

## Eisenbahntunnel Liefkenshoek in Antwerpen

S. Boxheimer, J. Mignon

Im Gebiet des Seehafens von Antwerpen wird das zurzeit größte Infrastrukturprojekt in Belgien als Public Private Partnership-Projekt (PPP) ausgeführt: Die Unterquerung der Schelde und des Kanaldocks. Im Jahr 2013 wird der neue Tunnel für Güterzüge das linke mit dem rechten Ufer des Flusses Schelde verbinden.

Infolge der intensiven Nutzung des Seehafens von Antwerpen/B, insbesondere auf dem linken Ufer des Flusses Schelde mit einem jährlichen Umschlag von 7,5 Mio. Containern, wird in diesem Gebiet ein beträchtlicher Zuwachs im Gütertransport per Bahn erwartet. Der Hauptbahnknotenpunkt befindet sich auf dem rechten Ufer (Antwerpen Noord). Sobald das neue Gezeitendock fertig gestellt ist, werden bis zu 100 Güterzüge/Tag zwischen den beiden Flussufern verkehren. Bild 1 gibt einen schematischen Überblick über die Hafeneinrichtungen. Die Verbindung ermöglicht es, dass die Züge hin- und herfahren, ohne das Hafengebiet ver-

lassen zu müssen. Darüber hinaus werden die Betriebskosten für die Züge niedriger, da sich die Bahnstrecke zwischen den größeren Orten auf dem linken und rechten Ufer um ungefähr 22 km verringert.

Bei der Planung des Projektes war der Straßentunnel unter der Schelde – ein Absenktunnel – zu berücksichtigen. Er wurde in den 1980er-Jahren gebaut und liegt in der Nähe der neuen Tunneltrasse. Außerdem waren die Beschränkungen bezüglich der Gradienten für Eisenbahngleise zu beachten, die sehr viel flacher sind als diejenigen für Straßen.

Das Eisenbahnprojekt „Liefkenshoek Rail Link Project (LHSV)“ ist eines der größten Infrastrukturprojekte, die jemals in Belgien ausgeführt wurden. Bei dem Projekt handelt es sich um ein Public Private Partnership-Projekt (PPP) mit einer Laufzeit von 38 Jahren. Das ungefähr 16,2 km lange Infrastrukturprojekt für den Eisenbahngüterverkehr, welches den südlichen Teil des Hafens (linkes Ufer) mit der

Dipl.-Ing. Sascha Boxheimer, THV LocoBouw, Antwerpen/B/Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Frankfurt a.M./D  
 Ir. Johan Mignon, Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Antwerpen/B

## Liefkenshoek Railway Tunnel in Antwerp

S. Boxheimer, J. Mignon

The currently biggest infrastructural project in Belgium is forging ahead in the form of a Public Private Partnership (PPP) in the bounds of the Port of Antwerp: Undercrossing the Schelde and the Canal Dock. In 2013 the new tunnel for freight trains will connect the left bank of the River Schelde with the right one.

On account of the intensive use of the Port of Antwerp/B, especially on the left bank of the River Schelde where 7.5 mill. containers are handled each year, a considerable increase in goods transportation by train is anticipated. The main railway hub is located on the right bank (Antwerp North). As soon as the new tidal dock is completed, up to 100 goods trains/day will travel between the two river banks. Fig. 1 provides a schematic overview of the port facilities. The link will enable trains to travel back and forth without having to leave the port area. In addition operating costs for the trains will be lower as the railway route between the larger locations on both banks will be reduced by roughly 22 km.

During the planning phase the road tunnel below the Schelde – an immersed tunnel – had to be taken into consideration. It was built in the 1980s and is located close to the new tunnel route. Furthermore restrictions relating to gradients for railway tracks had to be ob-

served, which are considerably flatter than those for roads.

The “Liefkenshoek Rail Link Project” (LHSV) is one of the biggest infrastructural projects ever to be embarked on in Belgium. It takes the form of a Public Private Partnership (PPP) project running for 38 years. This roughly 16.2 km long infrastructural project for railway freight traffic, which connects the southern part of the port (left bank) with railway line 11 in Antwerp’s northern port (right bank) has to undertunnel the River Schelde and the B1-B2 Canal Dock.

