

Túnel Emisor Oriente: Das weltgrößte Abwasserprojekt

Ein gigantisches Bauvorhaben soll das Abwasserproblem in Mexiko-Stadt lindern. Beim Bau des insgesamt 60 km langen Tunnel kommen auf 3 Bauabschnitten EPB-Schilde großen Durchmessers von Herrenknecht zum Einsatz.

1 Die sinkende Stadt

Um rund 12 m ist Mexiko-Stadt in den vergangenen 100 Jahren in einigen Stadtteilen abgesunken – das entspricht der Höhe eines viergeschossigen Wohnhauses. Der größte Teil der Stadt ist auf sumpfigem Untergrund gebaut und weil aus diesem

Dipl.-Ing. Volker Breuning, Herrenknecht AG, Schwanau/D
www.herrenknecht.de

Sumpf mehr Grundwasser entnommen wird, als er durch Regen wieder aufnehmen kann, wird er immer kompakter und die 20-Millionen-Metropole darüber sinkt ab (Bild 1). Mit

Die Spitze dieses alten Brunnens zeigt anschaulich, wie sehr manche Stadtteile über die Jahrzehnte an Höhe verloren haben

The top of this old well clearly demonstrates to what extent some parts of the city have lost height in the course of decades



Túnel Emisor Oriente: The biggest Sewage Project in the World

A gigantic building scheme has been devised to ameliorate the wastewater problem in Mexico City. Large diameter EPB Shields from Herrenknecht are being used on 3 contract sections to produce the altogether 60 km long tunnel.

1 The sinking City

In the past 100 years some parts of Mexico City have sunk by roughly 12 m – corresponding to the height of a 4-storey high house. The bulk of the city is constructed on swampy subsoil and as more groundwater is extracted from this swamp than can be replaced by precipitation, the terrain becomes ever more compact and the city above with a population of 20 million inhabitants continues to subside (Fig. 1). The “Emisor Central”, Mexico City’s main wastewater collector completed in 1975, continues to sink with it. Its gradient is becoming increasingly more unfavourable so that in the interim it has lost around 40 % of its original capacity of 170 m³/s. In parts this gradient has reversed so that pumps must be applied to carry the sewage. Year by year serious floods result because the wastewater system is no longer able to cope with the masses of rain.

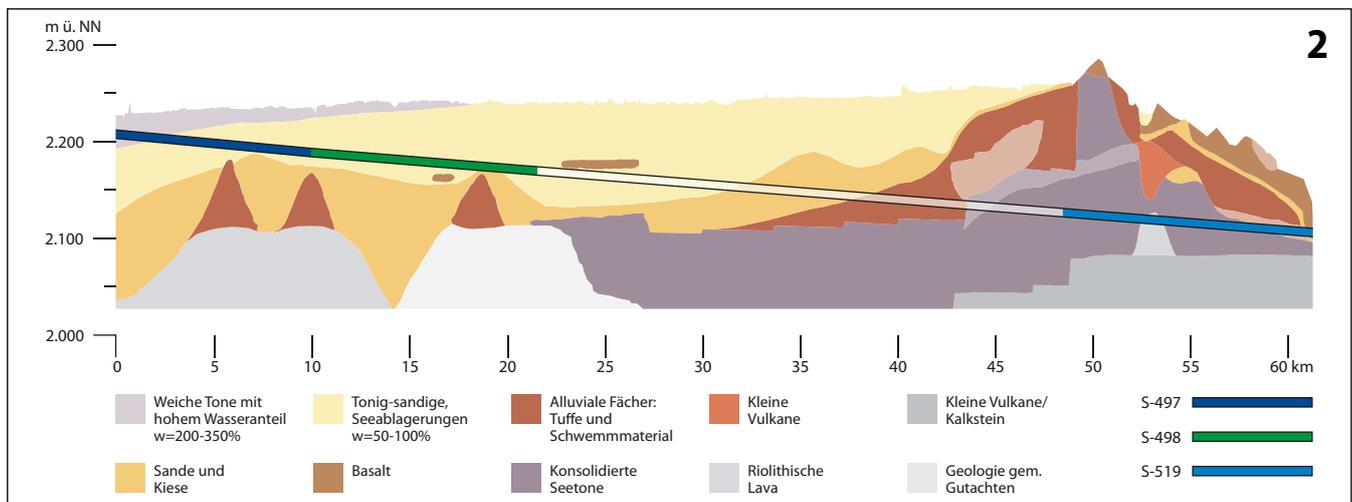
In mid-2008 CONAGUA, the national water board in the Mexico Ministry for the Environment, embarked on the construction of the “Túnel Emisor Oriente”. With an internal diameter of 7 m, it will

transport up to 150 m³ of sewage per second over a distance of 63 km beneath the capital and the federal region of Mexico towards the federal region of Hidalgo. The authorities and the population are convinced that the world’s biggest sewage project will reintroduce an element of quality to life in the city.

