## Tunnellösungen für Mexico City

In Mexico City, mit mehr als 20 Mio. Einwohnern eine der größten Metropolen der Welt, werden zurzeit 2 Megaprojekte realisiert: der Tunnel Emisor Oriente und die Metro Line 12. Der folgende Beitrag möchte ein Gefühl dafür geben, woher die Probleme dieser Megacity kommen, welche Menschen daran arbeiten, wie die Aufgaben gelöst werden können und dass Tunnel einen maßgeblichen Anteil daran haben.

## Tunnel Solutions for Mexico City

Currently 2 mega-projects are being accomplished in Mexico City – with more than 20 million inhabitants in one of the world's largest metropolises: the Emisor Oriente Tunnel and the Metro Line 12. The following report is intended to provide an impression relating to just where the problems of this mega-city originate, the people that are involved, how these tasks can be resolved and the fact that tunnels have an important role to play.

Es ist um das Jahr 1325. Am Fuße mächtiger Berge und Vulkane wie etwa des bis über 5.000 m reichenden Popocatépetl im Hochtal Anáhuc in Mittelamerika. Ein Adler schwingt durch die Lüfte auf der Suche nach Beute. Findet sie, eine große grüne Schlange, die seinen tödlichen Fängen rein gar nichts entgegen zu setzen hat, fängt sie geschickt ohne merklich seinen majestätischen Flug zu unterbrechen und landet auf einem großen Kaktus, um gierig sein Opfer Stück für Stück zu verschlingen.

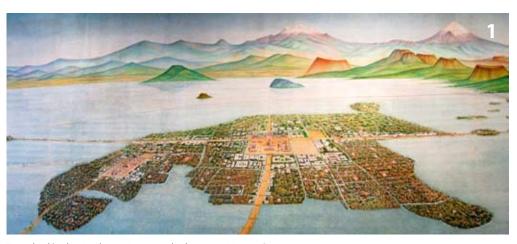
Dipl.-Ing. Roland Herr, Editor in Chief tunnel, Gütersloh/D

"Die Weissagung der Götter." Die kleine Gruppe Azteken oder auch Mexica, wie sie sich selbst nennen, hat es geschafft. "Hier", auf einer kleinen Insel im Sumpfgebiet des Texcoco-Sees, "ist der Platz, an dem wir unsere Stadt bauen werden, genau so, wie es die Götter vorher gesagt haben." Tenochtitlán – Ort des Kaktus auf dem Stein – war gegründet und noch heute schmückt das Bild des Adlers. der auf einem Kaktus sitzend eine Schlange frisst, das Staatswappen Mexicos.

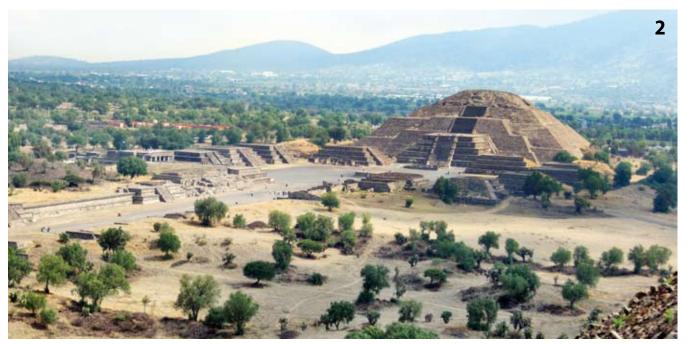
It is the year 1325. At the foot of mighty mountains and volcanoes such as the more than 5,000 m high Popocatépeti in the Anáhuc valley in Central America. An eagle soars through the air searching for prey. It discovers a large green snake, which cannot escape its deadly claws and catching it without seeming to interrupt its majestic flight it lands on a large cactus in order to hungrily devour its victim piece by piece.

"The prophesy of the Gods". The small group of Aztecs also known as Mexica as they call themselves, had succeeded in their mission. "Here", on a small island in the swamps of Lake Texcoco, "is the place, where we shall build our city, just as the Gods once predicted". Tenochtitlan – the place of cactus on the rock – was founded and still today the picture of the eagle devouring a snake while sitting on a cactus, adorns Mexico's national emblem.

The nomads were thus able to find a safe retreat and settle down (Fig. 1). The lake with many small islands provides plenty of fish to feed everybody and fruit, vegetables and flowers flourish on floating gardens - large rafts covered with fertile earth. Causeways set up between the mainland and the islands safeguard the town for they combat flooding if need be. During the next 100 years the network of islands, bridges and canals grows to become one of the largest cities of its time with an area of some 13 km<sup>2</sup> housing several hundred thousand Aztecs (Fig. 2). Within a short period the omnipotent Aztec empire emerges descending from a few groups of wandering tribesmen.



**Tenochtitlán der Azteken – Ursprung des heutigen Mexico City** Tenochtitlan of the Aztecs – the origin of today's Mexico City



Beeindruckende Zeugen einer ehemals starken Aztekenkultur Impressive testimonies of a former well-developed Aztec culture

Die Nomaden haben ihre sichere Rückzugsmöglichkeit gefunden und werden sesshaft (Bild 1). Der See mit vielen kleinen Inseln bietet reichlich Fisch, um alle zu ernähren, und auf den schwimmenden Gärten - große mit fruchtbarer Erde beladene Flöße – gedeihen Obst, Gemüse und Blumen. Dämme zwischen dem Festland und den Inseln sichern die Stadt, indem sie geflutet werden können. Das Netz aus Inseln, Brücken und Kanälen wächst innerhalb von nur 100 Jahren mit rd. 13 km<sup>2</sup> Fläche und mehreren 100.000 Azteken zu einer der größten Städte ihrer Epoche (Bild 2). In kurzer Zeit ist aus nur umherziehenden Gruppen das alles beherrschende Aztekenreich entstanden.

Treten wir ein in den Tunnel der Zeit und verlassen ihn im Jahre 1519 des Herrn, als der Spanier Cortés mit nur wenigen 100 Männern an der heutigen Ostküste Mexicos landet und schließlich 1521 die inzwischen 300.000 Azteken zählende prächtige Stadt im Texcoco-See dem Erdboden gleich macht. Systematisch zerstören sie alles, was an die Azteken erinnert und bauen auf den Ruinen der ehemaligen Metropole Kirchen, Paläste und Häuser im spanischen Stil (Bild 3). Das Zentrum der Spanier zur weiteren Eroberung des Südens unseres heutigen Nordamerikas und große Teile Mittelamerikas war entstanden. Im Laufe der Zeit wurde der gesamte See trocken gelegt.