### Project Description

The building of the project was laid down in a so-called

Dipl.-Ing. Sascha Boxheimer, THV LocoBouw, Antwerp/B/Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Frankfurt a. M./D  
 Ir. Johan Mignon, Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Antwerp/B

Eisenbahnlinie 11 im nördlichen Hafen von Antwerpen (rechtes Ufer) verbindet, muss den Fluss Schelde und das Kanaldock B1-B2 unterqueren.

## Projektbeschreibung

Der Bau des Projektes wurde in einem so genannten DBFM-Vertrag (Design, Build, Finance and Maintenance) mit einem Wert von ungefähr 680 Mio. Euro festgelegt, der den Entwurf, den Bau, die Finanzierung und die Wartung umfasst. 2 im Schildvortrieb herzustellende eingleisige Tunnel mit einer Länge von etwa 5970 m und einem Innendurchmesser von 7,3 m sowie mehrere Kilometer an Tunneln in offener Bauweise mit tiefen Schlitzwänden und Zement-Bentonit-Wänden sind zu bauen.

Das Gesamtprojekt ist in 13 Bauteile (Kunstwerke KW) aufgeteilt, u. a. in ein Aquädukt, die Sanierung des bestehenden, 30 Jahre alten Beverentunnels (der niemals genutzt wurde), den Startschacht, 2 TBM-Tunnel mit Querschlägen (CP) und Rettungsschächten (ES) sowie die Schlussrampe (Bild 2).

Die Projektausführung begann im November 2008 mit dem Aufbau der Baustelleneinrichtung auf verschiedenen Baustellen. Der kritischste Teil ist der Bau des Startschachts, da die beiden TBM-Tunnel terminlich von ihm abhängen. TBM Nr. 1 beginnt im Januar 2010 mit dem Vortrieb, die zweite TBM mit einer zweimonatigen Verzögerung im März 2010. Die Arbeiten müssen im Juli 2013 fertig gestellt sein.

## Geologie und Hydrogeologie

Die Geologie entlang der Tunnel besteht aus einer Auffüllung, quartären Sanden (Alluvium), mehreren Schichten aus tertiärem Sand verschie-



1 Überblick über das Hafengebiet von Antwerpen/B

1 View of Antwerp/B port area

dener Formationen (Kattendijk, Merksem, Berchem, Lilo, Kruisschans) mit geringen Anteilen an Ton und Glaukonit sowie aus Boomse Klei, einem steifen, überkonsolidierten und zerklüfteten tertiären Ton, der sich als Dichtungsschicht darunter befindet (Bild 3). Zum größten Teil liegt die Tunneltrasse in tertiären Sanden, allerdings reicht der Ton hinauf bis auf maximal 40 % des Tunnelquerschnitts.

Besondere Aufmerksamkeit muss dem Flussbett der Schelde mit seinen Schluffablagerungen und dicken Schichten von gestörtem Sedimentboden gewidmet werden sowie dem Kanaldock, wo ebenfalls Schluffablagerungen zu berücksichtigen sind. Im Kanaldock soll der Schluff auf Wunsch des Auftraggebers durch Sand ersetzt werden.

Im Verlauf des Projektes sind ein freier Grundwasserspiegel oberhalb des sogenannten „Polderkleis“ (Ton) in den quartären Sanden und 2 gespannte Grundwasserspiegel oberhalb des Boomse Kleis zu berücksichtigen, die durch die mit Tonlinsen durchsetzten Sande von Kruisschans aufgespalten sind. Des Weiteren sind

DBFM (Design, Build, Finance and Maintenance) contract valued at around 680 mill. euros. Two single-track tunnels roughly 5,970 m long to be created by shield driving and an internal diameter of 7.3 m as well as several km of tunnels by cut-and-cover with deep diaphragm walls and cement-bentonite walls have to be produced.

The total project is divided into 13 construction sections (KW) including an aqueduct, the renovation of the existing, 30 year old Beveren Tunnel (which has never been used), the starting shaft, 2 TBM tunnels with cross-passages (CP) and evacuation shafts (ES) as well as the end ramp (Fig. 2).

