

# Uetlibergtunnel: Aufweitungstunnel- bohrmaschine TBE mit Hinterschneid- technik erfolgreich gestartet

D. Marti, S. Maurhofer, J. Bolliger, O. Schnell

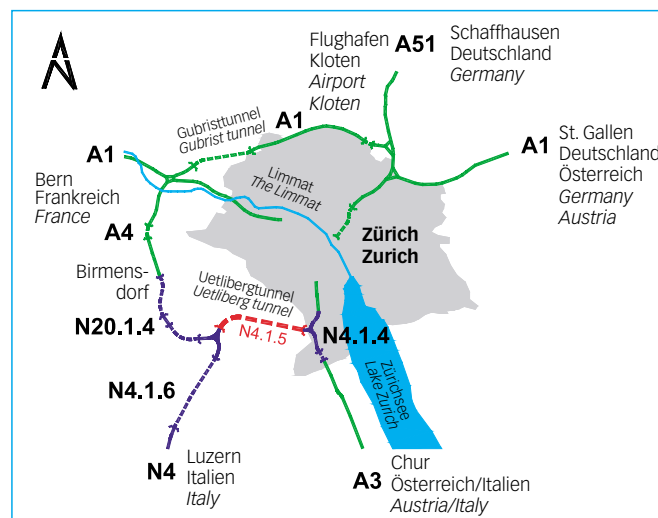
Am 20. Februar 2003 erfolgte der Durchschlag des ersten 2700 m langen Pilotstollens unter dem Uetliberg. Die Aufweitung des Pilotstollens mit einer Tunnelbohrerweiterungsmaschine mit einer neuen Hinterschneidtechnologie wurde am 11. April 2003 erfolgreich gestartet. Bis Anfang Mai 2003 wurden zudem mehr als 1300 m Lockergesteinsvortrieb in der Kernbauweise aufgeföhren.

## Projektbeschreibung und Übersicht

Wie bereits in TUNNEL vorgestellt (Heft 4/98, 4/99, 4/00, 4/01 und 4/02), verbindet der Uetlibergtunnel als

Otto Schnell, Dipl.-Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstraßen, Zürich/CH  
Daniel Marti, Dipl.-Bauingenieur ETH/Wirtschaftsingenieur FH, Projektleiter Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH  
Stefan Maurhofer, Dipl.-Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH  
Josef Bolliger, Dipl.-Bauingenieur HTL, Projektleiter, Arge Uetli, Stallikon/CH

längster Tunnel der Westumfahrung von Zürich die Umfahrung Birmensdorf (N20.1.4) im Westen mit der bestehenden Nationalstraße Zürich-



1 Nationalstraßen im Raum Zürich  
1 National highways in the Zurich area

# Uetliberg Tunnel: Enlargement Tunnel Boring Machine TBE with Back-Cutting Technology success- fully started

D. Marti, S. Maurhofer, J. Bolliger, O. Schnell

The breakthrough of the first 2,700 m long pilot tunnel beneath the Uetliberg took place on February 20, 2003. The enlargement of the pilot tunnel by an enlargement tunnel boring machine using novel back-cutting technology was successfully inaugurated on April 11, 2003. In addition, more than 1,300 m was driven through soft ground applying the core construction method.

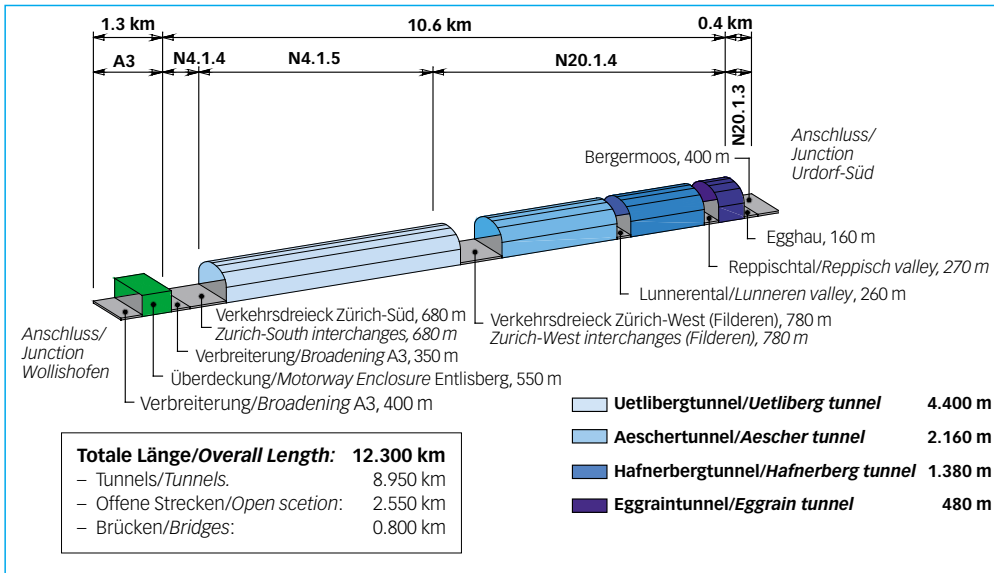
## Project Description and Overview

As already indicated in TUNNEL 4/98, 4/99, 4/00, 4/01

and 4/02, the Uetliberg Tunnel, the longest for the Zurich West Bypass, links the Birmensdorf Bypass (N20.1.4) in the west with the existing Zurich-Chur

Otto Schnell, Dipl.-Bauingenieur HTL, Baudirektion of the Canton of Zurich, Foundation Engineering Office, Dept. for National Highways and Trunk Roads, Zurich/CH  
Daniel Marti, Dipl.-Bauingenieur ETH/Wirtschaftsingenieur FH, Project Manager Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH  
Stefan Maurhofer, Dipl.-Bauingenieur FH, Principle Construction Manager, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH  
Josef Bolliger, Dipl.-Bauingenieur HTL, Project Manager, Uetli Joint Venture, Stallikon/CH

# Uetlibergtunnel Uetliberg Tunnel



## 2 Streckencharakteristik der Westumfahrung Zürich 2 Layout of the Zurich West Bypass

Chur (A3) im Osten. Der Tunnel verbindet damit das Verkehrsdreieck Zürich-West mit dem Verkehrsdreieck Zürich-Süd. Die gesamte zurzeit im Bau befindliche Westumfahrung von Zürich ist auf eine Verkehrsauslastung von 60 000 bis 72 000 Fahrzeugen pro Tag ausgerichtet. Die gesamten Projektkosten werden mit 2,85 Mrd. sFr. veranschlagt (Bilder 1 und 2).

Das Projekt des Uetlibergtunnels umfasst zwei parallele Röhren von je rund 4,4 km Länge. Die zwei Tunnelröhren sind alle 300 m mit einem begehbaren und alle 900 m

mit einem befahrbaren Querschlag verbunden. Der Abstand der SOS-Nischen beträgt 150 m. Am West- und am Ostportal sind je eine Portalstation mit technischen Räumen sowie im Reppischtal die Lüftungszentrale angeordnet. Der Tunnel fällt vom Westportal im Wanneboden zum Ostportal beim Gänziloo mit einem Gefälle von 1,6 % (Bild 3).

### Geologie

Von Westen nach Osten unterfährt der Uetlibergtunnel die zwei parallel laufen-

national highway (A3) in the east. The tunnel thus connects the Zurich West and Zurich South triangles. The West Bypass that is currently under construction is devised to cope with some 60,000 to 72,000 vehicles per day. It is estimated that the entire project will cost some CHF 2.85 billion (Figs. 1 + 2).