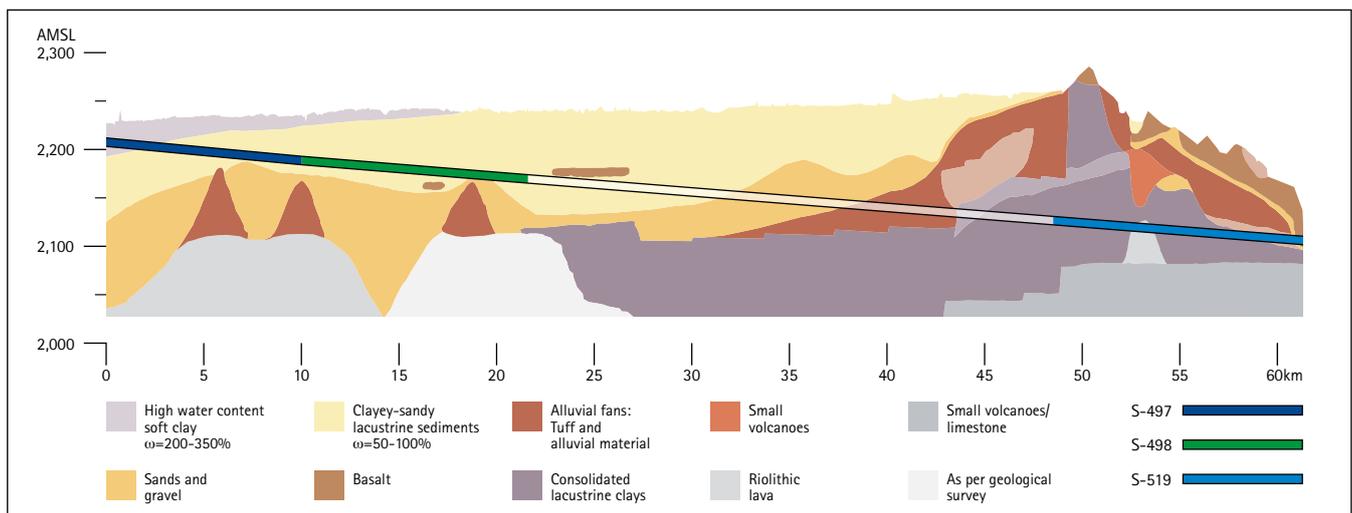
A consortium of 5 companies is involved in building this giant scheme. In February 2008, Herrenknecht was commissioned to deliver 3 EPB Shields for the Túnel Emisor Oriente, which have to drive 3 tunnel contract sections with a total length of some 30 km.

2 Ground Conditions

The first machine S-497 (section 1) mainly passes through clays and silts with a high water content between Shaft LO and L3a (Fig. 2). Shield S-498 is deployed for contract section 2 between Shaft L5 and L10. It mainly encounters over-consolidated silty sand and loam and considerably higher water pressures than in section 1. The third EPB Shield S-519 (section 6) largely encounters substantially more heterogeneous conditions – driving in over-consolidated clays up until February 2012. As it progresses the S-519 can expect a



Trassenquerschnitt Túnel Emisor Oriente



Túnel Emisor Oriente route cross-section

der Stadt sinkt auch der „Emisor Central“, der 1975 fertig gestellte Hauptabwassersammler von Mexiko-Stadt. Sein Gefälle wird zunehmend ungünstiger, wodurch er inzwischen rund 40 % seiner ursprünglichen Kapazität von 170 m³/s einbüßt. Streckenweise hat sich das Gefälle umgekehrt und es müssen Pumpen eingesetzt werden, um das Abwasser zu befördern. Jahr für Jahr kommt es zu schwersten Überschwemmungen, weil das Abwassersystem der Regenmassen nicht mehr Herr wird.