Execution of the project began in November 2008 with the setting up of the construction site installations on various sites. The critical part is the building of the starting shaft, as both TBMs depend on this to remain in their time frame. TBM No. 1 starts the excavation in January 2010, the second TBM 2 months later in March 2010. Work has to be finished in July 2013.

## Geology and Hydrogeology

The geology along the route consists of fill, quaternary sands (alluvium), several layers of tertiary sand with various formations (Kattendijk, Merksem, Berchem, Lilo, Kruisschans) with low proportions of clay and glauconite as well as Boomse Klei, a stiff, overconsolidated and fissured tertiary clay, which is located underneath in the form of a sealing layer (Fig. 3). By and large the tunnel route is located in tertiary sands; however, the clay only ranges upwards to a maximum of 40 % of the tunnel cross-section.

Special attention must be accorded the riverbed of the Schelde with its silt deposits and thick layers of faulty sedimentary soil as well as the Canal Dock, where silt deposits have also to be lent consideration. In the Canal Dock the silt is to be replaced by sand at the behest of the client.

In the course of the project a free groundwater level above the so-called “Polderkies” (clay) in the quaternary sands and 2 artesian groundwater levels above the Boomse Klei have to

die Wasserstände entlang der Ufer der Schelde auf der Landseite stark von den Gezeiten der Schelde abhängig, die zwischen +8,5 m TAW (Tweede Algemeene Wateraanpassing) und -1,0 m TAW schwanken. Je nach Entfernung von der Schelde ist eine Verzögerung im Anstieg/Absinken des Wasserspiegels einzukalkulieren.

### **Angebotsphase, Verhandlungen und Auftrag**

Vor Ausgabe der Ausschreibung für dieses gewaltige Projekt hatte der Auftraggeber zahlreiche Alternativen in Erwägung gezogen. Im Jahr 2006 wurden die Ausschreibungsunterlagen für dieses größte Infrastrukturprojekt Belgiens,

bei dem die Infrabel N.V. der Bauherr ist, einer beschränkten Anzahl von präqualifizierten Bietergemeinschaften angeboten. Die Angebotsunterlagen bestanden u. a. aus einem von dem technischen Berater des Auftraggebers (Tuc Rail Engineering) erstellten grundsätzlichen Referenzentwurf, einem strengen Anforderungskatalog mit mehreren Sonderanforderungen, projektspezifischen Beschreibungen, einem kompletten Satz an Bodengutachten und einer so genannten Bewertungsmatrix mit vom Bieter zu beantwortenden Fragen. Die Antworten auf diese Fragen wurden vom Auftraggeber ausgewertet und in ein Punkte-Rangsystem umgewandelt.

Nach mehreren Ausschreibungsphasen wurde der DBFM-

be taken into account, split up by Kruisschans sands, which are interstratified by clay lentils. Furthermore the water levels along the banks of the Schelde are greatly dependent on the Schelde's tides at the land side, which fluctuate between +8.5 m TAW (Tweede Algemeene Wateraanpassing) and -1.0 m TAW. Depending on the distance from the Schelde a delay in the rise or fall of the water level must be considered.

### **Tendering Phase, Negotiations and Contract**

Prior to issuing the tender for this giant project the client took numerous alternatives into account. In 2006 the tendering

documents for Belgium's largest ever infrastructural project, with the Infrabel N.V. as client, were offered to a restricted number of pre-qualified consortia. The tendering documents included a fundamental reference design provided by the client's technical consultant (Tuc Rail Engineering), a strict catalogue of requirements with a number of special demands, project-specific descriptions. A complete set of soil appraisals and a so-called evaluation matrix with questions to be responded to by the bidder were issued. The replies to these questions were assessed by the client and converted into a point rating system.

Following several tendering phases the DBFM contract was awarded to the successful bid-

Auftrag im November 2008 an die erfolgreiche Bietergemeinschaft LocoRail N.V., bestehend aus der belgischen Firma CFE N.V., der französischen Firma VINCI Concession S.A. und der niederländischen Firma BAM PPP, als Projektgesellschaft vergeben.