The project embraces two parallel bores each some 4.4 km in length. They are connected by man-size crosscuts at 300 m intervals and by means of cross-passages allowing access for vehicles every 900 m. SOS niches are

set up at 150 m gaps. There are stations with technical facilities at the eastern and western portals and the ventilation centre is located in the Reppischtal. The tunnel dips with a gradient of 1.6 % (Fig. 3) from the western portal at Wanneboden to the eastern portal at Gänziloo.

### Geology

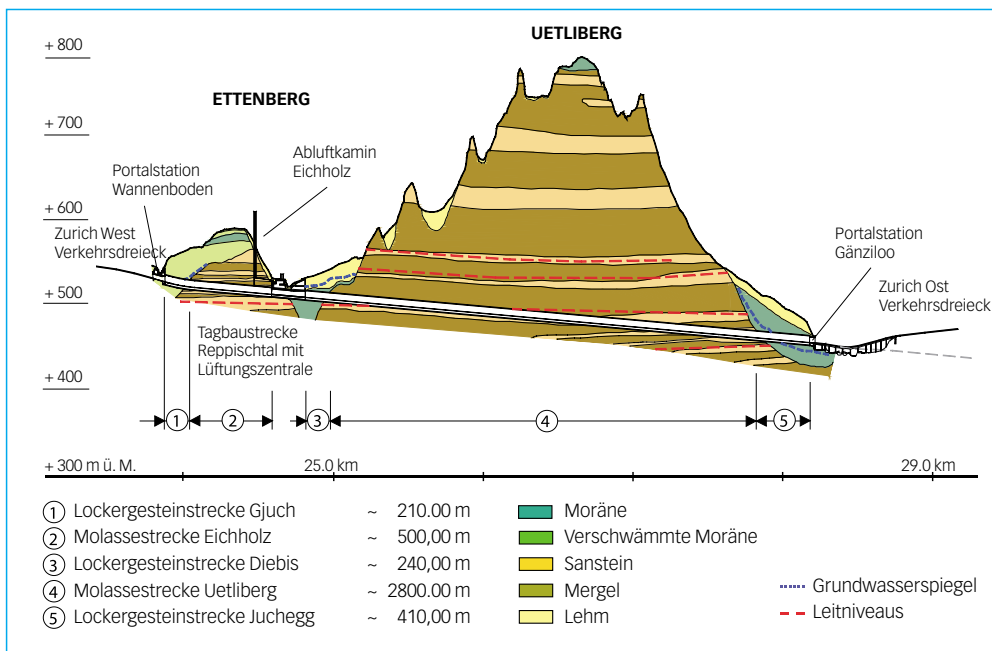
From west to east the Uetliberg Tunnel passes beneath the Ettenberg and Uetliberg chains of hills. The Reppisch Valley is located in between so that the tunnel is split up into two independent tunnels produced by mining means, namely the roughly 710 m long Eichholz Tunnel below the Ettenberg and the 3,450 m long Uetliberg Tunnel beneath the chain of hills bearing the same name (Fig. 4).

Essentially both chains of hills comprise flatly bedded fresh water molasse layers, interchanging strata of hard sandstone banks and soft marl layers. The maximum overburden of the tunnel below the Uetliberg amounts to some 320 m. Three soft ground sections – Gjuch, Diebis and Juchegg have to be driven to reach the Eichholz (500 m) and Uetliberg (2,800 m) molasse sections.



## 3 Übersicht Projekt N4.1.5 Uetlibergtunnel 3 Overview of Uetliberg Tunnel N4.1.5 project

# Aufweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik Enlargement TBE with Back-Cutting Technology



4 Geologisches Längensprofil mit Vortriebsverfahren  
4 Geological longitudinal section with driving methods

den Bergzüge Ettenberg und Uetliberg. Dazwischen liegt das Reppischtal, welches das Tunnelbauwerk noch bis ins Jahr 2007 in zwei unabhängige, bergmännisch zu erstellende Tunnelabschnitte unterteilt. Es handelt sich dabei um den rund 710 m langen Eichholtunnel unter dem Ettenberg und den 3450 m langen Uetlibertunnel unter dem gleich lautenden Hügelzug (Bild 4).

Der Kern beider Hügelzüge besteht aus flach gelagerten Schichten der oberen Süßwassermolasse, einer Wechsellagerung von harten Sandsteinbänken und weichen Mergelschichten. Die maximale Überlagerung des Tunnels unter dem Uetliberg beträgt ca. 320 m. Zum Erreichen der Molassestrecken Eichholz (500 m) und Uetliberg (2800 m) sind vorgängig die 3 Lockergesteinsabschnitte Gjuch, Diebis und Juchegg aufzufahren.

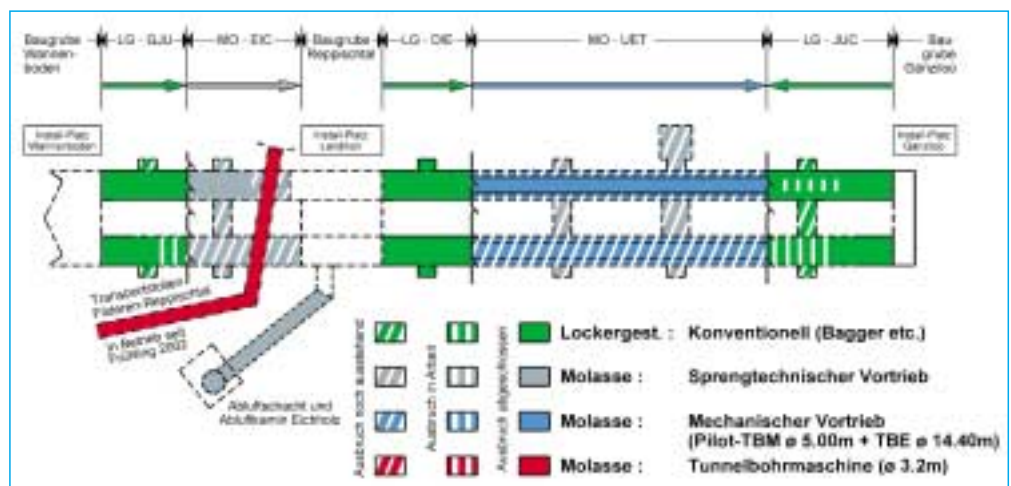
## Bauabläufe und Bauprogramme

Aus der Baugrube Reppischtal erfolgt zurzeit der fallende Vortrieb unter dem Uetliberg hindurch zum Verkehrsdreieck Zürich-Süd in den Raum Zürich-Brunau. Vorgängig zu diesen zurzeit laufenden mechanischen Vor-