Beschreiten wir wieder unseren Tunnel zum Zeitsprung und betrachten den Flughafen von Mexico City im Jahre des Herrn 2011, als Ihr tunnel Chefredakteur die gangway verlässt, um eine Reportage über diese faszinierende Stadt zu schreiben. Er sucht keinen Streit, will nichts zerstören und keine neue Kultur gründen. Was er sucht, ist eine Antwort: Welche Probleme hat die inzwischen mit über 20 Mio. Menschen zehntgrößte Metropolregion der Welt und wie können sie gelöst werden?

Let us enter the time tunnel and come out once more in the year 1519 as the Spaniard Cortés lands on what is today the east coast of Mexico with only a few hundred men before razing the fabulous city on Lake Texcoco, where no less than 300,000 Aztecs live, to the ground. They systematically destroy everything that is reminiscent of the Aztecs and establish churches, palaces and houses in Spanish style on the ruins of the former metropolis (Fig. 3). The centre for the Spanish to continue conquering the south of what is today North America and large tracts of Central America was created. The entire lake was drained in the course of time.

Let us enter our tunnel again to jump ahead in time to appraise the airport of Mexico City in 2011 as tunnel's editor-in-chief quit the gangway to write a report on this fascinating city. He sought no argument, had no destructive intent and was not desirous of establishing any new culture. What he was looking for

was an answer: which were the problems facing the world's 10th largest metropolis with now over 20 million inhabitants and how could these be solved?

But first a few facts about Mexico City. It robs you of your breath even if you are not out jogging. On the one hand on account of the rarefied atmosphere at altitude and on the other because of the omnipresent smog. The traffic never stands still and reports of tailbacks receive short shrift in Mexico City. Mexico City is located in the roughly 100 km wide and 60 km long Mexico valley at a height of some 2,300 m surrounded by mountains on 3 sides. Thus smog is a more or less logical consequence. Given the traffic...

In earlier times the landscape in and around Mexico City was characterised by lakes and swamps. Water flowed in brooks and rivers to the valley from the surrounding hills. There were smallish fresh water lakes in the north and south whereas the deep Texcoco Lake located

Doch zuerst noch ein paar Fakten über Mexico City. Die Stadt raubt einem nicht nur wenn man joggen möchte förmlich den Atem. Einerseits wegen des geringeren Sauerstoffanteils in der Höhe und andererseits vor allem wegen des stets präsenten Smogs. Der Verkehr macht keine Pause und Staumeldungen haben in Mexico City nicht wirklich eine Chance. Mexico City liegt im ca. 100 km breiten und 60 km langen Tal von Mexico in rd. 2.300 m Höhe, umgeben auf 3 Seiten von Bergen. Smog ist somit eine – mehr oder weniger - logische Konsequenz. Bei dem Verkehr...

Die Landschaft in und um Mexico City war in der Frühzeit geprägt von Seen und Sümpfen. Aus den umliegenden Bergen strömte das Wasser in Bächen und Flüssen zu Tal. Im Norden und Süden gab es kleinere Süßwasserseen, während in der im Zentrum tief liegende Texcoco-See wegen des salpeterhaltigen Untergrundes bei fehlendem Abfluss und hoher Verdunstungsrate sehr salzhaltig war. Während die Azteken viel Wert auf Be- und Entwässerung des Sees legten, vernachlässigten die Spanier dies anfangs sträflich und es kam zu heftigen Überschwemmungen mit Schlamm- und Erdmassen. So lag der Texcoco-See damals rd. 14 m tiefer. Ein Ende des 18. Jahrhunderts gebauter Kanal zur Entwässerung des Tals hinter die Randgebirge, das Versiegen der Trinkwasserbrunnen durch diese Entwässerung und die Ableitung des ungeklärten Abwassers aus dem Tal heraus sorgten für eine kontinuierliche Absenkung des Grundwasserspiegels. Der ehemalige See und die darunterliegenden Bodenschichten trockneten und trocknen heute noch stark aus.



Noch heute schmücken zahlreiche spanische Prachtbauten das Stadtbild Mexico City's

Numerous magnificent Spanish buildings still feature on the panorama of Mexico City



Die tief gegründete Statue El Angel "wächst" aus ihrer Umgebung heraus oder richtiger: der Rest versinkt!

The "El Angel" statues with its deep foundations appears to "grow" high above its surroundings although really the rest is sinking

Dies hat mehr oder weniger starke Absenkungen zur Folge. Diese Absenkungen betragen derzeit rd. 30 cm im Jahr. So sinken viele Gebäude in Mexico City ein. Ausnahme ist da nur die tief gegründete Statue "El Angel", deren Treppen in regelmäßigen Abständen erweitert werden müssen (Bild 4). Die heutige Kanalisation ist infolge dessen teilweise defekt, zerstört und das Gefälle kehrt sich inzwischen sogar um. Das Eindringen von Abwasser in die ebenfalls

in the centre was saturated with salt on account of its nitrous bed as well as a lack of drainage and a high evaporation rate. Whereas the Aztecs placed a great deal of emphasis on irrigation and drainage for the lake, the Spaniards initially neglected this terribly and the outcome was serious flooding coupled with accumulations of mud and earth. At the time the Texcoco Lake was situated some 14 m deeper. A canal built behind the foothills at the end of the 18th century to drain

the valley, sealing the drinking wells via this drainage system and the removal of unclarified sewage from the valley resulted in the groundwater level sinking constantly. The former lake and the layers of soil located underneath dried out substantially and still continue to do so. This has resulted in pronounced subsidence, currently amounting to around 30 cm per annum. Thus many buildings in Mexico City are subsiding. An exception is provided by the "El Angel" statue with its deep foundations, whose steps have to be extended at regular intervals (Fig. 4). The current system of sewers is as a result partially defective, destroyed and the slope of the land is in the process of reversing. The intrusion of wastewater into leaky drinking water pipelines is no rare occurrence any more.

Additionally the presence of surrounding volcanoes signifies that Mexico City is located in a region endangered by earthquakes and is constantly faced by seismic activity.

All in all Mexico City is facing numerous problems, which must be mastered in future: high air pollution resulting from extreme traffic conditions, an increasingly unsafe drinking water supply, obsolete and leaky sewage systems and inadequate concepts for rubbish disposal.

Two major projects were undertaken in order to overcome at least a part of these problems, which we should now like to present. On the one hand, there is the Emisor Oriente wastewater scheme and on the other the expansion of the Metro system in the shape of Metro Line 12.