Die Bau-Arbeitsgemeinschaft, THV LocoBouw, bestehend aus MBG/CFE, CEI-de Meyer, Vinci Construction Grands Projets und Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, erhielt den Bauauftrag von LocoRail N.V. Innerhalb der Bau-Arbeitsgemeinschaft sind hauptsächlich MBG und CEI-de Meyer für die Bauarbeiten verantwortlich. Vinci und Wayss & Freytag, ein französischer und ein deutscher Tunnelbauspezialist, sind für die im Schildvortrieb zu erstellenden Tunnel und die Querschläge zuständig, wobei Vinci der technische Federführer ist.

### KW 10 – Schildvortriebe mit Querschlägen

Im Weiteren wird der Abschnitt KW 10 erläutert, der aus 2 im Schildvortrieb herzustellenden Tunneln mit einer ungefähren Länge von 5972 m bzw. 5980 m besteht. Die Tunnelauskleidung ist 0,4 m dick. Der Mindestkurvenradius beträgt 1500 m. Der Tunnelvortrieb hat eine Neigung von maximal 1,25 %. Die Mindestbodenüberdeckung entlang der Tunneltrasse beträgt im Bereich des Kanaldocks etwa 3 m, was besondere Maßnahmen in die-

sem Gebiet erforderlich macht. Die maximale Überdeckung liegt bei ungefähr 33,6 m und die maximale Wassersäule über der Tunnelsohle beträgt ungefähr 40 m.

Entlang des Tunnels sind 13 Querschläge und 8 Anschlüsse an Rettungsschächte herzustellen. In der Regel werden Querschläge und Rettungsschächte abwechselnd im Abstand von ungefähr 300 m gebaut. Unterhalb des Flusses Schelde sind zwangsläufig 5 Querschläge im Abstand von ca. 250 m ohne dazwischen liegende Rettungsschächte zu errichten.

Die Tunnelvortriebe beginnen im Startschacht in der Nähe des Hafens Waasland. Der Zielschacht für beide TBM liegt auf dem rechten Ufer des Kanaldocks.

### TBM, Separieranlage und Tübbinge

Die Schildtunnel werden mit 2 Mixschild-TBM von Herrenknecht vorgetrieben. Jede TBM hat einen Durchmesser von ungefähr 8,4 m und einen konischen Schildschwanz. Die Vortriebsanlage, einschließlich 5 Nachläufern, ist ungefähr 110 m lang. Beide TBM werden mit einem Elektroantrieb mit einer installierten Vorschubkraft von ca. 60 000 kN ausgestattet. Der Betriebsdruck der TBM beträgt 4 bar. Die TBM wird mit einem geschlossenen Schneidrad ausgerüstet, das sich vor dem Schild dreht. Der

ding consortium LocoRail NV in November 2008. It consists of the Belgium company CFE NV, the French VINCI Concession SA company and the Dutch company BAM PPP as project company.

The construction consortium, THV LocoBouw, consisting of MBG/CFE, CEI-de Meyer, Vinci Construction Grands Projets and Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, were commissioned to build the project by LocoRail NV. Within the consortium MBG and CEI-de Meyer are responsible for the construction work. Vinci and Wayss & Freytag, French and German tunnelling specialists, are in charge of the shield drives to produce the tunnels and cross-passages with Vinci responsible for the technical management.

### KW 10 – Shield Drives with Cross-Passages

In the following the section KW 10 is discussed, which comprises 2 tunnels to be produced by shield driving, which are approx. 5,972 and 5,980 m long. The tunnel lining is 0.4 m thick. The minimum curved radius amounts to 1,500 m. The tunnel drive has a maximum 1.25 % gradient. The minimum soil overburden along the tunnel route amounts to some 3 m in the Canal Dock area, something that calls for special measures. The maximum overburden equals roughly 33.6 m and the maximum water column above

the tunnel floor is about 40 m.

