weitgehende Freihaltung des Baugrubenraums.

In der ersten Betriebsphase ermöglicht die Vakuumwasserhaltung allein den Aushub von -22,5 mNAP bis -26 mNAP. In der anschließenden Aushubphase bis zur Endtiefe auf -32 mNAP wird die Baugrube zusätzlich mit Druckluft beaufschlagt, um die Sicherheit gegen einen Bodenaufbruch vollständig zu gewährleisten. Die Größe des in die Baugrube eingeleiteten Überdruckes hängt von der durch das Grundwassermanagement erreichten Druckhöhe der



Abb. 5 Bohrarbeiten in der Station Vijzelgracht

Zwischensandschicht und der Druckhöhe der 3. Sandschicht ab. Da beide Systeme aufeinander abgestimmt werden können, bieten sie die größtmögliche Sicherheit. Dabei bleibt festzuhalten, dass das Druckluftsystem allein nicht wünschenswert wäre und dass nur die Entspannung nicht die volle Sicherheit garantieren könnte. Bei einer alleinigen Entspannung würde der Druck der unterliegenden, nicht entspannten 3. Sandschicht zum Problem werden. Eine Baugrundsicherung

nur mit dem Überdrucksystem würde zu hohen Überdrücken führen und die Arbeitszeiten im Überdruckraum aus arbeitsschutztechnischen Gründen stark reduzieren und so einen wirtschaftlichen Bauprozess nicht ermöglichen.

**Aufbau der Grundwasser-  
management Anlage:  
Brunnen**

In dem zur Verfügung stehenden Zeitfenster wurden zunächst von der ▶

**Verteilerschacht aus PE**



- VERSCHLISSBARER DECKEL
- Rund Ø 1000 mm
- Höhe 1200 mm
- für 2-8 fach Verteiler

Tel.: 07024/929242  
Fax: 07024/929244  
Neuffenstraße 78  
D 73240 Wendlingen  
www.m-colshorn.de



**DANWELL**

**Ein vollisolierter Schacht**

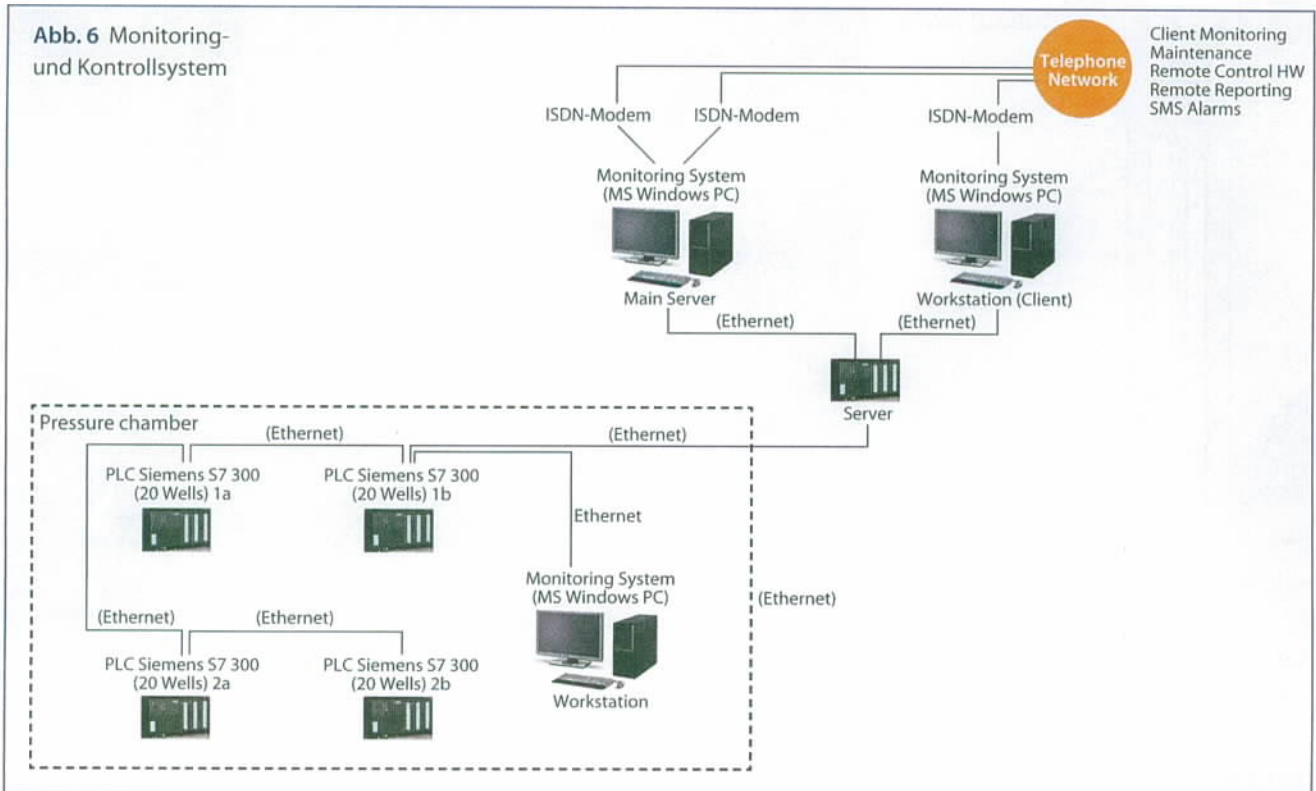
für Wasserzähler und weitere technische Installationen wie Brunnenstufen, Pegelmessstellen, Erdwärmeverteiler und Ventilsysteme.



