

Risikominimierung durch komplexes Grundwassermanagement-System bei der „Noord Zuidlijn Amsterdam“

Die historische Innenstadt Amsterdams soll mit der neuen 9,7 km langen Metro Noord/Zuidlijn an die nördlichen und südlichen Stadtteile angebunden werden. Der folgende Beitrag betrachtet das komplexe Grundwassermanagement dieses Projekts.

Projekt Noord Zuidlijn

Amsterdam baut eine neue Metro-Linie, die „Noord/Zuidlijn“ (Nord/Süd-Linie). Das Herz von Amsterdam, die historische Innenstadt, soll mit dieser Verbindung direkt an die nördlichen und südlichen Stadtteile angebunden werden. Mit einer

Henrik Koers, Ulrich Kropp, Tim Röder; Hölscher Wasserbau GmbH, Haren/D
info@hoelscher-wasserbau.de

Gesamtlänge von 9,7 km verläuft die Metro, von Norden aus gesehen, über die Stationen Buikslotermeerplein, Johan van Hasseltweg, Centraal Station, Rokin, Vijzelgracht, Ceintuur-

Minimising Risks through complex Groundwater Management for the Amsterdam North/South Line

Amsterdam's historic centre is to be linked to the northern and southern suburbs by means of the new 9.7 km long North/South Metro line. The following report examines the project's complex groundwater management.

North/South Line Project Amsterdam is engaged in building a new Metro line, the North/South Line (Noord/Zuidlijn). The core of Amsterdam, the historic downtown area, is to

be linked directly with the northern and southern suburbs by means of this connection. With an overall length of 9.7 km the Metro will run from the north via the stops Buikslotermeerplein, Johan van Hasseltweg, Centraal Station, Rokin, Vijzelgracht, Ceintuurbaan and Europaplein to the

Längsschnitt Endzustand
Longitudinal section final state



baan und Europaplein zur Station Zuid/WTC. In Bild 1 ist der Streckenverlauf dargestellt.

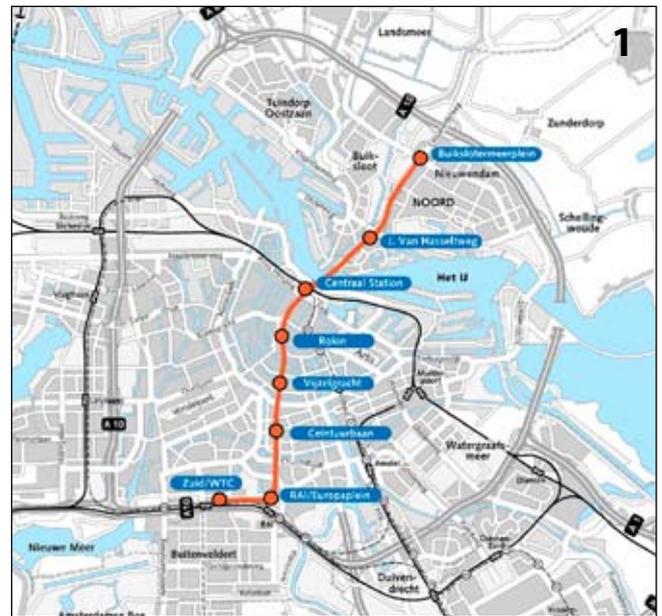
Die beiden nördlichen Stationen werden oberirdisch erstellt. Im weiteren Verlauf der Strecke über eine Länge von 270 m. Bild 2 zeigt einen Längsschnitt der geplanten Metrostation. Es ist eine Schlitzwandbox erstellt worden, deren Elemente bis in eine Tiefe von ca. 45 m abgeteufelt wurden. Die Schlitzwände sind wechselseitig mit einhergehender Umlenkung 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

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 ca. 18 m breite Metrostation erstreckt sich über eine Länge von 270 m. Bild 2 zeigt einen Längsschnitt der geplanten Metrostation.