Mitte 2008 begann CONAGUA, die nationale Wasser-

kommission im mexikanischen Umwelt-Ministerium, mit dem Bau des „Túnel Emisor Oriente“. Er wird bei einem Innendurchmesser von 7 m bis zu 150 m³ Abwasser pro Sekunde auf einer Länge von 63 km unter der Hauptstadt und dem Bundesstaat Mexiko hindurch bis in den Bundesstaat Hidalgo abführen. Von dem weltgrößten Abwasserprojekt versprechen sich Behörden und Bevölkerung, dass ein Stück Lebensqualität in die Stadt zurückkehrt.

Ein Konsortium aus 5 Firmen ist mit dem Bau dieses Megaprojekts befasst. Im Februar 2008 wurde Herrenknecht

geological section with rocky zones comprising conglomerates, breccias and pyroclastic sediments and blocks as well as mixed face conditions with soft and hard material. Given a maximum overburden of in excess of 150 m at the same time high water ingresses and pressures are anticipated.

3 Three Herrenknecht EPB Shields for the Túnel Emisor Oriente

The 3 Herrenknecht EPB Shields are essentially designed for the geological conditions as well as the depth of the tunnel extending down to 150 m (Fig. 3, Table 1).

Consequently the EPB Shields and their installations were devised for operating pressures of up to 7 bar and can be adapted corresponding to the heterogeneous subsoil conditions.

The cutting wheel design permits the cutting knives and rippers to be replaced by disc cutters in other words so that either soft ground or solid rock can be tackled. In order to enable the flow of material in silty and clayey geology the cutting wheel of the S-497 and S-498 is provided with a large opening ratio in the critical central area. On the other hand for driving the S-519 in rockier sections the

beauftragt 3 EPB-Schilde für den Túnel Emisor Oriente zu liefern, die 3 Tunnel-Lose mit einer Gesamtlänge von rund 30km auffahren werden.

2 Baugrundverhältnisse

Die erste Maschine S-497 (Los 1) fährt zwischen Schacht L0 und L3a hauptsächlich durch Tone und Schluffe mit hohem Wassergehalt (Bild 2). Der Schild S-498 wird für das Baulos 2 zwischen Schacht L5 und L10 eingesetzt. Er trifft vorwiegend auf überkonsolidierten schluffigen Sand und Lehm und auf deutlich höhere Wasserdrücke als bei Los1. Der dritte EPB-Schild S-519 (Los 6) wird weitaus heterogenere Verhältnisse auffahren und macht bis Februar 2012 Vortrieb in überkonsolidierten Tonen. Auf der weiteren Etappe erwartet die S-519 ein geologischer Schnitt mit felsigen Abschnitten bestehend aus Konglomeraten, Brekzie und pyroklastische Sedimente und Blöcken sowie Mixed-Face-Bedingungen mit weichem und hartem Material. Bei einer maximalen Überdeckung von mehr als 150 m werden zugleich hohe Wasserzuflüsse oder -drücke erwartet.

3 Drei EPB-Schilde von Herrenknecht für Túnel Emisor Oriente

Die 3 Herrenknecht-EPB-Schilde sind grundsätzlich auf die geologischen Verhältnisse sowie auf die Tiefenlage der Tunnel von bis zu 150 m ausgelegt (Bild 3, Tabelle 1).

So wurden die EPB-Schilde und deren Einbauten für Betriebsdrücke von bis zu 7 bar konstruiert und können entsprechend den heterogenen Baugrundbedingungen adaptiert werden.

		S-497 Los L0 – L3a	S-498 Los L5 – L10	S-519 Los 6
Vortriebslänge	[m]	6.488	11.581	12.163
Maschinentyp		EPB-Schild		
Schilddurchmesser	[mm]	8.700		8.890
Gesamtgewicht	[t]	930		1.095
Gesamtlänge	[m]	95		85
Werkzeugbestückung - Spuren - Schälmesser		38 (Disken oder Ripper) 164		53 150
Konditionierung (Lanzen)		6		8
Antriebsleistung Schneidrad	[kW]	1.600		2.080
Nennmoment	[kNm]	6.613		10.251
Vorschubkraft	[kN]	73.187		62.437
Nachläufer Anzahl Länge Gewicht	[Stck] [m] [t]	5 95 350		
Tübbingring Ringteilung Länge Innendurchmesser Außendurchmesser	[Stck] [mm] [mm] [mm]	6+1 1.500 7.100 7.800		7+1 1.500 7.800 8.600