#### **Metro Line 12**

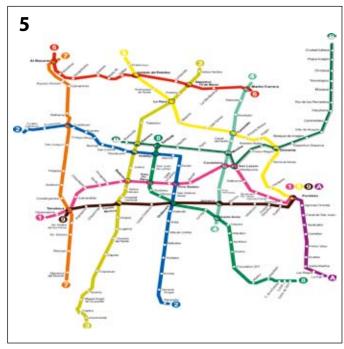
We spoke to Dr. Ismail Benamar, construction manager of

undichten Trinkwasserleitungen ist kein Sonderfall mehr.

Die umliegenden Vulkane bedeuten auch, dass sich Mexico City in einer durch Erdbeben gefährdeten Region befindet und immer wieder unter Erdstößen zu leiden hat.

In Summe hat Mexico City zahlreiche Probleme, die es in der Zukunft zu bewältigen gilt: hohe Luftverschmutzung durch extreme Verkehrsverhältnisse, zunehmend unsichere Trinkwasserversorgung, veraltete und undichte Abwassersysteme, ungenügende Abfallbeseitigungskonzepte.

Um wenigstens einen Teil dieser Probleme in den Griff zu bekommen, wurden 2 große Projekte in Angriff genommen, die wir nachfolgend vorstellen möchten. Dies sind einerseits der Abwasserkanal Emisor Oriente und andererseits der Ausbau der Metrolinien mit der Metrol ine 12.

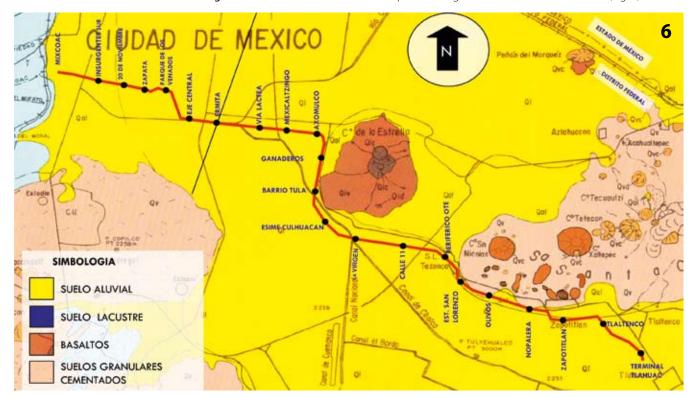


Das Metrosystem von Mexico City ist eines der größten der Erde Mexico City's Metro system is one of the world's largest

#### **Metro Line 12**

Über das Projekt Metro Line 12 sprachen wir mit Dr. Ismail Benamar, Leiter Konstruktion von Ingenieros Civiles AsociaIngenieros Civiles Associados S.A. de C.V. (ICA) in Mexico City about the Metro Line 12 project. The Metro Line 12 project encompasses design and build involving 3 companies. Two Mexican firms, ICA and CARSO are responsible for construction engineering and the French ALSTROM company is in charge of the electro-technology. Supplying the Metro trains is not included in the contract. All operations on the surface and first and foremost tunnelling by cut-and-cover as well as trenchless methods over the entire length of almost 9 km are included. Excavation is scheduled to be complete in 2012.

At present 11 fully functioning lines constitute Mexico City's Metro system and according to Benamar it is the world's fourth largest network with a length of some 200 km and 175 stations (Fig. 5). As far as the route alignment is concerned linking the densely populated suburbs in the south-east with the west of the city is of great significance, for the latter locates the city's financial district (Fig. 6).



Linienführung der Metro Line 12 Route alignment of Metro Line 12



Luftaufnahme eines oberirdischen Metrobahnhofs
Aerial photo of a surface Metro station



Die Station Atlalilco, eine der 20 Stationen der Metro Line 12 The Atlalilco Station, one of the 20 on Metro Line 12

dos S.A. de C.V. (ICA) in Mexico City. Der Auftrag zum Bau der Metro Line 12 umfasst design and build unter Beteiligung von 3 Unternehmen. Zwei mexikanische Unternehmen, ICA und CARSO, sind verantwortlich für den Ingenieurbau und das französische Unternehmen AL-STOM ist für die Flektrotechnik zuständig. Der Auftrag umfasst nicht die Lieferung der Metrozüge. Enthalten sind alle Arbeiten an der Oberfläche und vor allem der Tunnelbau in offener wie geschlossener Bauweise über die gesamte Länge von nahezu 9 km. Geplant ist das Ende der Tunnelbauarbeiten für 2012.

Zum Metrosystem in Mexico City gehören zurzeit 11 voll funktionierende Linien und es ist nach Angaben Benamars von der Ausdehnung her mit rd. 200 km Länge und 175 Stationen weltweit das viertgrößte System (Bild 5). Von der Linienführung her ist vor allem die Verbindung der dichtbevölkerten Bezirke im Südosten mit dem Westen der Stadt von großer Bedeutung, da sich hier der Finanzbezirk der Stadt befindet (Bild 6).

Mit der geplanten Inbetriebnahme der Metro Line 12 in 2012 wird erwartet, dass rd. 475.000 Menschen pro Tag nur allein diese neue Linie nutzen werden. Insgesamt nutzen rd. 4 bis 5 Mio. Menschen täglich die Metro in Mexico City. In 2010 nutzten mehr als 1,4 Mrd. Menschen die Metro. Dabei leben 9 bis 10 Mio. Menschen im Zentrum der Metropole. Die Metro Line 12 wird mit einem neuen elektrischen Betriebssystem ausgestattet, mit insgesamt 25,4 km die Längste im gesamten System. Geplant sind insgesamt 20 Stationen innerhalb der Metro Line 12 (Bild 7, 8). Jede Minute wird 1 Zug fahren.

Die Tunnellänge beträgt insgesamt ca. 8,8 km, davon werden 7,7 km mit einer EPB-Maschine von Robbins aufgefahren. Rund 1,1 km ab der letzten Station inklusive der Parking Area für die Züge werden im konventionellen Vortrieb aufgefahren. In diesem letzten Abschnitt ist der Vortrieb durch die Beschaffenheit des Baugrundes deutlich leichter zu bewältigen (kein Grundwasser bei stabilen Bodenverhältnissen).

When Metro Line 12 is commissioned in 2012 it is anticipated that around 475,000 passengers alone will use this new line on a daily basis. Altogether between 4 and 5 million people use Mexico City's Metro every day. In 2010 in excess of 1.4 billion people travelled by the Metro. In this connection 9 to 10 million people actually live in the city central area. The Metro Line 12 is to be equipped with a new electric operating system, totalling 25.4 km the longest on the complete network. Altogether 20 stations are planned for Metro Line 12 (Fig. 7, 8). The frequency will be a train a minute.

The tunnel is altogether some 8.8 km long – with 7.7 km driven by a Robbins EPB machine. Roughly 1.1 km starting from the last station including the parking area for the trains is to be excavated by conventional means. Driving in this final section is made considerably easier by the composition of the subsoil (no groundwater given stable soil conditions).