## Construction Phases and Programmes

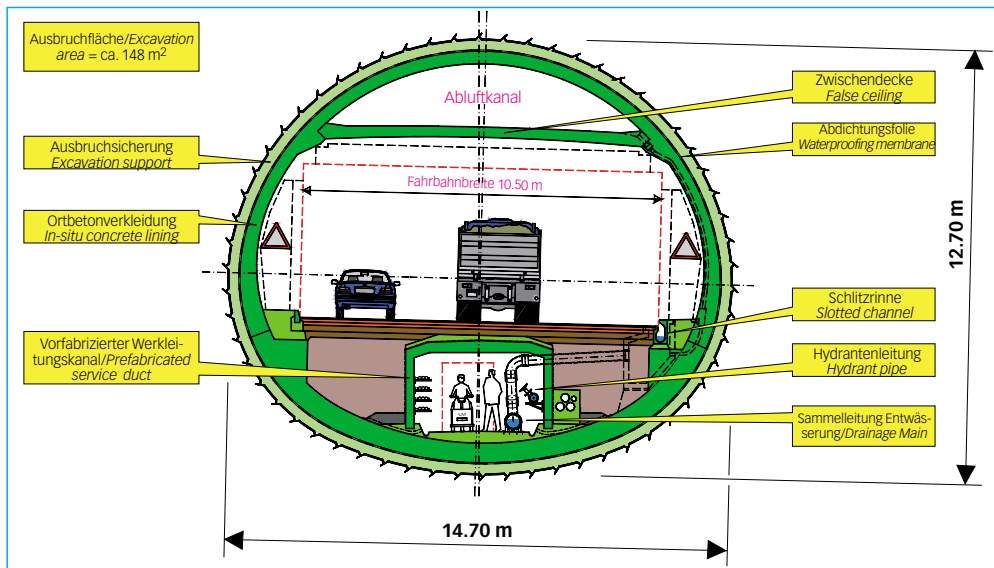
Currently, the drive is taking place under the Uetliberg from the Reppischtal construction pit to the Zurich-South triangle in the Zurich-Brunau area. Prior to the ongoing mechanized drives,

some 250 and 350 m were driven in soft ground using the core construction method between April 2001 and May 2002. At the end of the two soft ground drives at Diebis, starting chambers were created in the molasse beneath the Uetliberg for the mechanized drives that were scheduled to follow. An open pilot tunnel boring machine (TBM) – Wirth TB III 500 E (5.00 m diameter) – was installed in the Basle tube, which has been used to excavate the entire Uetliberg molasse section as from mid-May 2002. Since the start of May 2003, this pilot tunnel has been extended to its final 14.00 to 14.40 m cross-section in the molasse section below the Uetliberg with an enlargement tunnel boring machine (TBE) – Type Wirth TBE 500/1440 using a new form of back-cutting technology. Parallel to the enlargement of this first tunnel bore, the second pilot tunnel drive has been taking place in the Chur bore since the end of April 2003. Subsequently, the final cross-section of this second tunnel tube will be produced using the same enlargement method. Since February 2002, the two roughly 450 m long tunnel



5 Vortriebsrichtungen und -techniken  
5 Driving directions and technology

# Uetlibergtunnel Uetliberg Tunnel



6 Normalprofil Lockergesteinsstrecken und Molasse Eichholz  
6 Standard cross-section for the soft ground sections and Eichholz molasse

trieben wurden von April 2001 bis Mai 2002 in beiden Tunnelröhren rund 250 respektive 350 m Lockergesteinsvortrieb in der Kernbauweise realisiert. Am Ende der beiden Lockergesteinsvortriebe Diebis wurde in der Molasse unter dem Uetliberg je eine Startkarverne für die folgenden mechanischen Vortriebe ausgebrochen. Anfang April 2002 ist in der Tunnelröhre Basel eine offene Pilotunnelbohrmaschine (TBM) des Typs Wirth TB III 500 E (Durchmesser 5,00 m) installiert worden, mit welcher ab Mitte Mai 2002 die gesamte Molassestrecke des Uetlibergs aufgefahen wird. Seit Anfang Mai 2003 wird dieser gefräste Pilotstollen in der Molassestrecke unter dem Uetliberg mit einer Tunnelbohrerweiterungsmaschine (TBE) Typ Wirth TBE 500/1440 mit einer neuen Hinterschneidetechnik auf das endgültige Profil von 14,00 bis 14,40 m aufgefahen. Parallel zur Aufweitung dieser ersten Tunnelröhre erfolgt seit Ende April 2003 auch der zweite

Pilotstollenvortrieb in der Röhre Chur. Anschließend wird mit dem gleichen Aufweitungsverfahren das endgültige Profil dieser zweiten Tunnelröhre erstellt.

Aus der Baugrube Gänzi- loo (Seite Zürich-Brunau) wird seit Februar 2002 der steigende Vortrieb der je zwei rund 450 m langen Tunnelröhren in der Lockergesteinsstrecke Juchegg vorangetrieben. Die ersten 50 m des Tunnelvortriebs wurden im Uetliberglehm in beiden Tunnelröhren im Schutze eines Rohrschirms ebenfalls in

tubes have been driven from the Gänzi- loo construction pit (at the Zurich-Brunau side) on the rise in the Juchegg soft ground section. The initial 50 m of the tunnel drive was also driven using the core construction method in Uetliberg loam in both tunnel tubes protected by a pipe umbrella. A natural gas line that was previously relocated to cope with anticipated settlements was tunnelled under without any problem within the predetermined settlement tolerances.

Since April 2002, a dipping drive has also been progress-



7 Kalottenvortrieb Molassestrecke Eichholz  
7 Crown drive for the Eichholz molasse section

ing from the west portal from the Wannboden district beneath the Ettenberg towards the Reppischtal construction pit. Here the Gju- ch soft ground section is tackled first – then the roughly 500 m long Eich- holz molasse stretch is produced via drill + blast (Fig. 5).

## Tunnel Cross-Section for the soft Ground and Drill and Blast Drive

The horse-shoe cross-section, which is applied for all soft ground sections (LG) and for the drill + blast drive in the Eichholz molasse section (MO-EIC) is 14.70 m wide and some 12.70 m high. The excavated area equals approx. 143 to 148 m<sup>2</sup> (Fig. 6).

### The soft Ground Sections

All soft ground sections are driven by the core construction method. Generally, the support for the excavation in the soft ground sections comprises steel arches (HEM-180 girders, gap 1 m) and 25 cm thick, steel fibre reinforced shotcrete.

### The Eichholz Molasse Section

This roughly 500 m long section below the Ettenberg (Eichholz molasse section) is excavated via drill + blast, divided up into crown, bench and floor (Fig. 7).

## Tunnel Cross-Section for the TBM and TBE Drive

The standard profile of the roughly 2,800 m long Uetliberg molasse section is 14.40 m wide given a height of 14.20 m. The excavated area amounts to approx. 160 m<sup>2</sup> (Fig. 8).

# Aufweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik Enlargement TBE with Back-Cutting Technology

der Kernbauweise aufgeföhren. Eine extra für den Tunnelbau vorgängig umverlegte und den zu erwartenden Setzungen entsprechend überhöhte Erdgasleitung konnte innerhalb der vorgegebenen Setzungstoleranzen ohne Probleme untertunnelt werden.

Seit Anfang April 2002 erfolgt ebenfalls ein fallender Vortrieb ab dem Westportal aus dem Raume Wanneboden unter dem Ettenberg hindurch in Richtung der Baugrube im Reppischtal. Zuerst wird hier die Lockergesteinsstrecke Gjuuch aufgeföhren und im Anschluss daran die rund 500 m lange Molassestrecke Eichholz sprengtechnisch ausgebrochen (Bild 5).