Tabelle 1: Maschinendaten

		S-497 Section L0 – L3a	S-498 Section L5 – L10	S-519 Section 6
Length of drive	[m]	6,488	11,581	12,163
Machine type		EPB-Shield		
Shield diameter	[mm]	8,700		8,890
Total weight	[t]	930		1,095
Total length	[m]	95		85
Attached tools - Tracks - Cutters		38 (discs or rippers) 164		53 150
Conditioning (lances)		6		8
Output cutting wheel	[kW]	1,600		2,080
Nominal torque	[kNm]	6,613		10,251
Thrusting force	[kN]	73,187		62,437
Trailers Number Length Weight	[Pieces] [m] [t]	5 95 350		
Segmental ring Ring division Length Internal diameter External diameter	[Pieces] [mm] [mm] [mm]	6+1 1,500 7,100 7,800		7+1 1,500 7,800 8,600

Table 1: Machine data

Das Schneidraddesign erlaubt den Wechsel von Schälmessern bzw. Stacheln zu Rollenmeißeln und somit die Anpassung von weichem Boden auf harten Fels.

cutting wheel centre is designed in such a way that it can be fitted with disc cutters. A total of 8 openings are to be found in the cutting wheel in order to con-

dition the subsoil in an optimal manner.

The screw conveyor with 900 mm diameter extracts the soil and primarily is responsib-



Der EPB-Schild S-497 bei der Werksabnahme in Schwanau, Februar 2009

The S-497 EPB Shield on the occasion of the workshop acceptance in Schwanau, February 2009

Um den Materialfluss in schluffiger und toniger Geologie zu gewährleisten, ist das Schneidrad von S-497 und S-498 im kritischen Zentrumbereich mit einem großen Öffnungsverhältnis ausgebildet worden. Für den Vortrieb von S-519 in felsigen Abschnitten wurde dagegen das Schneidradzentrum so gestaltet, dass es mit Disken bestückbar ist. Insgesamt 8 Öffnungen befinden sich im Schneidrad um den Baugrund optimal konditionieren zu können.

Die Förderschnecke mit einem Durchmesser von 900 mm extrahiert den Boden und baut primär die Druckverhältnisse in der Abbaukammer ab. Zur weiteren Materialförderung sind bei S-497/498 sowohl ein Maschinenband mit Abwurf auf einen Tunnelzug als auch Dickstoffpumpen vorgesehen. Die EPB-Schilde können somit konvertiert und an die geolo-

gischen Verhältnisse angepasst werden. Die S-519 fördert das Abraummateriale auf ein Tunnelband, da hier die Baugrundbedingungen einen höheren Aufwand zur Verbreitung und Förderung mittels Pumpen bedeuten würden.

Die eingesetzten Dickstoffpumpen eignen sich besonders zur Förderung von weichem, kohäsivem Boden mit hohem Wassergehalt und können zusätzlich zum sekundären Abbau von sehr hohen Stützdrücken eingesetzt werden. Das Prinzip der Pumpenförderung hat sich in Mexiko bereits beim Projekt Rio de la Compania (EPB-Schild S-364, Vortrieb 2007 bis 2009) bewährt. Um die Pumpbarkeit für die neuen Projektbedingungen vor Vortriebsbeginn von S-497/498 zu simulieren, wurde eigens ein Pumpversuch unter Realbedingungen vor Ort durchgeführt (Bild 4).

le for the pressure conditions in the extraction chamber. The S-497/498 also possess a machine belt conveyor with discharge onto a tunnel train as well as solid matter pumps for further transportation of material. As a result the EPB Shields can thus be adapted to the geological conditions. The S-519 carries the excavated material on a tunnel belt conveyor as in this case the ground conditions would make it more difficult to slurify and discharge by means of pumps.

The solid matter pumps that are applied are particularly suitable for discharging soft, cohesive soil with a high water content and can also be used for catering for very high supporting pressures. The pump discharge principle already proved itself in Mexico for the Rio de la Compania project (EPB Shield S-364, advance from 2007 till 2009). Pumping tests (Fig. 4)

were undertaken on site under real conditions to establish the pumpability of the new project conditions prior to the S-497/498 drives commencing.