Es ist eine Schlitzwandbox erstellt worden, deren Elemente bis in eine Tiefe von ca. 45 m abgeteufelt wurden. Die Schlitzwände sind wechselseitig mit einhergehender Umlenkung 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



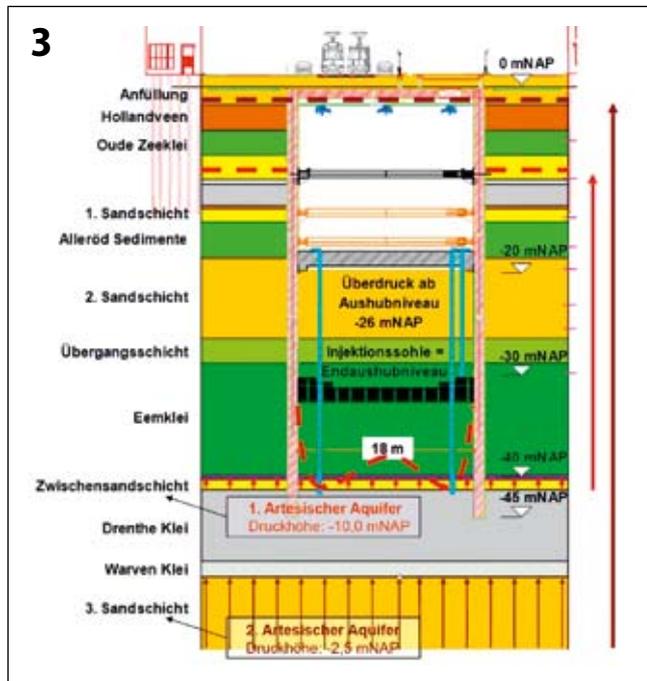
Streckenverlauf Noord-Zuidlijn
North-South Route

Zuid/WTC Station. Fig. 1 shows the route alignment.

The 2 northern stations are to be constructed above ground. Then the line will run for a distance of 7.5 km underground, with 3.8 km driven by mining means, below the IJ, the Centraal Station

as well as the city centre until the Europaplein. The terminal Zuid/WTC Station already exists and like the Centraal Station affords opportunities to transfer to the existing Amsterdam Metro routes as well as regional and main-line trains. Work commenced in





Geologische und hydrogeologische Aspekte zum Bauwerk
Geological and hydrogeological aspects of the structure

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

Geologie

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

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

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

Die unterliegende Zwischensandschicht mit einer Schichtdicke von nur 0,5 bis 1,5m stellt als gespannter und gering wasserführender Grundwasserleiter ein großes Gefährdungspotenzial für einen hydraulischen Grundbruch dar. Der Durchlässigkeitsbeiwert k_f liegt im Mittel bei 10^{-5} bzw. in den Grenzbereichen zwischen 2×10^{-6} bis 2×10^{-5} . Bei der Zwischensandschicht handelt es sich geotechnisch um einen Feinstsand mit 15 bis 20% Schluffanteilen.

Darunter stehen die glazialen Drenthekleie und Warvenkleie in einer Gesamtmächtigkeit

April 2003. The first trains are scheduled to run over the new route in 2017.

Station Vijzelgracht

Hölscher Wasserbau GmbH has been commissioned to undertake the groundwater management at Station Vijzelgracht. Along with Rokin and Ceintuurbaan, Vijzelgracht is numbered among the deepest stations (roughly 30m excavation depth) along the route. The approx. 18m wide Metro station is some 270m in length. Fig. 2 displays a longitudinal section of the planned Metro station.

A diaphragm wall box has been created down to a depth of about 45m. The diaphragm walls are set up in such a way as to cope with the changing flow of traffic. The cut and cover method was selected to ensure that road traffic could be kept running during the period of construction and avoid influencing the surroundings to an excessive degree. Reinforcing beams as well as the scheduled intermediate ceiling were installed as the pit was being excavated. Once the final depth is reached the tunnel boring machines will pass through the Vijzelgracht. In its final state the Metro trains will run at the lowest level of the station. The space above the actual Metro station will probably partially be used as an automated parking facility.