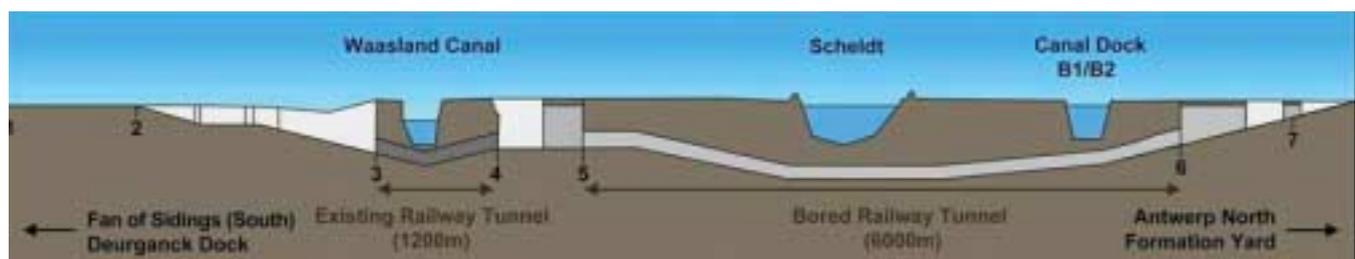
Along the tunnel there are 13 cross-passages and 8 connections with evacuation shafts to be produced. Generally speaking the cross-passages and evacuation shafts are built alternately at approx. 300 m gaps. Beneath the River Schelde 5 cross-passages at gaps of roughly 250 m without any evacuation shafts located between them have to be produced.

The tunnel drives start in the access shaft near the port of Waasland. The target shaft for both TBMs is located on the right bank of the Canal Dock.

### TBMs, Separation Plant and Segments

The shield tunnels are driven by 2 mix-shield TBMs made by Herrenknecht. Each TBM is approx. 8.4 m in diameter and has a conic tail skin. The tunnelling installation including 5 trailers is about 110 m long. Both TBMs are fitted with an electric drive with an installed thrusting force of roughly 60,000 kN. The operating pressure of the TBMs amounts to 4 bar. The TBMs are equipped with a closed cutting wheel, which rotates in front of the shield. The TBMs and the tunnelling installations were designed by Herrenknecht in close collaboration with specialists from both construction companies (Fig. 4).

The preparation of the supporting fluid and the slurry



2 Schematischer Längsschnitt des Projekts Liefkenshoektunnel

2 Schematic longitudinal section of the Liefkenshoek Tunnel project

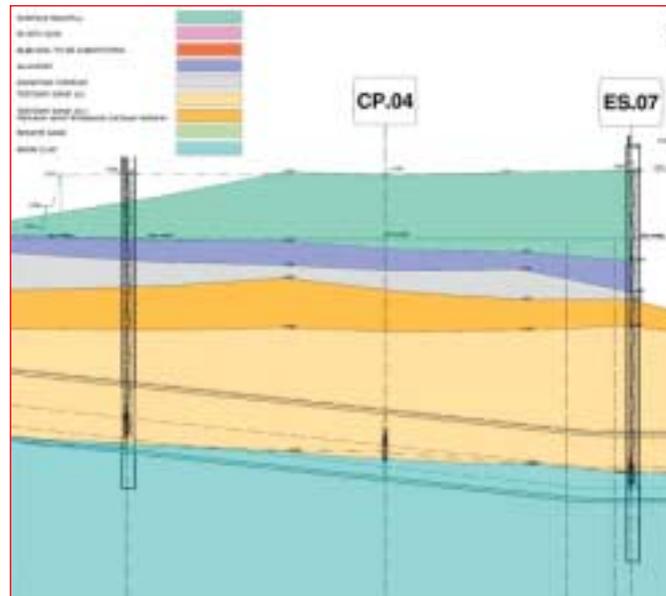
Entwurf der TBM und der Vortriebsanlage wurde von Herrenknecht in enger Abstimmung mit erfahrenen Spezialisten beider Bauunternehmen entwickelt (Bild 4).

Die Aufbereitung der Stützflüssigkeit und das Schlamm-Management wird mit einer Separieranlage des französischen Herstellers MS France durchgeführt, der den Lieferauftrag erhielt. Wegen der besonderen Eigenschaften des Antwerpener Sands wurden während der Konstruktion der Separieranlage mehrere Tests mit Bodenproben durchgeführt. Der separierte Sand wird für Aufschüttungen an anderen Stellen des Projektes wiederverwendet.