Frostgeschützt – Sicher – Zuverlässig  
**DANWELL ApS**

Vertrieb Deutschland:  
HILU-Brunnensfilterbau / D-14943 Luckenwalde  
www.hilu-brunnensfilter.de / Tel.: +49 33 71 / 63 25 80  
Hersteller:  
DANWELL ApS / DK-8700 Horsens  
www.danwell.com / Tel.: +45 7020 / 4323

**Abb. 6** Monitoring- und Kontrollsystem



Bohrebene -20,5 mNAP bis ungefähr -34,0 mNAP die Bohrungen mit zwei Bohranlagen mit 380 mm Durchmesser im Direkt-Spülbohr-Verfahren vorgebohrt und stabilisierend mit PVC-Rohren DA 315 verrohrt. Der Ringraum 380 x 315 mm wurde mit Brunnendämmer abgedichtet. Im Rollsystem wurden dann mit zwei leichten Direkt-Spülbohranlagen und mit zeitlich vorlaufender Grundwasserdruckentlastung durch Entspannung über den zuvor gebohrten Brunnen die Bohrungen mit einem Durchmesser von ca. 300 mm auf die Endteufe von -44,5 mNAP abgeteuft (Abb. 5). Es wurden keine Spülungszusätze verwendet. Nach Erreichen der Endteufe und vor Einbau des Brunnenausbaumaterials erfolgte der Totspülungsaustausch gegen Klarwasser. Durch die vorlaufenden Pumparbeiten und die dadurch erreichten Druckentlastungen in der Zwischensandschicht konnte der Einbau der Edelstahlwickeldrahtfilter DN 100 mit Schlitzweiten von 0,1 mm und einer Einbaulänge von 4,0 m sicher erfolgen. Die Brunnenvollrohre wurden in PEHD ausgeführt, um mechanische Schäden durch Erdbaufahrzeuge während der Aushubphase zu vermeiden. Die Muffenverbindungen wurden druck- und vakuumfest gewählt.

Die Ringraumverkiesung 300 x 100 mit Quarzfilterkies Fraktion 0,2 bis 0,5 mm bzw. 0,4 bis 0,8 mm, je nach Filterkonvektion, zwischen -44,5 und -39,0 mNAP konnte eingebracht werden. Die Verwendung dieser feinen Ringraumverkieselung und der Wickeldrahtfilter ist außergewöhnlich filigran und resultiert aus den vorhandenen Feinständen. Eine Ringraumverfüllung mit Quellton als plastische und durchschlagsichere Vorabdichtung zwischen -39,0 und -35,0 mNAP gelang ebenfalls so gut, wie die Verpressung des verbleibenden Ringraumes mit Brunnendämmer von -35,0 mNAP bis zum Fuß der 2. Sandlage bei -26,0 mNAP. Somit konnte die Brunnenkonstruktion druck- und vakuumfest sowie sicher gegen mechanische Beschädigungen durch den Baubetrieb in der Grube gestaltet werden.

### Vakuum, Pumpen und Steuerungsanlage

Zur Gewährleistung einer besten Betriebssicherheit wurde das Grundwasser-managementsystem über eine EMSR-Anlage gesteuert (Elektronische Mess-, Steuer- und Regeltechnik) (Abb. 6). In den einzelnen Brunnen sind Unterwasserpumpen installiert worden, die einen Meter über der Brunnensohle hängen und über die EMSR entweder

automatisch oder per Handeingabe ein- und ausgeschaltet werden können. Dabei wird jede einzelne Pumpe separat gesteuert. Durch diese Art der Steuerung soll eine möglichst hohe Leistungsfähigkeit erreicht und ein Ausfall mehrerer Pumpen zum gleichen Zeitpunkt verhindert werden. Die automatische Steuerung erfolgt über die den einzelnen Brunnen vorgegebenen Ein- und Ausschaltwasserstände, die durch in die Brunnen integrierte Drucksonden kontinuierlich gemessen werden. Zusätzlich werden die Wasserstände in externen Pegeln gemessen, um zu kontrollieren, ob die Absenkung ihren gewünschten Grad erreicht und die theoretisch errechneten Absenkungen bestätigt werden können. Für die Vakuumbeaufschlagung sind jeweils acht Brunnen an eine Vakuumluftpumpe angeschlossen. Der Unterdruck wird über Absaugleitungen, die an den Brunnenkopf angeschlossen sind, im Brunninnenraum erzeugt und so auf den Aquifer übertragen. Auch die Vakuumpumpen werden wie die Unterwasserpumpen über die EMSR separat gesteuert.