The successful tests indicated that correspondingly conditioned muck can be pumped up to a distance of approx. 1.5 km without a relay station being needed as a booster in the tunnel. Even greater distances can be bridged by injecting lubricants and smearing the bore wall with water, bentonite or additives.

The main advantage of pump conveyance results from being able to transport material vertically in narrow starting shafts. The material to be pumped should ideally possess a high natural water content or be in liquid form and have a grading curve as widely varied as possible to prevent material being deposited in the bore. Sticky clay is also capable



4

Vor Vortriebsbeginn wurde die Pumpbarkeit des Abraums vor Ort erfolgreich getestet
The pumpability of the muck was successfully tested prior to the start of the excavation

Die erfolgreichen Tests zeigten, dass bis zu einer Leitungslänge von ungefähr 1,5 km entsprechend konditionierter Abraum gepumpt werden kann, ohne dass eine Relaisstation als Booster im Tunnel zwischengeschaltet werden muss. Durch Gleitmittelinjektion und Schmierung der Rohrwandung mit Wasser, Bentonit oder Additiven kann zudem über noch größere Entfernungen gefördert werden.

Ein Hauptvorteil bei der Pumpförderung ergibt sich bei der vertikalen Materialförderung in engen Startschächten. Das zu pumpende Material sollte idealerweise einen hohen natürlichen Wassergehalt aufweisen oder verflüssigt sein und möglichst eine weitgestufte Sieblinie haben, um das Absetzen von Material im Rohr zu verhindern. Auch klebriger Ton kann gut gepumpt werden (Bild 5). Ein herkömm-

licher Vertikalförderer, der in tiefen Startschächten nötig wäre, würde bei diesen Bedingungen an seine Grenzen stoßen. Auf den EPB-Schilden S-497 und S-498 sind je 2 Dickstoffpumpen links und rechts vom Schneckenfördererabwurf auf Nachläufer Nr.1 installiert worden und erlauben einen maximalen Bodenaustrag von 360m³/h.

Über flexible Schläuche sind der Schneckenfördererabwurf und die Pumpen verbunden, um die Steuerbarkeit des Schildes zu gewährleisten. Über eine Drehgelenkschere auf dem letzten Nachläufer erfolgt die kontinuierliche Verlängerung der Dickstoffpumpenleitung bis zu 6 m mit einem Durchmesser von DN200 mm (Bild 4). Nach 6 m wird die Drehgelenkschere zurückgezogen, eingefahren und 6 m Rohrleitung werden als Verlängerung eingebaut.

of being easily pumped (Fig. 5). A conventional vertical conveyor, which would be needed in the deep starting shafts, would come up against its limits given these conditions. On EPB Shields S-497 and S-498 there are in each case 2 solid matter pumps to the left and right of the screw conveyor discharge on gantry No. 2 providing for a maximum soil discharge of 360 m³/h.

The screw conveyor discharge and the pumps are connected via flexible hoses in order to assure that the shield can be steered. The solid matter line on the last gantry is extended continuously via rotary joint shears to up to 6 m with DN200 diameter (Fig. 6). The rotary joint shearing device is retracted after 6 m and 6 m of pipeline is installed as an extension.

On account of the long driving section of up to in excess

of 10 km high efficacy of the material logistics on the gantry system is essential to ensure the excavation runs as smoothly as possible. For example a quick unloading device for the segments was installed to reduce the cycle time for the train logistics and to make sure the train moves out of the gantry as fast as possible.

4 Start-Up Situation

The constricted space conditions in the launch shaft given only 16 m diameter with a depth varying from 27 to 52 m represent a particular challenge for every site team during assembly of the machine and especially during the start-up in contract sections 1 and 2 (Fig. 6).

In the narrow launch shafts the TBMs could only be assembled and pushed forward successively. They first actually reached their final state including all gantries in the tunnel after 95 m had been driven. The gantries first remained on the surface whilst S-497 and S-498 began driving from Shaft LO and L5. The shield machines were connected with the relevant components for driving via an "umbilical cord". Herrenknecht together with the jobsite team devised the start-up situation with hoses and cables, which were fitted with special stress reliefs on account of their length and their weight. A specially developed system involving cranes, booms and guide pulleys was applied, so that the cables and hoses belonging to the "umbilical cord" could accompany the TBM drive.