Geology

Maritime sedimented soft ground in the following sequence is located at the station/excavation pit Vijzelgracht in the centre of Amsterdam:

- Surface level approx. 1.0m NAP (“Amsterdam Ordnance Datum” – corresponding to m ASL)

- Fill down to a depth of -2.0m NAP
- to -4.5m NAP Hollandveen
- to -7.0m NAP old marine clay
- alternating marine sediments till -12.5m NAP
- to -14.0m NAP 1st sand layer
- to -17.5m NAP Alleröd sediments
- to -26.0m NAP the 2nd sand layer
- to -28.5m NAP transition layer
- then the decisive marine deposit as a practically impermeable layer of so-called Eem clay down to the base of -40.0m NAP in the north and
- -41.0m in the south of the excavation.

The underlying intermediate layer of sand, which is only 0.5 to 1.5m thick, represents a serious potential danger for a hydraulic shear failure as a confined aquifer carrying only little water. The permeability coefficient k_f averages out at 10^{-5} or between 2×10^{-6} to 2×10^{-5} in the border areas. In geotechnical terms the intermediate sand layer is an ultra fine sand with a 15 to 20% of silt.

Glacial Drenthe clays and Warven clays are to be found underneath with a total thickness of 9.0m before the confined, water-bearing third sand layer begins. Fig. 3 presents the soil strata together with the structural cross-section.

Task

The respective water levels of the intermediate sand layer amount to -10.0m NAP in the north and -17.0m NAP in the south as established by the existing system of measuring points. In the 2nd artesian aquifer of the 3rd sand layer pressure levels of -2.5m NAP have been established. Fig. 3 displays the hydrogeological situation.

von 9,0m an, bevor die Wasser führende und gespannte 3. Sandschicht beginnt. Die Bodenschichtung ist mit dem Bauwerksquerschnitt in Bild 3 dargestellt.

Aufgabenstellung

Die mit dem vorhandenen Meßstellennetz ermittelten Ruhewasserstände der Zwischensandschicht liegen im Norden bei - 10,0m NAP und im Süden bei - 17,0m NAP. Im 2. artesischen Aquifer, der 3. Sandschicht, sind Druckhöhen von - 2,5m NAP festgestellt worden. Die hydrogeologische Situation wird in Bild 3 verdeutlicht.

Diese Wasserstände führen bei dem erforderlichen Maximalaushub bis - 32,0m NAP 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 2 maßgebende Versagensbedingungen, zum Einen ein Aufbrechen des Bodens aus der Zwischensandschicht und zum Anderen aus der 3. 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 Vakuumtiefburgen zu installieren. Somit konnte Sicherheit durch

eine verbesserte Entwässerung und eine erweiterte Boden stabilisierende Wirkung durch die Vakuumbeaufschlagung erreicht werden. Als weiteres Sicherungssystem wird ab der Aushubtiefe von - 26,0m NAP 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 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 Druck entlastende Pumparbeiten durchzuführen. Damit konnten die Bohrungen sicher abgeteuft und mit Brunnenausbaumaterial sowie Kies und Abdichtungsmaterialien sauber eingebracht werden.

Das System

Die zuvor genannten Anforderungen konnten durch Verwendung eines Systems aus Vakuumtiefburgen und komplexer Steuerungstechnik erfüllt werden.

These water levels lead to the danger of a hydraulic shear failure given the required maximum excavation down to - 32 m NAP. Hölscher Wasserbau GmbH's groundwater management embraces the pressure relief for the intermediate sand layer as foreseen in the construction process, which is necessary in addition to the main dewatering system (draining the excavated sand layers). The 3rd sand layer remains unaffected. There are 2 decisive failure possibilities, first of all the breaking up of the soil of the intermediate sand layer and secondly from the 3rd sand layer. The number of necessary drawdown wells for the intermediate sand layer resulting from the large excavation pit dimensions is intended to reduce the danger of related shear failure. The prevailing ultra fine sand with the low permeability coefficient led to the technical proposal to install the drawdown wells in the form of vacuum deep wells. In this way safety could be arrived at through improved drainage

and an enhanced soil-stabilising influence thanks to the vacuum effect. Furthermore an overpressure system secures the subsoil against loosening caused by the 3rd sand layer from an excavation depth of - 26.0 m NAP as a further safety precaution.

A further requirement was the application of the largest possible gaps between the wells as well as having to avoid placing them through the centre of the excavation pit. In this way a more rapid and economic excavation was to be assured.