## Tunnelquerschnitt für den Lockergesteins- und Sprengvortrieb

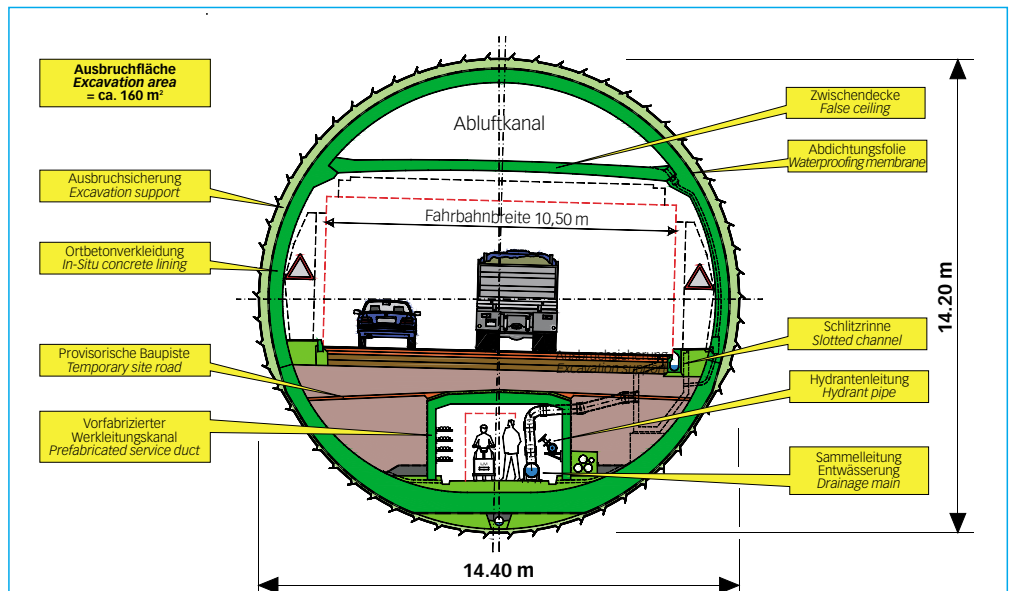
Das Hufeisenprofil, welches in allen Lockergesteinsstrecken (LG) und für den sprengtechnischen Vortrieb in der Molassestrecke Eichholz (MO-EIC) zur Anwendung gelangt, misst in der Breite rund 14,70 m und in der Höhe rund 12,70 m. Die Ausbruchfläche beträgt ca. 143 bis 148 m<sup>2</sup> (Bild 6).

## Vortrieb aller Lockergesteinsstrecken

Alle Lockergesteinsstrecken werden in der Kernbauweise aufgeföhren. Die Ausbruchsicherung in den Lockergesteinsabschnitten besteht generell aus Stahlbögen (HEM-180-Träger, Abstand 1 m) und 25 cm dickem, stahlfaserbewehrtem Spritzbeton.

## Vortrieb Molassestrecke Eichholz

Der rund 500 m lange Abschnitt unter dem Ettenberg (Molassestrecke Eichholz)



8 Normalprofil Molassestrecke Uetliberg

8 Standard cross-section for the Uetliberg molasse section

wird sprengtechnisch ausgebrochen, unterteilt in Kalotte, Strosse und Sohle (Bild 7).

## Tunnelquerschnitt für den TBM- und TBE-Vortrieb

Das Normalprofil der rund 2800 m langen Molassestrecke Uetliberg weist eine Breite von 14,40 m bei einer Höhe von 14,20 m auf. Die Ausbruchfläche beträgt ca. 160 m<sup>2</sup> (Bild 8).

## Uetliberg Molasse Section

The tunnel is excavated by a pilot tunnel boring machine (TBM, diameter 5.00 m) and a follow-up enlargement tunnel boring machine (TBE) with back-cutting technology. The TBE is required to extend the pilot tunnel to its final cross-section of 14.00 to 14.40 m. Supporting is undertaken using rope anchors, Swellex bolts, netting and shotcrete (there is also the possibility to install steel), which is installed

directly behind the cutterhead in area L1 to L2.

The floor seal, the floor invert, the service line duct (prefabricated elements) and a cable pipe conduit as well as the side backfill are produced beneath the back-up suspended beneath the back-up suspended from rock anchors on the tunnel vault. The vault's permanent concrete ring and the intermediate ceiling are subsequently installed in stages in the rear area (Fig. 9).

## Details relating to all soft Ground Drives

As mentioned in the introduction and described in detail in TUNNEL 4/02, the soft ground sections are driven using the core construction method (Figs. 10 + 11):

Distribution into seven part cross-sections is as follows:

- upper wall headings at both sides 2 x 17.35 m<sup>2</sup>
- lower wall headings at both sides 2 x 22.55 m<sup>2</sup>
- crown 24.30 m<sup>2</sup>
- core 26.66 m<sup>2</sup>



9 Nachläufer mit Werkleitungs kanalelementen

9 Back-up with service line duct elements

# Uetlibergtunnel Uetliberg Tunnel

## Vortrieb Molassestrecke Uetliberg

Der Tunnelausbruch erfolgt mit einer Pilotunnelbohrmaschine (TBM, Durchmesser 5,00 m) und einer ihr folgenden Tunnelbohrerweiterungsmaschine (TBE) mit Hinterschneidtechnik. Mit der TBE wird der vorgängig gefräste Pilotstollen auf den vollen Querschnitt von 14,00 bis 14,40 m Durchmesser aufgeföhren. Die Sicherung besteht aus Seilankern, Swellex-Ankern, Netzen und Spritzbeton (die Möglichkeit zum Stahlleinbau ist vorhanden) und wird direkt hinter dem Bohrkopf im Bereich L1 bis L2 eingebaut. Unter dem an Felsankern am Tunnelgewölbe aufgehängten Nachläufer werden die Sohlabdichtung, das Sohlgewölbe, der Werkleitungskanal (vorfabrizierte Elemente) und ein Kabelrohrblock sowie die seitliche Hinterfüllung erstellt. Der Gewölbeinnenbetonring und die Zwischendecke werden etappiert später im rückwärtigen Bereich eingebaut (Bild 9).

## Details zu sämtlichen Lockergesteinsvortrieben

Wie einleitend erwähnt und in TUNNEL 4/02 im Detail beschrieben, werden die Lockergesteinsstrecken in der Kernbauweise aufgeföhren (Bilder 10 und 11).

Das Ausbruchprofil wird dabei in die folgenden sieben Querschnitte unterteilt:

- Beidseitige obere Paramentstollen 2 x 17,35 m<sup>2</sup>
- Beidseitige untere Paramentstollen 2 x 22,55 m<sup>2</sup>
- Kalotte 24,30 m<sup>2</sup>
- Kern 26,66 m<sup>2</sup>
- Sohle 16,84 m<sup>2</sup>
- Total 147,60 m<sup>2</sup>

Im Folgenden werden die in den drei bis heute aufge-



10 Kernbauweise (Vortrieb Lockergesteinsstrecke Diebis)

10 Core construction method (Diebis soft ground section drive)

föhren Lockergesteinsabschnitten getätigten Erfahrungen erläutert.