5 Additional Equipment and Services

The range of products supplied embraced tunnel belt conveyors (H+E Logistik), surveying systems (VMT GmbH), rails for laying as required and rolling stock for the

Aufgrund der langen Vortriebsstrecke von bis zu über 10 km ist für einen möglichst reibungslosen Vortrieb eine hohe Effektivität der Materiallogistik auf dem Nachläufer von großer Bedeutung. So wurde unter anderem eine Schnellentladung für die Tübbinge installiert, um die Zykluszeit für die Zuglogistik zu verkürzen und den Zug möglichst schnell aus dem Nachläuferbereich heraus in den Umlauf zu bringen.

4 Anfahrsituation

Eine spezielle Herausforderung für jedes Baustellenteam bei der Maschinenmontage und insbesondere bei der Anfahrt im Baulos 1 und 2 sind die eingeschränkten Platzverhältnisse im Startschacht bei einem Durchmesser von nur 16 m aber gleichzeitig einer Tiefe von zwischen 27 und 52 m (Bild 6).

In den engen Startschächten konnten die TBM nur sukzessive montiert und vorgeschoben werden. Erst nach 95 m Vortrieb standen sie in ihrer Endkonfiguration mit allen Nachläufern im Tunnel. Die Nachläufer verblieben zunächst an der Oberfläche, während S-497 und S-498

vom Schacht L0 und L5 aus ihre Fahrt aufnahmen. Die Schildmaschinen wurden über eine „Nabelschnur“ mit den vortriebsrelevanten Komponenten verbunden. Herrenknecht konzipierte zusammen mit den Baustellenverantwortlichen die Anfahrsituation mit Schläuchen und Kabeln, die aufgrund ihrer Länge und ihres Gewichtes mit speziellen Zugentlastungen ausgestattet waren. Es kam ein eigens entwickeltes System von Kränen, Auslegern und Umlenkrollen zum Einsatz, um die Kabel und Schläuche der „Nabelschnur“ gleichzeitig mit dem Vortrieb der TBM nachzuführen zu können.

5 Zusatzequipment und Services

Der Lieferumfang umfasste neben den 3 EPB-Schilden noch Tunnelbandanlagen (H+E Logistik), Vermessungssysteme (VMT GmbH), Schienen für Vorlegestöße und Rolling Stock für die Nachläufer- und Zuglogistik (Maschinen- und Stahlbau Dresden, MSD), Relaisstationen für die Pumpenförderung, Schläuche, Kabel und Leitungen für die Schildanfahrt sowie eine



Bodenaustrag
Ground extraction

The future of mobility



InnoTrans 2012

International Trade Fair for Transport Technology
Innovative Components · Vehicles · Systems
18 - 21 September · Berlin · Germany
www.innotrans.com



hohe Zahl an Mannmonaten für Personalbeistellung und Engineering. Mit dem umfangreichen Gesamtpaket können Schnittstellen im Projekt optimiert und Ressourcen gespart werden.

6 Projektstatus

Die Vortriebsmannschaften haben bisher im Projekt Túnel Emisor Oriente mit den 3 Herrenknecht-EPB-Schilden insgesamt 4,6 km (S-497), 0,6 km (S-498) und 2,8 km (S-519) Tunnel aufgeföhren (Stand Februar 2012). Seit Aufnahme des Regelvortriebs überzeugten die Zykluszeiten. Bei S-497 und S-519 erfolgte der Vortrieb von 1,5 m und der Ringbau in jeweils nur rund 30 bis 40 Minuten (Bild 7a, 7b).