The mechanised drive commenced at the starting shaft in Mexicaltzingo by assembling the TBM and after passing through

7 Metro stations the TBM had to be dismantled in the target shaft in Mixcoac. The excavation's external diameter amounts to 10.2 m and the final internal diameter is 9.11 m. 40 cm thick reinforced concrete segments with 7+1 elements per ring were used for the lining (Fig. 9). Each segmental ring is 1.5 m long. They were connected by tongue and groove with bolts. The segments were produced by ICA on its own yard in a segment plant located some 30 km away with formwork supplied by Herrenknecht Formwork Technology. Production took place without interruption on a 24 h basis given tricky logistics as segments could only be stored for 1.5 days on a very constricted space at the individual shafts.

The tunnel was driven with a very shallow overburden with a maximum of 8 to 12 m. Most of the time the overburden amounted to 1.5 times the tunnel diameter in extremely tricky subsoil. At the same time very difficult zones were negotiated along the route alignment: a number of large clarification plants had to be underpassed, the foundations of a motorway bridge penetra-



Ausbau der M-12-Röhren mit Stahlbetontübbingen Lining the M-12 tubes with reinforced concrete segment

Der Maschinenvortrieb begann am Startschacht in Mexicaltzingo mit der Montage der TBM und nach der Durchfahrt von 7 Metrostationen wird die TBM im Zielschacht in Mixcoac wieder demontiert. Der Außendurchmesser des Ausbruchs beträgt 10,2 m und der endgültige Innendurchmesser beträgt 9,11 m. Ausgebaut wird mit 40 cm dicken Stahlbetontübbingen mit 7+1 Elementen pro Ring (Bild 9). Jeder Tübbingring hat eine Länge von 1,5 m. Die Ver-

ted, another Metro line negotiated given only 6 m overburden and numerous supply cables intersected the route alignment (Fig. 10). A motorway underpass was intersected, which undercuts another Metro line. Where Metro Line 12 begins a church dating back to the 16th century had to be passed given only a 12 m gap. All told 5 different zones had to be tackled, each of which required a different tunnel design.

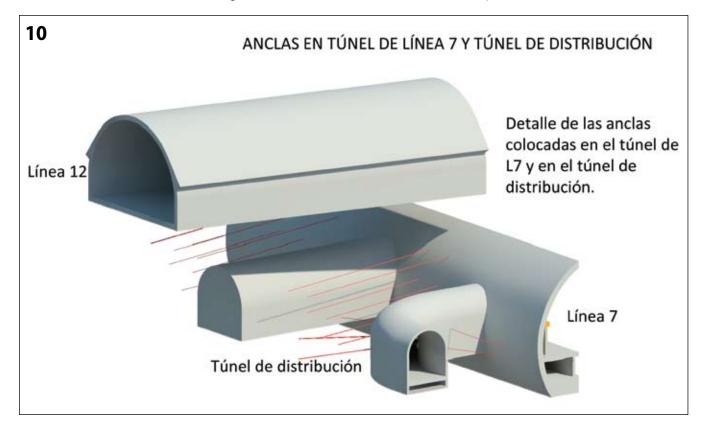
The 7 stations are of varying sizes: a number of them are quite normal Metro stations; others on the other hand are transfer stations. They are between 150 and 190 m in length. First they were built and then the TBM moved through them.

#### Metro Line 12 Tunnelling

To construct the Metro Line 12 first the stations were produ-

ced and then the tunnel driven in one direction from station to station. The longest driven section amounts to 1,800 m and the shortest 345 m. The TBM was assembled in 3 sections in the starting shaft and began moving towards the first station. The station was excavated protected by a diaphragm wall. When the TBM arrives in front of the station, a window is set in the wall so that the TBM can pass through safely (Fig. 11, 12). A rail unit consisting of round reinforced concrete segments is arranged on the station floor, on which the TBM runs until it reaches the other end of the station (Fig. 13). There it breaks through the prepared diaphragm wall and follows the planned route alignment to the next station.

The muck is transported to the surface via a belt conveyor. During roughly the first half of the excavation the muck was so



bindungen erfolgen in Nut und Feder mit Bolzen. Die Tübbinge werden von ICA auf einem eigenen Gelände in einer etwa 30 km entfernten Tübbigfabrik mit Schalungen von Herrenknecht Formwork Technology produziert. Die Produktion erfolgt ohne Unterbrechung 24 h bei erschwerter Logistik, da an den einzelnen Schächten nur Tübbinge für 1,5 Tage auf einem sehr beengten Lagerplatz vorgehalten werden können.

Der Tunnel wird mit sehr geringer Überdeckung von maximal 8 bis 12 m aufgefahren. Die meiste Zeit beträgt die Überdeckung maximal das 1,5fache des Tunneldurchmessers in sehr schwierigem Baugrund. Gleichzeitig werden entlang der Linienführung sehr schwierige Bereiche passiert: einige große Kläranlagen werden unterfahren, die Fundamente einer Autobahnbrücke sind zu durchfahren, eine andere Metrolinie muss mit nur 6 m Überdeckung passiert werden und zahllose Versorgungsleitungen kreuzen die Linienführung (Bild 10). Es wurde eine Autobahnunterführung gekreuzt, die eine andere Metrolinie unterfährt. Zu Beginn der Metro Line 12 musste eine Kirche aus dem 16. Jahrhundert mit nur 12 m Abstand passiert werden. Insgesamt mussten 5



Parque de los Venados: Fenster zum Durchbruch der TBM durch die Schlitzwand
Parque de los Venados: window enabling the TBM to break though the diaphragm wall

verschiedene Bereiche durchfahren werden, die jede eine andere Tunnelkonstruktion erforderte.

Die 7 Stationen sind unterschiedlich groß: einige Stationen sind ganz normale Metrostationen, andere dagegen Umsteigebahnhöfe. Sie sind zwischen 150 und 190 m lang. Sie wurden zuerst gebaut und dann von der TBM durchfahren.

#### Tunnelbau der Metro Line 12

Beim Bau der Metro Line 12 werden zuerst die Stationen hergestellt und dann die Tunmoist that it had to be disposed of by pumping. Subsequently the belt conveyor could be deployed as originally scheduled. Furthermore blocks of rock of up to 800 mm in size were anticipated in the final sections of the drive.

During tunnelling operations settlements amounted to between 2 and 5 cm. In the long term settlements of approx. 6 cm per annum are expected.

In Mexico City, tunnel had the chance to talk to Enrique Horcasitas Manjarréz (Fig. 14), director of the Metro project (see box p. 26).