## Lockergesteinsstrecke Diebis

Nach rund 180 m (Röhre Basel) resp. 230 m (Röhre Chur) erreichten die beiden Lockergesteinsvortriebe Moränenmaterial und den Übergangsbereich zur Molasse. Der Molassehorizont stieg wie angenommen von der Sohle her kontinuierlich auf. Die standardmäßige Siche-

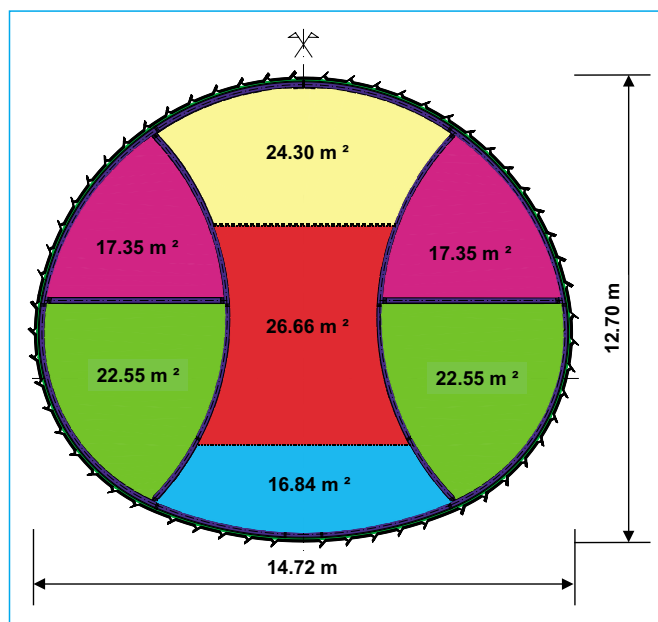
- floor 16.84 m<sup>2</sup>
- total 147.60 m<sup>2</sup>

The findings obtained in the three soft ground section that have excavated so far are provided in the following.

## Diebis soft Ground Section

After some 180 m (Basle tube) and 230 m (Chur tube), the two soft ground drives reach moraine material and the molasse transition zone. The molasse level rose as assumed continuously from the

floor. The standard-type support involving steel arches and shotcrete was installed continuously until the floor of the upper wall heading ended up a metre into the healthy unweathered molasse. As from this point, the steel arches were only placed in the upper wall heading albeit with crown feet. The part cross-sections had to be divided even further in the entire section partly for stability reasons. Excavation took place using compact excavators; the rock was also removed by pick hammers and blasting. It was decided to employ drill + blast – split up into bench and floor – for excavating the lower half of the cross-section, which was located in the molasse – at the end of the soft ground section. At the end of the Diebis soft ground section, the assembly chambers at tm 250 (Basle tube) and tm 350 (Chur tube) were then produced for the TBM and the TBE via drill + blast in part-excavation and secured using meshing, mortar anchors and wet shotcrete (Fig. 12).



11 Teilquerschnitte der Kernbauweise

11 Part cross-sections of the core construction method

## Juchegg soft Ground Section

The excavation and supporting of the Juchegg soft ground section was essentially carried out as in the other soft ground sections. However, there were two aspects which were quite different. In the portal area, more than a half of the tunnel cross-section is located in so-called Uetliberg loam, which rises above the roof over the first 50 m. A pipe umbrella, consisting of 4 pipe umbrella stages each 15 m in length (12 m excavated section) was employed as an ancillary construction method to penetrate this area. Initially the pipe umbrella comprised 80 pipes (139 mm Ø) at intervals of 30 cm. How-

rung mit Stahlbögen und Spritzbeton wurde so lange kontinuierlich eingebaut, bis die Sohle der oberen Paramentstollen einen Meter weit in die gesunde unverwitterte Molasse zu liegen kam. Ab diesem Zeitpunkt wurden die Stahlbögen nur noch im oberen Paramentstollen, dafür aber mit Kalottenfüßen versetzt. Die Teilquerschnitte mussten für den Vortrieb im gesamten Abschnitt z. T. aus Stabilitätsgründen weiter unterteilt werden. Der Ausbruch erfolgte mittels Kleinbagger, teilweise wurde der Fels auch mittels Spitzhammer und Sprengungen gelöst. Für den Vortrieb der unteren Profilhälfte, welche nach dem Ende des Lockergesteinsabschnittes in die Molasse zu liegen kam, wechselte man zu einem Sprengvortrieb, unterteilt in Strosse und Sohle. Am Ende der Lockergesteinsstrecke Diebis wurde schließlich die Montagekaverne bei Tm 250 (Röhre Basel) und Tm 350 (Röhre Chur) für die TBM und die TBE sprengtechnisch im Teilausbruch ausgebrochen und mit Netzen, Mörtelankern und Nassspritzbeton gesichert (Bild 12).

### Lockergesteinsstrecke Juchegg

Ausbruch und Sicherung in der Lockergesteinsstrecke Juchegg sind grundsätzlich gleich gestaltet wie in den anderen Lockergesteinsstrecken. In 2 Punkten gibt es jedoch wesentliche Abweichungen. Im Portalbereich liegt das Tunnelprofil mehr als zur Hälfte im so genannten Uetliberglehm, der auf den ersten 50 m über die Firste ansteigt. Für die Durchörterung dieses Bereichs wurde als Bauhilfsmaßnahme ein Rohrschirm,



12 Montagekaverne für TBE und TBM  
12 Assembly chamber for TBE and TBM

bestehend aus 4 Rohrschirmmetappen à 15 m Länge (Ausbruchetappe 12 m), eingesetzt. Der Rohrschirm bestand anfänglich aus 80 Rohren (Ø 139 mm) im Abstand von 30 cm. Bei der letzten Etappe wurden noch 55 Rohre eingebaut. Der Ausbruch wurde wiederum in obere/untere Paramentstollen und Kalotte unterteilt (Bild 13).

Kern und Sohle wurden erst nach Abschluss der Rohrschirmarbeiten ausgebrochen, wodurch die Kalottensohle als Arbeitsplatt-

ever, 55 pipes were installed in the last stage. Once again the excavation was split up into upper/lower wall headings and crown (Fig. 13).

The core and floor were first excavated following the completion of the pipe umbrella work, with the crown floor serving as a working platform for the pipe umbrella drilling unit. However, for the first two stages, additional pipe umbrella pipes had to be installed from the lower wall headings, something which was by no means easy given

the constricted space conditions and the structural steel. Four different large steel profile geometries were installed to accept the extension of the pipe umbrella (Figs. 14 + 15).

In the Basle tube, the two upper wall headings were driven as quickly as possible to reach the molasse for time reasons so that the breakthrough could take place together with the pilot TBM coming from the other direction at the end of the molasse section. This necessitated the driving of two independent wall headings with an excavated cross-section of around 17 m<sup>2</sup> over a length of 2 x 400 m. The high rates of advance of up to 8 m per day in soft round in these two small wall headings was only possible thanks to the application of tried-and-tested working sequences and precise construction site logistics. For dismantling the pilot TBM underground, the two upper wall headings were united by drill + blast to form an access chamber at the end of the soft ground section – and enlarged to form a cross-section totalling approx. 220 m<sup>2</sup>. Towards this end, the two upper wall headings were first of all linked with one another and subsequently excavated over a length of 25 m by a crown drive to form the disassembly chamber for the TBM and the TBE that followed it. From the very beginning the disassembly chamber was designed to accept the TBM with 14.40 m diameter that was to be dismantled on the same spot.