Die Tunnelringe bestehen aus 8 Fertigteilelementen mit einer Bogenlänge von ungefähr 3,5 m und einer Breite von 1,8 m. Ein konischer Schlussstein schließt den Ring. Die Tübbinge müssen in einer Betongüte von C50/60, XF2 und mit einer inneren Betonüberdeckung von mindestens 40 mm hergestellt werden.

Beim Entwurf der normalen Bewehrungskörbe für die Tübbinge lag der Hauptschwerpunkt auf der Tatsache, dass 53.000 Tübbinge (Bild 5) zu produzieren sind. Daher wurde zusammen mit dem Lieferanten der Betontübbinge, der deutschen Max Bögl Fertigteilewerke GmbH & Co. KG, ein für die Massenproduktion geeigneter Bewehrungskorb entwickelt. Im Bereich der Querschläge und der Anschlüsse an die Rettungsschächte werden spezielle Ringe mit einem größeren Bewehrungsanteil eingebaut. Die Querschläge werden im Schutze einer Bodenvereisung hergestellt.

Gemäß dem Anforderungskatalog des Auftraggebers muss die Tunnelauskleidung einer Brandlast gemäß der RWS-Feuerkurve standhalten. Der Auftraggeber forderte daher, dass der Betonmischung, die



3 Typischer geologischer Längsschnitt

3 Typical geological longitudinal section

mit Kalksteinzuschlägen zu erstellen war,  $3 \text{ kg/m}^3$  PP-Fasern beizufügen seien. Darüber hinaus muss ein zusätzlicher Brandschutz auf der Innenfläche des Tunnels angebracht werden. Der entsprechende Brandschutz war durch einen Großbrandversuch mit belasteten Betonfertigteilen nachzuweisen. Die bei der MFPA Leipzig mit verschiedenen Mengen und 2 Typen von PP-Fasern durchgeführten Testserien zeigten den positiven Effekt von PP-Fasern. Aufgrund der Ergebnisse, die auch mit  $2 \text{ kg/m}^3$  erreicht wurden, schlugen LocoBouw und LocoRail dem Auftraggeber vor, die Fasermenge zu reduzieren, was eine bessere Verarbeitbarkeit des Betons zur Folge hatte. Mit der Produktion der Tübbinge im Werk von Max Bögl in Hamminkeln/D wurde im Mai 2009 begonnen.

### Unterquerung der Schelde und des Kanaldocks

Die TBM muss den Fluss Schelde mit einer sehr geringen

management is carried out with a separation plant from the French manufacturer MS France, which was awarded the contract for supplying it. On account of the special properties of Antwerp sand a number of tests were undertaken with soil samples when designing the separation plant. The separated sand is reutilised for fills at other locations throughout the project.

The tunnel rings constitute 8 precast elements with an arched length of approx. 3.5 m and are 1.8 m wide. A conic keystone closes the ring. The segments have to be produced in C50/60, XF2 concrete quality with an inner concrete covering of at least 40 mm.

As far as designing the standard reinforcement cages for the segments is concerned, emphasis was placed on the fact that 53,000 segments (Fig. 5) are to be produced. Consequently a cage suitable for mass production was devised in conjunction with the concrete segment supplier, the German company Max Bögl Fertigteilewerke GmbH & Co. KG. Special rings with a

greater quantity of reinforcement are to be installed at the cross-passages and the connections to the evacuation shafts. The cross-passages are to be produced protected by ground freezing.

In accordance with the client's catalogue of requirements the tunnel lining must be able to sustain a fire load in keeping with the RWS fire curve. Thus the client demanded that  $3 \text{ kg/m}^3$  of PP fibres was to be added to the concrete mix, which was to be produced with limestone aggregates. In addition additional fire protection has to be installed on the inner surface of the tunnel. The appropriate fire protection had to be tested by means of a large-scale fire test involving the affected concrete precast elements. The test series executed at the MFPA Leipzig with various amounts and 2 types of PP fibres revealed the positive effect of PP fibres. On the basis of the results, which were also attained with  $2 \text{ kg/m}^3$ , LocoBouw and LocoRail suggested to the client that the quantity of fibre should be reduced, which meant the concrete could be more easily processed. Production of the segments started in May 2009 at the Max Bögl factory in Hamminkeln/D.