In addition there was the challenge of assuring that the deadlines for executing the installation of the wells were adhered to in order to ensure that the excavation and concreting operations were not hampered. This was achieved by a logistically sophisticated division of labour involving a number of drilling crews.

Furthermore the confined water conditions prevailing in the intermediate sand layer had also to be mastered in drill tech-

ELA-Premium-Mietcontainer ... sind 1/2 m breiter

- Büro-, Mannschafts-, Wohn-,
- Sanitär-, Dusch-, WC-
- Lager-, Werkstatt-Container
- Bank- und Sparkassengebäude
- Kindergärten/ Schulklassen
- Lieferung sofort, europaweit.



Jetzt bis zu
25%
sparen



Mobile Räume mieten
www.container.de

Vermietung · Verkauf · Service
Zeppelinstr. 19-21 · 49733 Haren (Ems)
☎ (05932) 5 06-0 · Fax (05932) 5 06-10

info@container.de

Vakuumtiefbrunnen sind Tiefbrunnen mit zusätzlicher Beaufschlagung von Unterdruck auf den Brunnenraum. Somit wird auch auf den zu entspannenden Grundwasserleiter 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 praktisch. 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 (Bild 4).

Brunnenabstände ermöglichen die weitgehende Freihaltung des Baugrubenraums.

In der 1. Betriebsphase ermöglicht die Vakuumwasserhaltung alleine den Aushub von - 22,5 bis - 26,0 m NAP. In der anschließenden Aushubphase bis zur Endtiefe auf -32,0 m NAP wird die Baugrube zusätzlich mit Druckluft beaufschlagt, um die Sicherheit gegen einen Bodenaufbruch vollständig sicherzustellen. Die Größe des in die Baugrube eingeleiteten Überdrucks hängt von der durch das Grundwassermanagement erreichten Druckhöhe der Zwischenschicht und der Druckhöhe der 3. Sandschicht ab. Da beide Systeme aufeinander abgestimmt

in nical terms quite apart from the previously mentioned ones. Towards this end the series of filter routes in the aquifer were used in order to undertake pumping operations intended to relieve pressure. As a result the drilling operations were tackled safely and accomplished using material for supporting the wells as well as clay and sealing materials.

The System

The previously mentioned requirements were fulfilled using a system comprising vacuum deep wells and complex control technology.

Vacuum deep wells are deep wells with the additional use of vacuum inside the well. In this way the characteristics of the lowering effect are also changed for the aquifer that has to be relieved. The draw down curve is increased in the applied system through the creation of vacuum. The effective well zone and the drainage curves alter in a practical fashion. This caters for a greater amount of ingressing water as well as a larger relief effect. This leads to an extended, constant inflow area at the point of withdrawal in contrast to the gravitational flow (Fig. 4).

Through the greater amount of water to be pumped away, which increases in proportion to the relief gradient, a lower maximum value for the pressure head in the excavation pit is attained as well as the same drainage level given a greater gap between wells. Greater gaps between wells ensure that the space within the pit is essentially kept free.

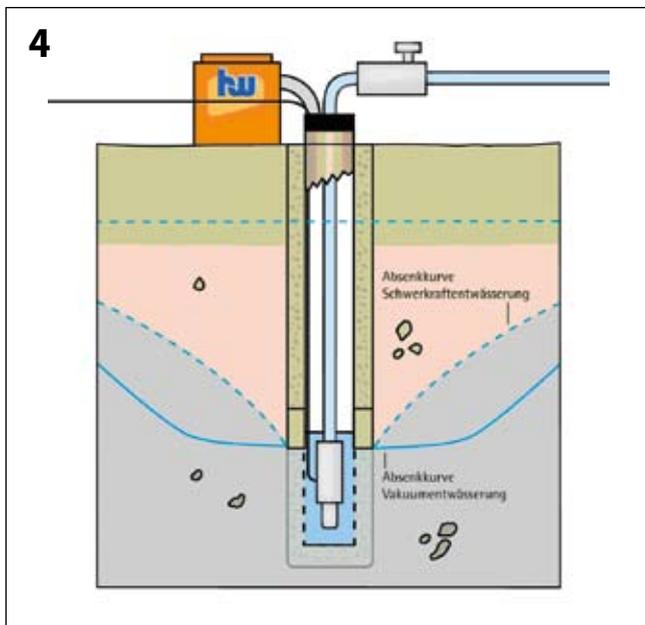
During the 1st operating phase the vacuum drainage alone enables the excavation of - 22.5 to - 26.0 m NAP. During the subsequent excavation phase down