### Risikoanalyse, Systemtest und Risikominimierung

Um die Grundwassermanagementanlage unter der komplexen Rand-

bedingung, der Entspannung eines feinstsandigen, dünn-schichtigen Aquifers, bemessen zu können, wurde im Sommer 2010 ein Praxistest durchgeführt. An ausgewählten Stellen im Norden und Süden der Baugrube wurden je sechs Testbrunnen installiert und angefahren. Die Ausführung des Testlaufes mit den Brunnentypen und der Anlagentechnik entsprach der umgesetzten Ausführung der Grundwasser-Managementanlage der gesamten Baugrube. Auf Grundlage der Ergebnisse der Pumpversuche in verschiedenen Variationen (mit und ohne Vakuum, verschiedenen Absenkzielen und Wiederanstieg des Wassers) wurde ein Grundwassermodell erstellt. Mit diesem Finite-Elemente-Modell wurden verschiedene Varianten der Grundwasser-Entspannung theoretisch untersucht. Hierbei war vor allem die Risikominimierung von größter Bedeutung. Um dennoch die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage und des restlichen Baubetriebes nicht zu vernachlässigen, wurden möglichst große Brunnenabstände festgelegt. Mit der Bemessung ging auch eine Risikoanalyse einher.

Dazu wurden in einer komplexen Matrix mögliche Risikoszenarien erfasst und bewertet. Des Weiteren wurde definiert, wie diese zu messen und überwachen sind. Auf Grundlage dieser Risikoanalyse wurde beispielsweise die Redundanz der eingesetzten Systeme verlangt. Die Tatsache, dass jeder Brunnen einzeln

gesteuert werden kann, birgt den Vorteil, bei einer lokalen Störung nur einen ausgefallenen Brunnen zu haben. Die Vakuumbeaufschlagung ist so installiert, dass nicht Brunnen in Reihe bei einer Pumpenstörung ausfallen können. Hierbei würde nur jeder zweite Brunnen ausfallen und die globale Sicherheit so gegenüber dem Reihenausfall vergrößern. Im Falle einer Störung im System würde durch die automatische Steuerung der EMSR-Anlage Alarmmeldungen an die zuständigen Personen per SMS versendet. So wird eine schnellstmögliche Fehlerbeseitigung und ein hohes Sicherheitsniveau erreicht. Bei einem eventuellen Totalausfall des Grundwasser-Managementsystems könnte das Druckluftsystem die Sicherheit durch temporäre Erhöhung des Überdruckes gewährleisten. Diese temporäre Druckerhöhung wurde aus Sicherheits- und Gesundheitsschutzgründen aber zu einer verminderten Arbeitsleistungsfähigkeit führen.

### Zusammenfassung und Ausblick

Für die geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen in Amsterdam konnte eine leistungsfähige und sicherheitstechnisch auf höchstem Niveau arbeitende Anlage des Grundwasser-Managements installiert werden. Besondere Gegebenheiten erforderten es, eine für die Lokalität geeignete Lösung zu finden. Im innerstädtischen Tunnelbau wird es immer wichtiger, die Sicherheit gegen direkte oder indirekte

Beeinträchtigungen der hohen Güter des Lebens, der Umwelt und der Bebauung zu gewährleisten: Sei es der hydraulische Grundbruch, den es zu verhindern gilt, oder die Beibehaltung von Grundwasserständen außerhalb von Baugruben, damit es nicht zu ungewollten Setzungen oder Beeinträchtigung der städtischen Vegetation kommt. Hierfür sind konsequentes Grundwasser-Management und eine vorhergehende weitläufige Erkundung des von der Baumaßnahme beeinträchtigten Gebietes erforderlich. Nach der Ermittlung der Risiken und Prioritäten einer Baumaßnahme kann so ein auf die Anforderungen individualisiertes, leistungsfähiges Ausführungskonzept entwickelt werden.

Abbildungen: Abb. 1 u. 2: Dienst Noord-Zuidlijn Amsterdam, Abb. 3-6: Hölscher Wasserbau GmbH



### Autoren:

B. Eng. Henrik Koers  
 Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Kropp  
 Dipl.-Ing. (FH) Tim Röder  
 Hölscher Wasserbau GmbH  
 Hinterm Busch 23  
 49733 Haren  
 Tel.: 0201 83116-12  
 Fax: 0201 83116-25  
 E-Mail: info@hoelscher-wasserbau.de  
 Internet: www.hoelscher-wasserbau.de

**Wasserhaltung  
Brunnenbau  
Umwelttechnik**




**hölscher  
wasserbau**

www.hoelscher-wasserbau.de

  
member of IPILOCA

  
ZERTIFIZIERUNG  
**BAU**

  
Verein für die Präqualifikation von Bauunternehmen e.V.



Postfach 21 51  
D-49727 Haren / Ems