## Tunnel Emisor Oriente (TEO)

The roughly 62 km long wastewater East (Tunel Emisor Oriente - TEO) will be one of the world's longest tunnels and will serve to relieve flooding at peak periods (Fig. 15). If heavy rain produces significant precipitation then Mexico City is threatened by flooding if clarification plants and wastewater systems overflow. Mexico City's sewage system was constructed in the late-1960s. Since then the number of inhabitants has more than doubled. A combination of circumstances – the growing population, the fact that Mexico City is subsiding and the resultant lack of gradient makes the building of one of Mexico's biggest infrastructural projects essential - the Emisor Oriente. After completion the tunnel's internal diameter will amount to 7 m. The tunnel provides a capacity of roughly 150 m<sup>3</sup>/s and will thus greatly relieve the existing wastewater system (Fig. 16). It possesses 24 shafts and an exit



Durchbruch der TBM in die Station Parque de los Venados TBM breakthrough into Parque de los Venados station



Hier fährt keine Metro durch die Station Ermita No Metro is passing through the Ermita station here

nel in einer Richtung von Station zu Station aufgefahren. Der längste Streckenvortrieb beträgt 1.800 und der kürzeste 345 m. Im Startschacht wurde die TBM in 3 Abschnitten montiert und startete in Richtung 1. Station. Der Aushub der Station erfolgt im Schutze einer Schlitzwand. Wenn die TBM vor der Station ankommt, wird ein Fenster in der Wand angeordnet, das die TBM sicher durchfahren kann (Bild 11, 12). Am Boden der Station ist eine Schiene aus runden Stahlbeton-Segmenten angeordnet, auf der die TBM die Station bis zum anderen Ende durchfährt (Bild 13). Dort durchbricht sie wieder die vorbereitete Schlitzwand und folgt der geplanten Linienführung zur nächsten Station.

Der Abraum wird mit einem Förderband an die Oberfläche transportiert. In etwa der ersten Hälfte des Vortriebs war der Abraum so feucht, dass er nur abgepumpt werden konnte. Später konnte dann, wie geplant, das Förderband eingesetzt werden. Zudem wurden Felsblöcke in den letzten Abschnitten des Vortriebs erwartet mit Größen bis zu 800 mm.

Während der Tunnelbauarbeiten lagen die Setzungen zwischen 2 und 5 cm. Langfristig werden Setzungen von rd. 6 cm im Jahr erwartet.

In Mexico City hatte tunnel die Gelegenheit, mit Enrique Horcasitas Manjarréz (Bild 14), Direktor des Metro-Projekts, zu sprechen (siehe Kasten S. 26). portal (Fig. 17). More than 40,000 segmental rings have to be installed and in order to complete the Emisor Oriente according to schedule 6 EPB tunnel boring machines are being deployed. During the drive the overburdens range from 20 to 150 m.

At present the entire rainwater and wastewater from in and around Mexico City are transferred to the open Gran Canal built in 1967 and 1975. However, it is unable to cope with heavy falls of rain to such an extent that the rainwater contaminated with waste breaches the banks. Additionally maintenance work and repairs on this long-in-the-tooth sewage system must also be taken into account so that the

discharge capacity is reduced dramatically. It was decided to build the Emisor Oriente Tunnel to gain some breathing space by increasing the capacity by some 150 m<sup>3</sup>/s.

A Joint Venture consisting of the Mexican contractors ICA, Carso, Cotrisa, Lombardo and Estrella – COMISSA – was commissioned to tackle the Emisor Oriente Tunnel project.

Tunnel was able to glean further knowledge from Raymundo Rincon (Comissa project manger), David Juarez (site manager, ICA), Roberto Gonzales, (general manager Robbins Mexico), Andrei Olivares (project manager Robbins Mexico) and Jeremy Pinkham (Robbins field service manager - The Americas) (Fig. 18).





VARIOKIT, the engineering construction kit with rentable, standardised components, is the solution for numerous requirements in tunnel construction.

- Maximum reduction in the number of special parts
- Perfect adjustment to project requirements
- Wide range of system components
- Open system for numerous other applications

## Cost-effective VARIOKIT solutions with standardised components



Formwork Scaffolding Engineering

www.peri.com

#### What significance does the accomplishment of the project have for Mexico City/the region?

Public transportation in and around the world's third most populated city will soon get an upgrade more than 15 years in the making.

Work to the Mexico City Metro transit system's newest addition is on track to finish in April 2012. The \$1.41 billion U.S. Metro Line 12 project – also known as the Gold Line – involves the construction of a 25.1 km subway line and 20 rail stations in the southeastern part of the city and surrounding metropolitan area. Planning for the new subway line began in 1996, and construction started in 2008.

This line will be fast, safe and efficient, and will lift the lives of all people in the metropolitan area. This Line 12 will directly transport 437,000 people and improve overall network connectivity for the 4.5 million passengers who use the Metro daily.

After completion, the new Metro line will include a number of features aimed at serving all ridership groups. We are getting together the best technologies to be fully accessible. People with disabilities can use Line 12 without requiring any assistance.

A total of 71 new elevators will be installed in the new stations to assist wheelchair-bound users in getting from street level to platforms.

Visually impaired riders will be assisted through tactical slotted strips installed along the platforms, as well as floors with textures that will change when riders reach the bottom or top of stairs. Signage will be available in Braille and audio messages can be accessed through touching aluminum plates. For the hearing impaired, lights will be installed to indicate when subway doors will close and open.

#### What would you say is the trickiest part of the project?

At first the new Line 12 of the subway in the stretch Atlalilco-Tláhuac has been the most difficult to build from the stratigraphic point of view of the soil of this area; we have built different structures made of concrete and steel, in addition to the soil mechanics.

Second the availability of human resources, technique and financial execution of the works. The agreement between authorities and citizens to agree in the construction of new massive transportation works. Leveraging the experience gained in the application site of the geotechnical design of the underground structures, unstable soils and seismic zone. The accomplishment of the integral program: to execute the project simultaneously

**Tunnel Emisor Oriente** (TEO) Der rd. 62 km lange Abwassertunnel Ost (Tunel Emisor Oriente-TEO) wird weltweit einer der längsten Tunnel sein und dient zur Entlastung der Hochwassersituation in Spitzenzeiten (Bild

15). Sollte es zu einem stärke-

ren Hochwasseranfall kommen,

droht Mexico City bei überlaufenden Kläranlagen und Abwasserleitungen überflutet zu werden. Das Abwassersystem von Mexico City wurde in den späten 1960er Jahren erbaut. Seitdem hat sich die Bevölkerungszahl der Metropole mehr als verdoppelt. Eine Kombination aus der stark anwachsenden

tiveness of this Great City. Initially the plan to construct considerably trickier than first the TEO was too optimistic, numerous changes had to be introduced and various parts of the project could only be undertaken at a later stage so that completion is now envisaged for 2014 rather than 2012. Furthermore the subsoil in sections 4 and 6 for instance is

expected (Fig. 19). The route alignment had to be partially altered and the shaft concept reappraised as the subsoil conditions substantially held up work on producing the shafts. For example an underground river was discovered. However from the onset 25 shafts were



with the construction of the new Line 12. And at least to fulfill the mandate of the Head of Government: To build and develop the project on time and well-made.