to the final depth of - 32.0 m NAP compressed air is additionally introduced into the pit in order to prevent the soil loosening. The magnitude of the overpressure introduced into the excavation pit depends on the pressure head in the intermediate sand layer and the pressure head of the 3rd sand layer attained by the groundwater management. As both systems can be harmonised with one another, they afford the greatest possible safety. It should be mentioned though that the compressed air system would not be desirable on its own and that relief on its own could not assure complete safety. Given relief on its own, the pressure of the underlying, non-relieved 3rd sand layer would become a problem. Securing the subsoil solely with the overpressure system would lead to higher overpressures and reduce the working times in the overpressure area greatly for reasons of occupational safety thus thwarting an economic construction process.

Set-Up of the Groundwater Management Well System

In the time frame available first of all advance drilling was carried out by two 380 mm drilling units using the direct flushing method from drilling level - 20.5 until roughly - 34.0 m NAP and directly stabilised by means of DA 315 PVC pipes. The 390 x 315 mm annular gap was sealed with well dampers.

Then 2 light direct flushing drilling units were applied to reach the final depth of - 44.5 m NAP with advance groundwater pressure relief via the previously drilled wells. Fig. 5 displays an image of the drilling operations.



Vergleich Schwerkraft- und Vakuumwasserung
Comparison gravitational and vacuum drainage

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

werden können, bieten sie die größtmögliche Sicherheit. Dabei bleibt festzuhalten, dass das Druckluftsystem alleine 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- sermanagementanlage Brunnen

In dem zur Verfügung stehenden Zeitfenster wurden zunächst von der Bohrebene -20,5 m NAP bis ungefähr -34,0 m NAP die Bohrungen mit 2 Bohranlagen mit 380 mm im Direkt-Spülbohr-Verfahren vorgebohrt und direkt stabilisierend mit PVC-Rohren DA 315 verrohrt. Der Ringraum 380 x 315 mm wurde mit Brunnen-dämmung abgedichtet.

Im Rollsystem wurden dann mit 2 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 m NAP abgeteuft. Bild 5 zeigt eine Aufnahme der Bohrarbeiten.

Es wurden keine Spülungszusätze verwendet. Nach Erreichen der Endteufe und vor Einbau des Brunnenausbaumaterials erfolgte der Totalspülungsaustausch 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



Bohrarbeiten

Drilling operations

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 Ringraumverkiebung 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 m NAP konnte eingebracht werden. Die Verwendung dieser feinen Ringraumverkiebung und der Wickeldrahtfilter ist außergewöhnlich filigran und resultiert aus den vorhandenen Feinstsanden. Eine Ringraumverfüllung mit Quellton als plastische

No flushing additives were applied. Once the final depth was reached and prior to the well lining material being installed the flushing agent was completely replaced by clear water. Thanks to the ongoing pumping operations and the pressure thus relieved in the intermediate sand layer it was possible to safely install the DN 100 high-grade steel water screen with 0.1 mm slot widths and an installation length of 4.0 m.

The pipes for the wells were made of PEHD in order to avoid mechanical damage from earthmoving equipment during the excavation phase. The selected sleeve joints were pressure and vacuum tight.

The 300 x 100 annular gap between -44.5 and -39.0 NAP was filled with 0.2 to 0.5 or 0.4 to 0.8 mm fraction quartzite filter

gravel depending on the filter convection. The application of this fine filter gravel and the water screen is extremely fragile and is a result of the existing ultra fine sands. An annular gap fill consisting of swelling clay as a flexible and effective advance seal between -39.0 and -35.0 m NAP succeeded just as well as grouting the remaining annular gaps with well dampers from -35.0 m NAP to the bottom of the 2nd sand layer at -26.0 m NAP. In this way the wells were designed to be pressure and vacuum resistant as well as made safe against mechanical damage through construction work in the pit.