### Gjuch soft Ground Section

The Gjuch section turned out to be the trickiest of the three soft ground sections – as had been forecast. In this extremely heterogeneous so-called end moraine complex, the advantages of the highly



13 Portalansicht mit Rohrschirm  
13 Portal view with pipe umbrella

## Aufweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik Enlargement TBE with Back-Cutting Technology

form für das Rohrschirmbohrgerät diente. Bei den ersten zwei Etappen mussten zusätzlich Rohrschirmrohre aus den unteren Paramentstollen versetzt werden, was bei den beengten Platzverhältnissen und dem Stahleinbau nicht einfach zu bewerkstelligen war. Um die ausführungstechnisch bedingte Aufweitung des Rohrschirms aufzunehmen, wurden vier verschiedene große Stahlprofilgeometrien eingebaut (Bilder 14 und 15).

In der Röhre Basel wurden die beiden oberen Paramentstollen aus zeitlichen Gründen so schnell wie möglich bis zur Molasse vorangetrieben, damit der Durchschlag mit der entgegen-



14 Rohrschirmeinbau in der Kalotte

14 Pipe umbrella installation in the crown

kommenden Pilot-TBM am Ende der Molassestrecke termingerecht stattfinden konnte. Dies bedingte einen Vortrieb von zwei unabhängigen Paramentstollen mit

flexible core construction method could be exploited to the hilt.

Before commencing the drive, some 15 filter wells were sunk from the surface, by

means of which the groundwater table could partially be sunk to reach the level of the tunnel floor. The different amounts that the individual wells coped with (280 l/min – 80 l/min and 0 l/min) reflected the heterogeneously composed subsurface. Currently, some 500 l/min is being coped with by the roughly 15 filter wells.

Prior to driving, the seven part cross-sections had in some cases to be further subdivided and face anchors installed in the upper wall headings – so that the stability of the cavity could permanently be assured. The ancillary construction measures as described in TUNNEL 4/02 such as lances in the form of a sys-

einem Ausbruchquerschnitt von rund 17 m<sup>2</sup> über eine Länge von je 2-mal 400 m. Die hohen Tagesleistungen von bis zu 8 m Lockergesteinsvortrieb in diesen beiden kleinen Paramentstollen waren nur dank des Einsatzes eingespielter Arbeitsabläufe und einer ausgefeilten Baustellenlogistik möglich. Für die unterirdische Demontage der Pilot-TBM wurden am Ende der Lockergesteinsstrecke die beiden oberen Paramentstollen sprengtechnisch zur Zielkaverne vereinigt und auf ein Profil von total ca. 220 m<sup>2</sup> aufgeweitet. Zu diesem Zweck wurden die beiden oberen Paramentstollen zuerst miteinander verbunden und anschließend die Demontekaverne für die TBM und die ihr folgende TBE im Kalottenvortrieb auf eine Länge von 25 m ausgebrochen. Die Demontekaverne wurde von Anfang an auf die Größe der an derselben Stelle zu demontierenden TBE von 14,40 m Durchmesser ausgelegt.

### Lockergesteinsstrecke Gjuch

Die Lockergesteinsstrecke Gjuch erweist sich wie vorausgesagt als die schwierigste der drei Lockergesteinsstrecken. In diesem sehr heterogen zusammengesetzten sog. Endmoränenkomplex kamen die Vorteile der äußerst flexiblen Kernbauweise voll und ganz zum Tragen.

Vorgängig zum Vortrieb wurden von der Oberfläche aus rund 15 Filterbrunnen abgeteuft, mit denen der Grundwasserspiegel teilweise bis auf das Niveau der Tunnelsohle abgesenkt werden konnte. Die unterschiedlichen Fördermengen der einzelnen Brunnen (280 l/min – 80 l/min bzw. 0 l/min)



15 Bohrgerät im unteren Paramentstollen

15 Drill unit in the lower wall heading

spiegeln den heterogen zusammengesetzten Untergrund wider. Von den rund 15 Filterbrunnen werden zur Zeit noch rund 500 l/min gefördert.

Für den Vortrieb mussten die 7 Teilquerschnitte zum Teil weiter unterteilt und auch in den oberen Paramentstollen Brustanker versetzt werden, damit die Stabilität des Hohlraums permanent gewährleistet werden konnte. Für den Kalottenvortrieb kamen die in TUNNEL 4/02 beschriebenen Bauhilfsmaßnahmen wie Spieße als Injektionsselbstbohranker und Brustanker systematisch zum Einsatz.



16 TBM-Vortrieb im Pilotstollen

16 TBM drive in the pilot tunnel

tem of self-drilling bolts and face anchors were employed for the crown drive.

### Interim Balance for the soft Ground Drives

After roughly two years' construction time and the installation of more than 9,000 t of steel, a first positive interim balance can be drawn. The rates of advance of 1.4 m per day over the entire tunnel cross-section of 148 m<sup>2</sup> that the contractor cited in its offer were adhered to and in some cases exceeded. Through the systematic installation of steel profiles, it was possible to organize a well-gearred, calculable and planable drive on the

construction site, by means of which it has so far been possible to penetrate the extremely heterogeneous geological formations practically without any surprises or complications. The supporting of the face could be assured entirely at all times with face anchors and cement grouting.

### Pilot Tunnel for the Uetliberg Molasse Section

The pilot tunnel for the Basle tube was cut through on February 20, 2003 beneath the Uetliberg, so that the first link from the Reppischtal to the Sihltal was created. From May 8, 2002, the TBM bored a 5.00 m diameter heading. After roughly 9 months and 2,700 m, the TBM reached the target chamber at the end of the Juchegg soft ground section on the Brunau side. Steel fibre reinforced shotcrete as well as 2.5 m long GFK bolts were installed to secure the excavation. The number of bolts and the thickness of the shotcrete were increased in zones with more complex geological conditions so that the long-time stability could be assured until the heading was enlarged.

42.6 m/working day (in a three-shift operation) was achieved as a peak performance. The average drive amounted to some 20 m/working day over the entire section (Figs. 16 + 17).

In the interim, the pilot TBM, which could not be recovered through the upper wall headings of the Juchegg soft ground section, has been moved backwards through the pilot tunnel and transported via a crosscut in front of the starting chamber for the enlargement tunnel boring machine to the Chur tube, where

# Aufweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik

## Enlargement TBE with Back-Cutting Technology

### Zwischenbilanz Lockersteinsvortriebe

Nach rund zwei Jahren Bauzeit und dem Einbau von mehr als 9000 t Stahl kann eine erste positive Zwischenbilanz gezogen werden. Die von der Unternehmung mit ihrem Angebot angegebenen Vortriebsleistungen von 1,4 m Tunnelvortrieb pro Tag über den gesamten Querschnitt von 148 m<sup>2</sup> wurde erreicht und teilweise sogar übertroffen. Mit dem systematischen Einbau der Stahlprofile konnte ein fabrikmäßiger, kalkulier- und planbarer Vortrieb auf der Baustelle organisiert werden, mit welchem bis heute praktisch ohne jegliche Überraschung und Komplikationen die äußerst hetero-



17 Durchschlag Pilotstollen Röhre Basel  
17 Breakthrough pilot tunnel – Basle tube

genen geologischen Formationen durchörtert werden konnten. Die gesamte Stützung der Ortsbrust konnte mit Brustankern und Zementinjektionen jederzeit garantiert werden.