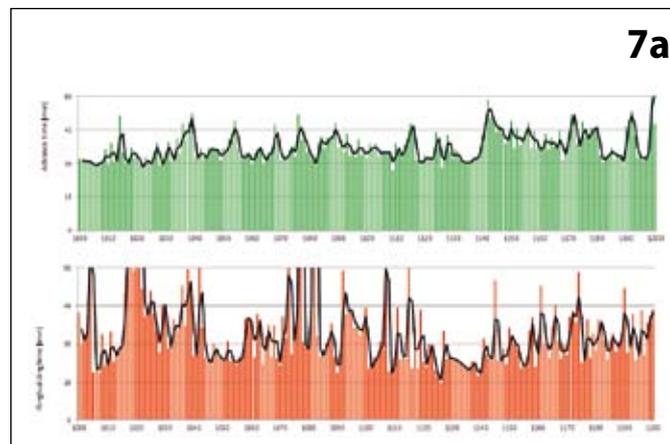
7 Hoffnung für die sinkende Stadt

Die mexikanische Wasserbehörde CONAGUA hat mit dem Túnel Emisor Oriente ein Großprojekt in Angriff genommen, das weltweit beispiellos ist – und für Mexiko-Stadt überlebenswichtig. Neben einem zukünftig besser koordinierten Grundwasserhaushalt gegen das weitere Absinken der Stadt ist der über 60 km lange Sammler für ein leistungsfähiges Abwassersystem und für die Verbesserung der Lebensqualität in der Megacity von entscheidender Bedeutung. Mit den Erddruckschilden von Herrenknecht kommen die Tunnelbauer mit sehr guten Zykluszeiten bestens voran. Die entwickelten Lösungen, wie beispielsweise bei der Anfahrt im engen und tiefen Schacht oder die eingesetzten Dickstoffpumpen, waren die richtigen Antworten auf die Herausforderungen im Projekt. 

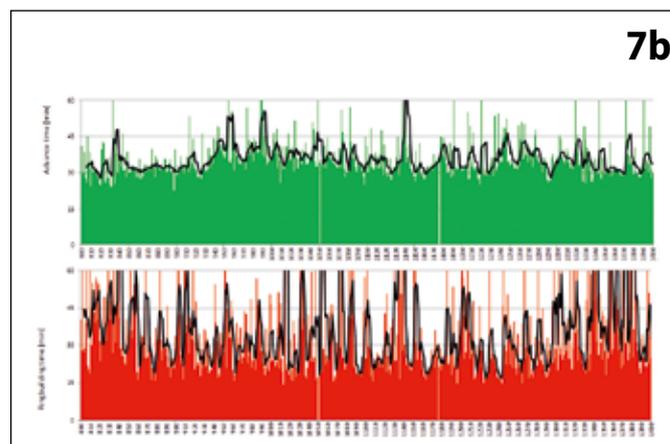


Startschacht von S-497 (Baulos 1, Schacht L0)

Launch shaft for the S-497 (contract section 1, Shaft L0)



7a



7b

Zykluszeiten S-497 (oben) und S-519 (unten)

Cycle times S-497 (top) and S-519 (bottom)

back-up and train logistics (Maschinen- und Stahlbau Dresden, MSD), relay stations for pump conveyance, hoses, cable and lines for the shield start-up as well as a large number of man-months for provision of personnel and engineering. Thanks to this extensive package interfaces in the project were optimised and resources saved.

6 Project Status

The driving crews have so far driven 4.6 km (S-497), 0.6 km (S-498) and 2.8 km (S-519) of tunnel for the Túnel Emisor Oriente project (as of February 2012). The cycle times have been really convincing since regular drives have been embarked on. In the case of the S-497 and S-519 the 1.5 m long drive and installation of the ring took place in only some 30 to 40 minutes (Figs. 7a+7b).

7 Hope for the sinking City

The Mexican water board CONAGUA has embarked on a major project in the form of the Túnel Emisor Oriente scheme, which is unparalleled anywhere in the world – and absolutely essential for Mexico City itself. Apart from being able to coordinate the groundwater table more effectively in future thus preventing the city subsiding from even further, the more than 60 km long collector devised to provide a more effective sewage system and enhance the quality of life in the mega-city is of decisive importance. Thanks to Herrenknecht's EPB Shields the tunnellers are making excellent progress. The solutions developed such as the start-up in narrow and deep shafts or the solid matter pumps that are applied, were the proper response in meeting the scheme's challenges. 

tunnel *now as* *eMagazine!*

Your advantages at a glance:

- available worldwide
- benefit from the lucid presentation in the familiar layout of the printed issue
- easy full text search
- straightforward navigation on individual pages or items
- the provided links enable you to obtain more details on corresponding topics in a jiffy
- no delays due to protracted dispatch



**Subscribe
now -
98.50 EUR
per year!**



Go online wherever you are!

www.tunnel-online.info