Vacuum, Pumps and Control System

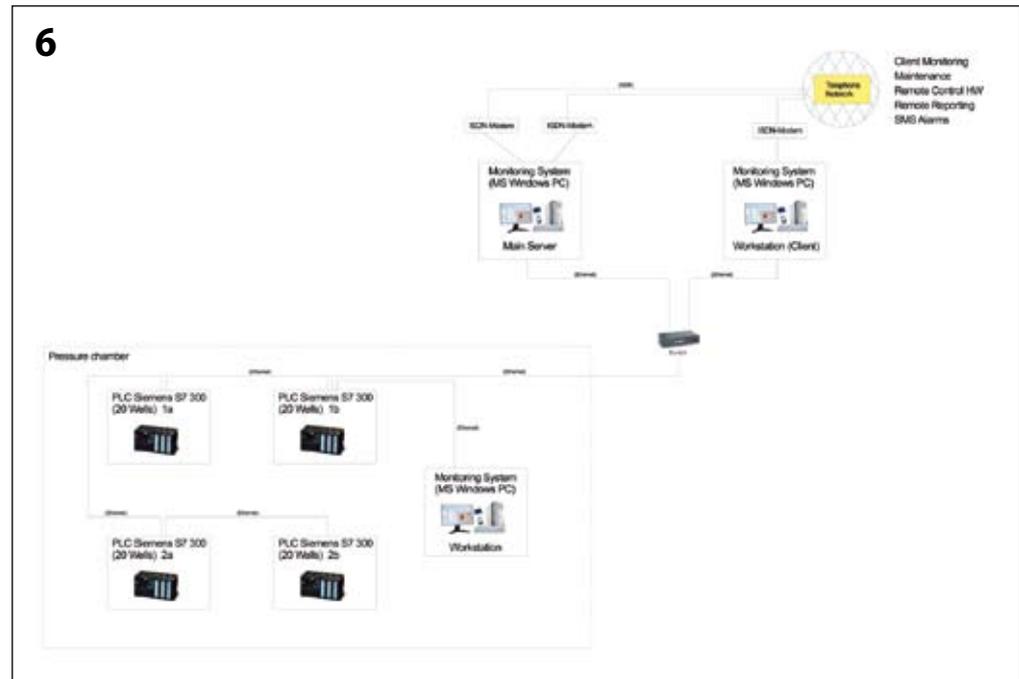
The groundwater management system was controlled via an PLC

und durchschlagsichere Vorabdichtung zwischen - 39,0 und - 35,0 m NAP gelang ebenfalls so gut, wie die Verpressung des verbleibenden Ringraums mit Brunnendämmer von - 35,0 m NAP bis zum Fuß der 2. Sandlage bei - 26,0 m NAP. 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 bestmöglichen Betriebssicherheit wurde das Grundwassermanagementssystem über eine EMSR-Anlage gesteuert (Elektronische Mess-, Steuer- und Regeltechnik) (Bild 6).

In den einzelnen Brunnen sind Unterwasserpumpen installiert worden, die 1 m 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.



Monitoring- und Steuerungssystem
Monitoring and control system

Für die Vakuumbeaufschlagung sind jeweils 8 Brunnen an eine Vakuumluftpumpe angeschlossen. Der Unterdruck wird über Absaugleitungen, die an den Brunnenkopf angeschlossen sind, im Brunneninnenraum und so übertragen auf den Aquifer erzeugt. Auch die Vakuumumpen werden wie die Unterwasserpumpen über die EMSR separat gesteuert.

Risikoanalyse, Systemtest und Risikominimierung

Um die Grundwassermanagementanlage unter der komplexen Randbedingung, 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 6 Testbrunnen installiert und angefahren. Die Ausführung des Testlaufes mit den Brunnentypen und der Anlagentechnik entsprach der

(Programmable Logic Controller) (Fig. 6) to ensure the best possible operating safety.