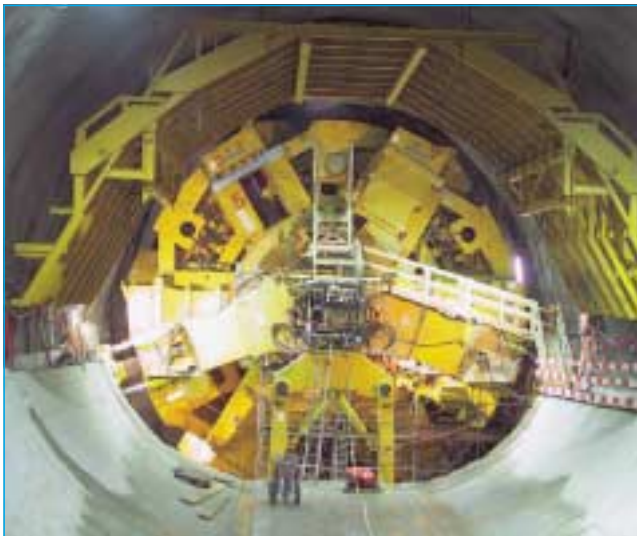
it was got ready to start tunnelling again. Since the beginning of May 2003, the pilot TBM has resumed driving in the second tube and is now en route towards Zurich-Brunau.

### Enlargement Tunnel Boring Machine TBE with Back-Cutting Technology

The technology and method of functioning of the TBE were dealt with at length in TUNNEL 4/02. The TBE was assembled as from November 2002 at the end of the Diebis soft ground section – in the starting chamber especially produced for erecting the cutterhead. As already described there, excavation of the rock took place via back-cutting technology, which is now explained in more detail in the following (Fig. 18).

Back-cutting technology has been known as a possible cutting principle since the start of boring technology

# Uetlibergtunnel Uetliberg Tunnel



## Technische Daten der TBE Technical data for the TBE

### Bohrkopf/Boring Head

Durchmesser/Diameter, nom.	DN = 14.00/14.40 m
Bohrkopfantrieb/Boring head drive	10 x 250 = 2500 kW
Drehzahl Bohrkopf/Rotating speed of the boring head	0–3.7 rpm
Schneidrollen/Cutting rollers	36 Stück/X

### Vorschub/Thrust

Andruck Bohrkopf/Contact pressure of the boring head	15 000 kN
Bohrhub/Boring stroke	1500 mm
Vortriebsgeschwindigkeit/Driving speed	0–4 m/h
Vorschubzylinder/Thrust cylinders	4 Stück/X

### Verspannung/Bracing

Verspannkraft/Bracing force	42 500 kN
Verspannplatten/Bracing plates	12 Stück/X
Zylinder/Cylinders	24 Stück/X

### Gewicht der TBE mit Nachläufer Weight of the TBE and trailer

ca. 1000 t  
approx. 1000 t

18 Technische Angaben der TBE 500/1440

18 Technical details relating to the TBE 500/1440

## Pilotstollen Molassestrecke Uetliberg

Am 20. Februar 2003 erfolgte der Durchschlag des Pilotstollens der Röhre Basel unter dem Uetliberg. Damit wurde die erste Verbindung vom Reppischtal ins Sihltal geschaffen. Seit dem 8. Mai 2002 bohrte die TBM einen Stollen mit 5,00 m Durchmesser. Nach rund 9 Monaten und 2700 m hat die TBM die Zielkaverne am Ende der Lockergesteinsstrecke Juchegg auf der Seite Brunau erreicht. Als Ausbruchsicherung wurden stahlfaserbewehrter Spritzbeton sowie GFK-Anker von 2,5 m Länge eingebaut. In Zonen mit komplexeren geologischen Verhältnissen wurden die Ankerdichte und die Spritzbetondicke erhöht, damit die Langzeitstabilität bis zur späteren Ausweitung des Stollens garantiert werden konnte.

Als Spitzenvortriebsleistung wurden 42,6 m/AT (im Dreischichtbetrieb) erreicht. Der durchschnittliche Vortrieb betrug ca. 20 m/AT über die gesamte Strecke (Bilder 16 und 17).

Mittlerweile ist die Pilot-TBM, welche infolge ihrer Abmessungen nicht durch die oberen Paramentstollen der Lockergesteinsstrecke Juchegg abtransportiert werden konnte, im Pilotstollen zurückgeschritten und über einen Querschlag vor der Startkaverne der Aufweitungstunnelbohrmaschine in die Röhre Chur transportiert und dort wieder startklar gemacht worden. Seit Anfang Mai 2003 hat die Pilot-TBM den Vortrieb in der zweiten Röhre aufgenommen und ist nun wieder unterwegs in Richtung Zürich-Brunau.

with tunnel boring machines. In the case of this method, the cutter discs act against the rock's substantially less tensile strength compared to the compressive strength (Fig. 19).

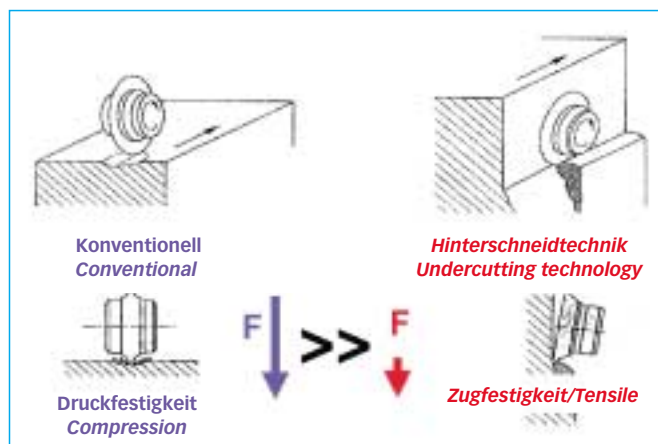
The TBE is employed to enlarge the pilot tunnel to a diameter of between 14.00 to 14.40 m. The TBE cutterhead consists of a two-part basic frame as well as six cutting arms. The cutterhead rotates on the inner kelly running on bearings that is braced in the pilot tunnel and the large tunnel cross-section. The discs are offset both axially and ra-

dially to the tunnel axis on radially movable cradles on the cutting arms. Each disc describes a spiral-shaped path around the tunnel axis when the cutterhead rotates accompanied by the radial displacement of the cradles.

A step-formed face is created through the outer discs advancing so that each cutter disc shears off the rock against a free area (back-cutting principle).

The length of the round is restricted to a maximum of 20 cm and is restricted to the bits' axial displacement – 60 to 80 cm – on the cradle. Smaller rounds of advance can be selected according to the rock strength. 8 to 12 revolutions of the cutterhead are required for a round.

When the six-arm cutterhead is rotated, the discs are moved from an inner to an outer bore diameter. After the nominal boring diameter is arrived at, the cradles are again retracted. Subsequently, the continuously rotating cutterhead is moved axially by a round of 20 cm in the direction of the face and the next round (the cradles are once again extended) can begin (Fig. 20).