#### How long does need the project to be finished and when may the first people use the new metro line?

The Line will start working in 2012.

#### At the end of the day you have to pay the bill: Is it possible to say something about financing the project?

The investment of this project has been the highest and most important of the last 25 years in Mexico City; it's the largest investment amount and hardest because it's complexity.

Contracted Work: 1.4 billion USD Paid Work: 1,281,572,109 USD

Work to be performed in July 2011: 40,996,482 USD

#### What made you decide to work with Robbins?

Because the quality of their products, the performance and reliability of their commitments and the value added of their products. Robbins is a global company which always brings us the best maintenance and give us a quick and adequate answer to any problem the machines has. Robbins' employees are really professional and faithful.

#### If you could have a look into the future: What would you like to do/to realize?

Continue the development of the Metro Network until it is finished at all, because it is a vital issue for the life quality and competi-

Bevölkerung und dem Absinken Mexico City's und damit dem Verlust des Gefälles erfordert den Bau eines der größten Infrastruktur-Projekte Mexicos - dem Emisor Oriente. Nach Fertigstellung wird der Tunnel einen Innendurchmesser von 7 m haben. Der Tunnel liefert eine Kapazität von rd. 150 m<sup>3</sup>/s und entlastet damit das bestehende Abwassersystem stark (Bild 16). Der Tunnel hat 24 Schächte und 1 Ausgangsportal (Bild 17). Mehr als 40.000 Tübbingringe sind einzubauen und um den Emisor Oriente im Zeitplan fertig stellen zu können, sind 6 EPB-Tunnelbohrmaschinen im Einsatz. Die Überdeckungen während des Vortriebs liegen dabei zwischen 20 und 150 m.



TEO: Eine Entlastung des Hochwassersituation in Mexico City tut not TEO: relief for Mexico City's floodwater situation is essential

Derzeit wird das gesamte Regenwasser und Abwasser der Großregion von Mexico City noch über den 1967 und 1975

planned for the 62 km route. The 150 m deepest shaft was The shafts possess a diameter of 12 to 20 m and are between 28 and 150 m deep.

produced over the first 100 m with 20 m diameter employing a sealing wall. The final 50 m



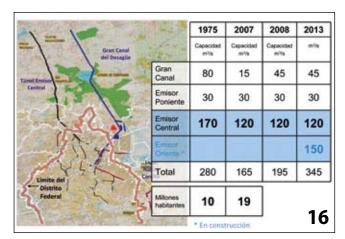
### Schweizer Qualität wirtschaftlich - stark - präzise

Für jeden Einsatz die passende Anlage, wir beraten Sie gerne!

**GIPO AG** Kohlplatzstrasse 15 CH-6462 Seedorf Tel. +41 (0)41 874 81 10 info@gipo.ch / www.gipo.ch

#### **Vertrieb Deutschland Nord-Mitte: TRS GmbH**

Wilhelmstrasse 5 / D-31582 Nienburg Tel. +49 (0 50 21) 887 73 12 info@gipo-online.de / www.gipo-online.de



Übersicht der Kapazitäten der Abwasserkanäle Mexico City's Overview of capacities of Mexico City's wastewater systems

gebauten offenen Gran Canal abgeleitet. In Zeiten starker Regenfälle ist dieser jedoch derart überlastet, dass das extrem mit Abwasser kontaminierte Regenwasser über die Ufer tritt. Hinzu kommen Erhaltungsarbeiten und Reparaturen an dem in die Jahre gekommenen Kanalsystem, sodass sich auch die ableitbare Kapazität dramatisch reduziert. Der Bau des Tunnels Emisor Oriente wurde beschlossen, um sich mit einer zusätzlichen Kapazität von 150 m<sup>3</sup>/s Luft zu verschaffen.

Ein Joint Venture der mexikanischen Bauunternehmen ICA, Carso, Cotrisa, Lombardo und Estrella – COMISSA – wurde mit der Realisierung des Projekts Tunnel Emisor Oriente beauftragt.

Im Gespräch mit Raymundo Rincon (Projektmanager von Comissa), David Juarez (Baustellenleiter, ICA), Roberto Gonzalez (Geschäftsführer Robbins Mexico), Andrei Olivares (Projektleiter Robbins Mexico) und Jeremy Pinkham (Robbins field service manager - The Americas) konnte tunnel noch weitere Details erfahren (Bild 18).

Anfangs war der Plan zum Bau des TEO noch zu optimistisch, es waren umfangreiche Änderungen umzusetzen und einige Projektteile konnten erst später begonnen werden, sodass nun statt des Fertigstellungstermins 2012 das Jahr 2014 anvisiert wird. Hinzu kommt, dass der Baugrund z.B. in Los 4 und 6 deutlich schwieriger als erwartet ist (Bild 19). Es mussten teilweise die Streckenführung geändert und das Schachtkonzept überdacht werden, da die Baugrundbedingungen die Erstellung der Schächte deutlich verlangsamte. Unter anderem wurde ein unterirdischer Fluß entdeckt. Von Anfang an waren aber 25

with 16 m diameter was produced by shotcreting.

The tunnel is being driven with EPB machines from Robbins and Herrenknecht. In July 2011, 2 Herrenknecht machines and 1 Robbins machine were deployed with a further Robbins TBM and a further Herrenknecht TBM being assembled at the end of July and August respectively. A 3rd Robbins machine was assembled in October 2011 so that altogether 6 TBMs are being used for the Emisor Oriente Tunnel.

In November 2009, a Herrenknecht TBM started from Shaft 0 in the 10 km long contract section 1 towards Shaft 5. Flooding caused the drive to be interrupted for more than 6 months. In order to adhere to the tight schedule the Robbins TBM foreseen for Shaft 5 was started in the direction of Shaft 0. Both machines were disassembled at their meeting point, the new Shaft 3a. Contract section 1 is the most important part of the project as it is located in the middle of the city so that it has to be completed as quickly as possible. In the event of floods the water here can flow away and be pumped into the Gran Canal with the aid of a pumping unit.