Submersible pumps were installed in the individual wells, which are suspended 1 m above the bottom of the well and can be switched on and off either via PLC or manually. Towards this end each pump is controlled individually. The notion behind this type of control system is to arrive at an as high as possible efficiency and avoid a number of pumps failing at the same point in time. The automatic control system is activated by the water levels prescribed for the individual wells that can be switched on and off, which are continuously measured by the pressure sensors integrated in the wells. In addition the water levels are measured by external gauges in order to check that drainage has attained the desired effect and that the theoretically calculated lowering can be confirmed.

In each case 8 wells are connected to a vacuum air pump for

introducing the vacuum effect. The vacuum is created via suction pipes, which are connected at the well head, into the inside of the well and in this way transferred to the aquifer. Like the submersible pumps the vacuum pumps are controlled separately via PLC.

Risk Analysis, System Test and Minimising Risk

In order to be able to measure the groundwater management system under the complex marginal condition, relieving an ultra-fine sandy, thin-layered aquifer, a practical test was carried out in summer 2010. At selected points in the north and south of the excavation pit in each case 6 test wells were installed and set in operation. The execution of the test series with the types of wells and the process technology corresponded to the method employed for the groundwater management system for the entire excavation pit. On the basis of the pumping tests

umgesetzten Ausführung der Grundwassermanagementanlage der gesamten Baugrube. Auf Grundlage der Ergebnisse der Pumpversuche in verschiedenen Variationen (mit und ohne Vakuum, verschiedenen Absenkszielen und Wiederanstieg des Wassers) wurde ein Grundwassermodell erstellt. Mit diesem Finite-Elemente-Modell wurden verschiedene Varianten der Grundwasserentspannung 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 der 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 2. Brunnen ausfallen und die globale Sicherheit so gegenüber dem Reihenausfall vergrößern. Im Falle einer Störung im System werden durch die automatische Steuerung der EMSR-Anlage Alarmmeldungen an die zuständigen Personen per SMS versendet. So wird eine schnellst mögliche Fehlerbeseitigung und ein ho-

hes Sicherheitsniveau erreicht. Bei einem eventuellen Totalausfall des Grundwassermanagementsystems könnte das Druckluftsystem die Sicherheit durch temporäre Erhöhung des Überdrucks 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 Grundwassermanagements installiert werden. Besondere Gegebenheiten implizieren 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 zum Beispiel 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 Grundwassermanagement 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. 

using different variations (with and without vacuum, various drainage targets and the water rising again) a groundwater model was created. Thanks to this finite element model different variants for groundwater relief were examined theoretically. Towards this end minimising risk was of particular significance. However to ensure that the economy of such a system and construction management as such were not neglected, as large as possible gaps between wells were chosen. A risk analysis accompanied the measurement programme. In this connection possible risk analyses were compiled in a complex matrix and evaluated. Furthermore just how these were to be measured and monitored was defined.

On the basis of the risk analysis for instance the redundancy of the employed systems was called for. The fact that each well can be controlled individually provides the advantage that only one well is not functional in the event of a local disturbance. The vacuum effect is installed in such a way that the possibility of a series of pumps failing in the event of a faulty pump is eliminated. In this case only every 2nd well would drop out thus increasing the global safety against a series failing. In the event of a disturbance within the system alarm reports are sent to the responsible parties by SMS by means of the automatic control exercised by the PLC system. In this way the faster possible elimination of faults and a high safety level are achieved. In the case of total breakdown of the groundwater management system the compressed air system could cater for safety by temporarily increasing the overpressure. This temporary increase would however lead

to a reduced working operating capacity for safety and health protection reasons.

Summary and Outlook

An efficient system operating at the highest level in safety technical terms for groundwater management was installed for the geological and hydrogeological marginal conditions in Amsterdam. Particular circumstances made it essential to find a solution suitable for the location. In inner urban tunnelling it is becoming increasingly more imperative to assure safety against direct or indirect effects thus preserving life, the environment and built-up areas: whether for example a hydraulic shear failure has to be prevented or groundwater levels outside excavation pits must be maintained in order to avoid undesired settlements or exerting a negative influence on urban vegetation. Towards this end consistent groundwater management and accompanying extensive investigation of the area affected by the construction scheme are imperative. Once the risks and priorities of a construction scheme have been determined an individualised, effective concept commensurate with the requirements can be devised. 