### Underpassing the Schelde and the Canal Dock

The TBMs have to pass below the River Schelde with extremely shallow overburden. The bulk of the overburden consists of faulty tertiary sands with unfavourable soil properties and a specific weight of only  $14 \text{ kN/m}^3$ . In keeping with the soil investigation carried out by the client a layer of silt was expected above the faulty tertiary sands. The thickness of the layer was not exactly known. LocoBouw decided to undertake a

Überdeckung unterqueren. Der Großteil der Überdeckung besteht aus gestörten tertiären Sanden mit ungünstigen Bodeneigenschaften und einem spezifischen Gewicht von nur  $14 \text{ kN/m}^3$ . Über den gestörten tertiären Sanden wurde entsprechend der vom Auftraggeber durchgeführten Bodenuntersuchung eine Schluffschicht erwartet. Die Dicke der Schicht war nicht genau bekannt. LocoBouw beschloss, eine hochauflösende seismische Messung in der Schelde durchzuführen, um die Dicke des Schluffs zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigen eine sehr dünne Schluffschicht an und bestätigten die Dicke der gestörten tertiären Sande, wie in der Untersuchung des Auftraggebers vorausgesagt. In Querrichtung verläuft die Schicht der gestörten Sande offensichtlich nicht mit der erwarteten Neigung, was schon beim Absenken des Straßentunnels Liefkenshoek hätte festgestellt werden sollen.

Außerdem kann der Wasserstand des Flusses Schelde mit den Gezeiten um 9,5 m zwischen Hoch- und Niedrigwasserstand variieren, was bei der Einrichtung der Stützdruckanlage der TBM berücksichtigt werden muss.

Da die Bodenüberdeckung über dem Tunnel sehr gering ist, liegt der Mindeststützdruck der Bentonitsuspension an der Ortsbrust nahe am maximalen Stützdruck. Es ist festzustellen, dass Drucklufteinstiege am tiefsten Punkt des Flussbetts nicht möglich sind. Deshalb werden die Schneidräder der beiden TBM während eines Wartungsstopps vor dem Passieren dieses sehr kritischen Abschnitts überprüft.

Der kritischste Teil des Projektes ist der Vortrieb der beiden Tunnel unter dem Kanaldock wegen der sehr geringen Überdeckung von lediglich 1,1 m in Verbindung mit der Forderung des Auftraggebers, das Kanal-



4 TBM S-352 bei der Abnahme im Werk

4 TBM S-352 being approved at the factory

dock für große Schiffe frei zu halten. Während der Bauzeit muss in dem Dock zu jeder Zeit ein bestimmter Wasserstand aufrechterhalten werden. Die Steigung der Eisenbahngleise wurde so steil wie möglich vorgesehen, um die Tunnel so tief wie möglich zu halten. Da der derzeitige Boden im Kanaldock aus einer Schluffschicht besteht, die maximal bis zur Tunnelachse herunterreicht, bat der Auftraggeber darum, vor dem Durchfahren mit den TBM den Schluff durch verdichteten Sand zu ersetzen. Um die Menge an verdichtetem Sand zu reduzieren, schlug der Auftraggeber vor, oberhalb des Tunnels

high resolution seismic measurement in the Schelde to determine the silt's thickness. The results indicate a very thin layer of silt and confirm the thickness of the faulty tertiary sands as predicted in the client's investigation. The layer of faulty sands obviously does not run with the expected gradient, something which should have been registered when the Liefkenshoek Road Tunnel was immersed.

Furthermore the River Schelde's water level can vary with the tides by 9.5 m between high and low water level, something that has to be considered when installing the supporting pressure unit for the TBMs.