In August 2010, a Herrenknecht TBM started operating in contract section 2 – also 10 km long – from Shaft 5 in the direction of Shaft 10.

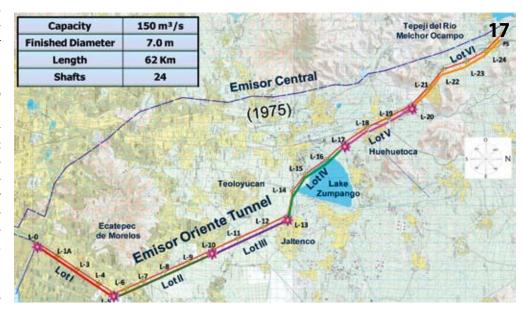
In the 10 km long contract section 3 tricky geological conditions are expected. In 2012 a Robbins TBM began operating from Shaft 10 towards Shaft 13.

In contract section 4 later in 2012, the 10 km long drive with a Robbins TBM began in Shaft 17 heading for Shaft 13. Sandy soil is expected here with volcanic ash and blocks of rock. Water pressure in this section is anticipated at 6 bar.

After the Robbins TBM concludes the additional drive in contract section 1, it will embark on the 10 km long contract section 5 drive from Shaft 20 to Shaft 17.

A Herrenknecht TBM began its 10 km long drive in September 2010 in contract section 6 from the portal to Shaft 20.

Pumps were used initially and now they are using fabric belt continuous conveyors that transfer to J-type vertical belt convey-



Übersichtsplan für das Projekt Emisor Oriente General plan of the Emisor Oriente project

Schächte für die 62 km lange Strecke geplant. Die Schächte haben einen Durchmesser von 12 bis 20 m und sind zwischen 28 und 150 m tief.

Der mit 150 m tiefste Schacht wurde auf den ersten 100 m bei 20 m Durchmesser mit einer Dichtwand hergestellt. Die letzten 50 m mit 16 m Durchmesser wurden in Spritzbetonbauweise erstellt.

Der Tunnelvortrieb erfolgt mit EPB-Maschinen von Robbins und Herrenknecht. Im Juli 2011 waren 2 Herrenknechtmaschinen und 1 Robbinsmaschine im Einsatz, während Ende Juli 1 weitere Robbins-TBM und Ende August 1 weitere Herrenknecht-TBM montiert wurden. Im Oktober 2011 wurde eine 3. Robbins-TBM montiert, sodass insgesamt 6 TBM für den Tunnel Emisor Oriente im Einsatz sind.

Im 10 km langen Los 1 von Schacht 0 ausgehend startete im November 2009 eine Herrenknecht-TBM in Richtung Schacht 5. Eine Überschwemmung zwang den Vortrieb zu einer über 6-monatigen Pause. Um den straffen Zeitplan einzuhalten, wurde die für Schacht 5 vorgesehene Robbins-TBM von Schacht 5 in Richtung Schacht 0 auf den Weg gebracht. Im Treffpunkt, dem neuen Schacht 3a, werden beide Maschinen demontiert. Los 1 ist der wichtigste Teil des Projektes, da das Los im Zentrum der Stadt liegt und so schnell wie möglich fertig gestellt sein muss. Im Falle von Überschwemmungen kann das Wasser hier abfließen und mithilfe einer Pumpstation in den Gran Canal gepumpt werden.

Im August 2010 ging im ebenfalls 10 km langen Los 2 eine Herrenknecht-TBM von Schacht 5 in Richtung Schacht 10 auf den Weg.



Roberto Gonzalez (re.), Andrei Olivares (li) und Jeremy Pinkham für Robbins informierten mit Raymundo Rincon und David Juarez (beide nicht im Bild) über das Projekt TEO

Roberto Gonzales (r.), Andrei Olivares (l.) and Jeremy Pinkham for Robbins provided data on the TEO project together with Raymundo Rincon and David Juarez (both not in photo)

Im 10 km langen Los 3 werden schwierige geologische Bedingungen erwartet. Hier startete ausgehend von Schacht 10 in 2012 eine Robbins-TBM in Richtung Schacht 13.

In Los 4 begann der 10 km lange Vortrieb danach in 2012 mit einer Robbins-TBM im Schacht 17 und geht in Richtung Schacht 13. Erwartet wird hier ein sandiger Boden mit Vulkanasche und Felsblöcken. Der Wasserdruck in diesem Abschnitt wird bei 6 bar liegen.

Nachdem die Robbins-TBM den zusätzlichen Vortrieb in Los 1 beendet hat, wird sie den 10 km langen Vortrieb des Loses 5 von Schacht 20 nach Schacht 17 beginnen.

Im Los 6 vom Portal bis Schacht 20 startete im September 2010 eine Herrenknecht-TBM ihren 10 km langen Vor-

Anfangs wurden Pumpen genutzt, um den Abraum der Vortriebe abzutransportieren. Inzwischen transportieren herkömmliche Förderbänder den Abraum zu vertikalen Förderbändern im Schacht. Die Vertikalförderbänder besitzen einen kleinen Fußbereich mit ors to move muck up the shafts. The J-type belt has a small footprint for limited site space, and is used at TEO with a vertical belt

storage unit, also to save space in the small site footprint.

Ing. José Miguel Guevarra Torres, Emisor Oriente project manager from Conagua, provided us with an impression of the project (Fig. 20). According to Guevarra the project has to be seen from 2 angles. First of all there is the 62 km long tunnel with 7 m diameter. Then there are a large number of different geologies present at each of the faces for the 6 drives. The excavation runs through 3 different urban districts with a vast number of complicated passages and undercuts in some cases only a slight distance away or with minimal overburden. As the groundwater level falls the city inevitably subsides, a process re-

#### Wir sind international tätige Planer für

- Tunnellüftungen
- **Immissionsberechnungen** und -gutachten
- Aerodynamik und Thermodynamik von Tunnelsystemen
- Mechanische Ausrüstung
- Risiko- und Sicherheitsanalysen

#### Unsere Leistungen umfassen:

- · Strassen-, Bahn-, U-Bahn, Versorgungstunnel
- Beratung, Expertisen und Studien
- Planung, Projektierung und Realisierung
- Bauleitung und Messungen
- Abnahmetests und Brandversuche

Von Vorstudien bis zur detaillierten Auslegung und von Ausschreibungen bis zur Inbetriebnahme sind wir der richtige Ansprechpartner.