5 Tübbingproduktion bei Max Bögl in Hamminkeln

5 Segment production at the Max Bögl plant in Hamminkeln

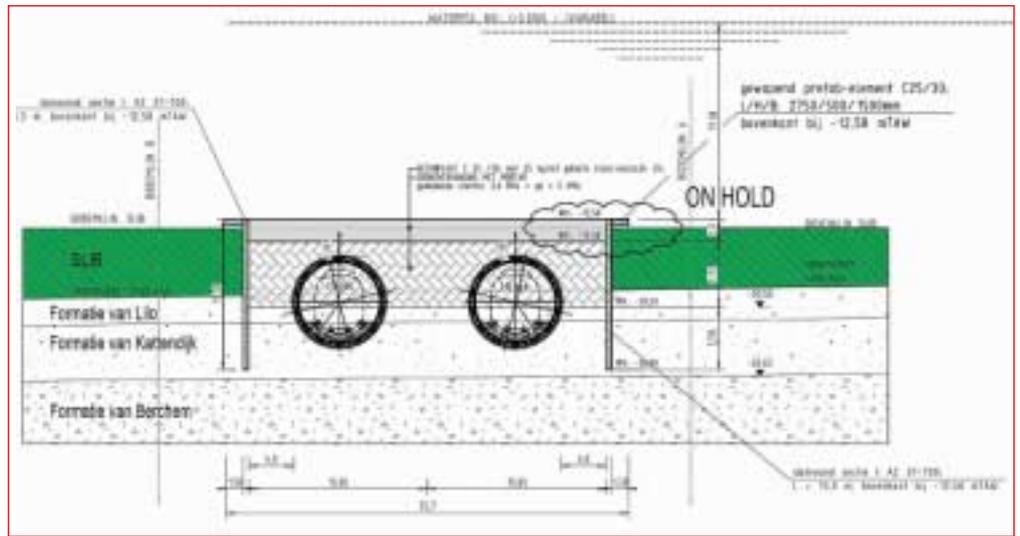
As the soil overburden above the tunnel is very shallow, the minimum supporting pressure of the bentonite suspension at the face practically equals the maximum supporting pressure. It has been established that compressed air accesses at the deepest point on the river bed are not possible. As a result the cutting wheels of both TBMs are to be inspected during a break for maintenance prior to passing this very critical section.

The critical phase of the project is driving the two tunnels beneath the Canal Dock on account of the extremely shallow overburden of merely 1.1 m in conjunction with the client's demand that the Canal Dock must be kept free for large ships. A certain water level has to be maintained in the Canal Dock at all times throughout the construction period. The gradient of the railway tracks was made as steep as possible in order to ensure the tunnels were as deep as possible. As the present soil in the Canal Dock consists of a layer of silt, which extends down to the most to the tunnel axis, the client requested the silt be replaced by compacted sand prior to the TBM passage. In order to reduce the amount of compacted sand the client suggested that a 2 m thick concrete slab should be produced above the tunnel as anchorage and to provide additional weight so that the TBM passage was facilitated.

During the planning of execution LocoBouw presented an alternative design for replacing the soil combined with a 2 m thick reinforced concrete slab so that the temporary fill could be reduced to a minimum and increase the level of safety during the TBM passage. LocoBouw will produce a roughly 250 m long and 35 m wide pile wall excavation pit, in which the silt is replaced by a low-strength mortar (Fig. 6). The mortar is to be

eine 2 m dicke Betonplatte als Ankerschutz und als zusätzliches Gewicht herzustellen, um die Durchfahrt der TBM zu ermöglichen.

Während der Ausführungsplanung präsentierte LocoBouw einen Alternativentwurf für den Bodenaustausch in Kombination mit einer 2 m dicken Stahlbetonplatte, um das temporäre Verfüllen auf einen Mindestbereich zu reduzieren und das Sicherheitsniveau während der Durchfahrt zu erhöhen. LocoBouw wird eine ungefähr 250 m lange und 35 m breite Spundwandbaugrube herstellen, in welcher der Schluff durch einen Mörtel mit niedriger Festigkeit ersetzt wird (Bild 6). Der Mörtel wird von einer 2 m dicken Stahlbetonplatte bedeckt. In der Nähe der Böschung erfolgt eine lokale temporäre Verfüllung. Mit dem Mörtel soll



6 Unterfahrung Kanaldock  
 6 Undertunnelling the Canal Dock

eine höhere Stabilität unterhalb der Platte erreicht werden als dies mit dem verdichteten Sand möglich ist. ❑

covered by a 2 m thick reinforced concrete slab. A local temporary fill will be carried out in the proximity of the slope.

Thanks to the mortar higher stability beneath the slab is to be attained than is possible with compacted sand. ❑