«Weltweit erfolgreiche Planung und Beratung bei über 600 Tunnellüftungen seit 1963»

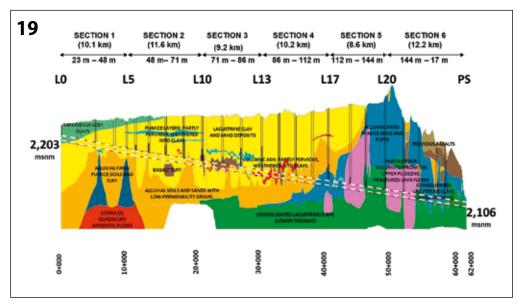
#### **HBI Haerter Beratende Ingenieure**

HBI Haerter AG Stockerstr. 12 Tel. +41 44 289 3900 Fax +41 44 289 3999

8002 Zürich / Schweiz E-Mail: info.zh@hbi.ch Web: www.hbi.ch CH: Zürich, Bern / D: Heidenheim / UK: Forest Row

Anschluss an einen Bandspeicher um Platz zu sparen.

Ing. José Miguel Guevarra Torres, Projektleiter Emisor Oriente von Conagua, gab uns schließlich noch einen persönlichen Einblick in das Projekt (Bild 20). Nach Guevarra muss man das Projekt aus 2 Blickwinkeln betrachten. Einerseits ist da der 62 km lange Tunnel mit 7 m Durchmesser. Andererseits werden eine Vielzahl unterschiedlicher Geologien an jeder Ortsbrust der 6 Vortriebe vorgefunden. Der Vortrieb geht durch 3 verschiedene Stadtbezirke mit einer Unmenge komplizierter Vorbeifahrten und Unterfahrungen mit teilweise geringem Abstand oder minimaler Überdeckung. Das Absinken der Stadt nimmt mit sinkendem Grundwasserspiegel unaufhaltsam zu und ist an vielen Stellen sehr unterschiedlich intensiv, abhängig von den jeweiligen geologischen Rahmenbedingungen. Die Ableitung des Oberflächenwassers begann bereits im Jahr 1635 aus dem Mexico Valley und dem Mezqual Valley. Seitdem trocknet der See aus. Um das Jahr 1900 wurde der offene Gran Canal eröffnet. um das Abwasser der Stadt abzuleiten und musste dazu durch bzw. über die Berge in die Sierra Guadelupe geleitet werden. Dies erfolgte anfangs auch mit einem deutlichen Gefälle aus der Stadt heraus, doch im Laufe der Jahre kehrte sich nun das Gefälle um. Dies zeigt sich besonders bei schwerem Regen, wenn der Kanal in kürzester Zeit überlastet ist. Außer dem Emisor Oriente sind auch weitere Kläranlagen im Bau. Der erste wichtige Teil des Emisor Oriente wird in 2012 fertig gestellt sein und dann kann am Schacht 5 die Pumpstation mit der Kläranlage das Flutwasser in den Gran



Geologisches Profil mit einer Übersicht der Lose und Schächte des TEO

Geological profile with an overview of the contract sections and shafts of the TEO on the project and its peculiarities

Canal ableiten. Ein großes Problem, das zukünftig noch gelöst werden muss, ist die Frischwasser-Versorgung Mexico City's.

#### Schlussbemerkung

Zahlreiche große Städte in allen Teilen der Welt haben mit ähnlichen Problemen zu kämpfen. Allerdings sind sie nicht immer so massiv und gebündelt, wie wir das z.B. in Mexcio City vorfinden. In allen Fällen aber bieten Lösungen unter Einbeziehung der Tunnelbauweise immer eine akzeptable, innovative und dauerhafte Lösung.

flecting extreme differences of intensity at many places depending on the given geological conditions. Work on diverting the surface water from the Mexico Valley and the Mezqual Valley began as far back as 1635. Since then the lake has dried out. The Gran Canal was opened in 1900 to cope with the city's wastewater and towards this end it had to be diverted via the mountains in the Sierra Guadelupe. Initially this took placed assisted by a defined slope running from the city but in the course of the years this situation has

reversed. This is revealed particularly when heavy rain falls and the canal bursts its banks in the shortest possible time. In addition to the Emisor Oriente further clarification systems are under construction. The first important section of the Emisor Oriente is due to be completed in 2012 and then the pumping station with the clarification plant at Shaft 5 can divert floodwater into the Gran Canal. A major problem that still remains unresolved is how to provide Mexico City with drinking water.



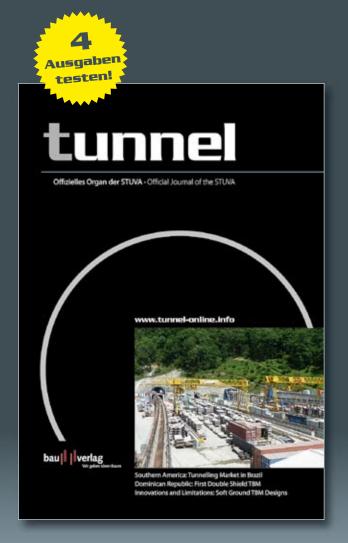
Geduldig erläutert José Miguel Guevarra, Projektleiter Emisor Oriente, dem tunnel-Chefredakteur das Projekt und seine Besonderheiten

José Miguel Guevarra, Emisor Oriente project manager patiently briefs the tunnel editor-in-chief

#### Conclusion

Numerous big cities throughout the world have to face up to similar problems. However these may not be as huge and concentrated as they are in Mexico City. Whatever the case solutions that include resorting to tunnels always provide an acceptable, innovative and sustainable way out.

# Alle Vorteile eines Abonnements + einen iPod als Geschenk.





4 Ausgaben tunnel im Kennenlern-Paket: Sie sparen 14,50 EUR im Vergleich zum Einzelheftkauf und erhalten

2011TUA02VO für Zwecke der Werbung jederzeit beim Verlag widersprechen.

1 x iPod Shuffle 2 GB kostenlos dazu!

### Jetzt ausfüllen und Prämie sichern

Firmenanschrift	☐ Privatanschrift	
Firmenname	Branche	
Vorname, Name		
		[ ] Ja, ich lese die nächsten 4 Ausgaben der Fachzeitschrift tun- nel zum Vorzugspreis von nur 73,50 EUR statt 88,00 EUR im
Straße	PLZ, Ort	Einzelverkauf. Mein Geschenk erhalte ich direkt nach Zah- lungseingang. Das Abonnement läuft nach vier Ausgaben auto- matisch aus.
Telefon	eMail	[ ] Ja, ich bin damit einverstanden, dass mich der Bauverlag und die DOCUgroup per E-Mail über interessante Zeitschriften- angebote informieren. Diese Einwilligung kann ich jederzeit wi- derrufen. Ich kann der Verarbeitung und Nutzung meiner Daten

Noch mehr Infos unter: www.tunnel-online.info