19 Prinzip der Hinterschneidtechnik

19 Back-cutting technology principle

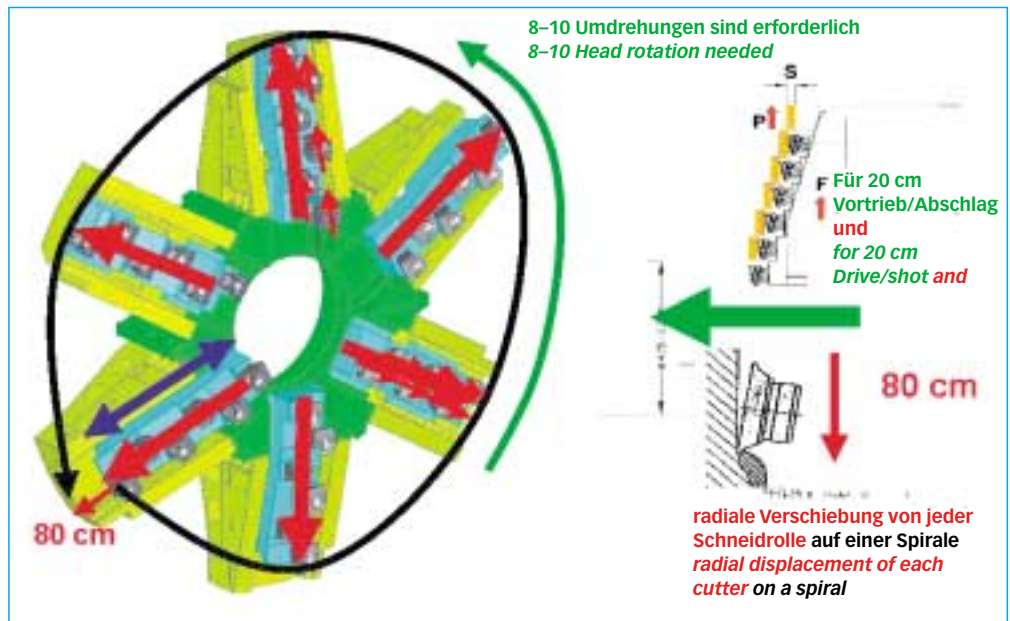
## Tunnelbohr- erweiterungs- maschine TBE mit Hinterschneid- technik

In TUNNEL 4/02 wurde bereits ausführlich über Technik und Funktionsweise der TBE berichtet. Die TBE wurde seit November 2002 am Ende der Lockergesteinsstrecke Diebis und in der speziell für die Montage des Bohrkopfes erstellten Startkaverne montiert. Wie dort bereits beschrieben, erfolgt der Abbau des Gesteins mittels Hinterschneidtechnik, welche im Folgenden etwas detaillierter vorgestellt wird (Bild 18).

Die Hinterschneidtechnik ist seit Beginn der Bohrtechnik mit Tunnelbohrmaschinen als mögliches Schneidprinzip bekannt. Bei diesem Verfahren arbeiten die Schneidrollen gegen die im Vergleich zur Druckfestigkeit wesentlich geringere Zugfestigkeit des Gesteins (Bild 19).

Mit der TBE wird der Pilotstollen von 5,00 m auf einen Durchmesser von 14,00 bis 14,40 m aufgeweitet. Der Bohrkopf der TBE besteht aus einem zweigeteilten Bohrkopfgrundkörper sowie 6 Bohrr Armen. Der Bohrkopf dreht sich auf der im Pilotstollen und im großen Tunnelquerschnitt verspannten und gelagerten Innenkelly. Die Schneidrollen sind sowohl axial als auch radial zur Tunnelachse versetzt auf radial verschiebbaren Schlitten auf den Bohrr Armen angeordnet. Beim Drehen des Bohrkopfes und gleichzeitigem radialem Verschieben der Schlitten beschreibt jede Rolle eine spiralförmige Bahn um die Tunnelachse.

Durch das Voreilen der jeweils äußeren Rolle entsteht



20 Arbeitsprinzip der TBE

20 Working principle of the TBE

eine treppenförmige Ortsbrust, sodass jede Schneidrolle das Gebirge gegen eine freie Fläche – Hinterschneidprinzip – abschert. Die Länge eines Abschlags beträgt maximal 20 cm und ist auf die axiale Verschiebung von 60 bis 80 cm der Schneidrollen auf den Schlitten begrenzt. Kleinere Abschläge können in Abhängigkeit von der Gebirgsfestigkeit gewählt werden. 8 bis 12 Umdrehungen des Bohrkopfes sind für einen Abschlag notwendig. Beim Drehen des 6-armigen Bohrkopfes werden die Schneidrollen von einem inneren auf einen äußeren Bohrdurchmesser verschoben. Nach Erreichen des Nenn-Bohrdurchmessers werden die Schlitten wieder radial zurückgezogen. Anschließend wird der stetig rotierende Bohrkopf um einen Abschlag von 20 cm in Richtung Ortsbrust verschoben, und mit dem Bohren des nächsten Abschlages (erneutes Ausfahren der Schlitten) kann begonnen werden (Bild 20).

Durch kontinuierliches Ausfahren und Zurückziehen der total 3 Überschnidrollen während einer Umdrehung des Bohrkopfs ist es möglich, ein Ausbruchprofil mit zwei verschiedenen Radien zu bohren. Der Radius kann kontinuierlich von 7 m auf 7,2 m vergrößert werden.

Die Montage der TBE inkl. aller Nachläufer (totale Länge ca. 180 m) und der erforderlichen Testläufe ist bis Mitte April 2003 erfolgt. Nach ersten Testläufen konnte die Aufweitung des Pilotstollens auf das endgültige Profil von 160 m<sup>2</sup> nach Ostern 2003 in Angriff genommen werden (Bild 21).

Die mittlere prognostizierte Vortriebsleistung der Aufweitungstunnelbohrmaschine beträgt 9 m/AT. Die Vortriebsleistung wird maßgebend durch die im Nachläuferbereich zu tätigen Arbeiten für die Felssicherung und den Einbau der Abdichtung, des Sohlenbetons und des Werkleitungskanals mit anschließender Einschüttung diktiert.

### Sprengvortrieb Molassestrecke Eichholz

Im Anschluss an die Lockergesteinsstrecke Gjuch folgt von Westen her die Molassestrecke Eichholz. Der rund 500 m lange Abschnitt unter dem Ettenberg wird sprengtechnisch mit Abschlagslängen von 3 m, in Kalotte, Strosse und Sohle unterteilt, ausgebrochen. Die Felssicherung besteht in der Regel aus netzbewehrtem Spritzbeton und Felsankern. In einer ersten Phase wird die Kalotte über die ganze Länge der Molassestrecke vorangetrieben. Sobald der Durchschlag mit der Kalotte in die Baugrube Reppischtal



21 Montierter TBE-Bohrkopf in der Montagekaverne

21 Assembled TBE cutterhead in the assembly chamber

erfolgt ist, beginnt der Abbau des Kerns und der Sohle.

Mit dem Vortrieb in der Molassestrecke Eichholz wird ein 140 Jahre alter Bahntunnel im Sommer 2003 – unter Bahnbetrieb der Zürcher S-Bahn – in einem Abstand von lediglich ca. 7 m schiefwinklig unterquert. In den Bereichen, in denen der bestehende SBB-Landikontunnel und ein weiterer zur Baustelle gehörender Transportstollen unterquert werden, wird aus diesem Grunde die Sicherung mittels Stahleinbau verstärkt. Mit umfangreichen geomechanischen Untersuchungen wurde die durch den Tunnelbau zu erwartende Einflusszone auf den Bahntunnel ermittelt. Im Jahr 2002/2003 mussten Ver-

Through continuously extending and retracting the three overcutting discs during a rotation of the cutterhead, it is possible to bore an excavated cross-section with two different radii. The radius can be enlarged continuously from 7.0 to 7.2 m.

The TBE assembly including all trailers (total length approx. 180 m) and the necessary trial runs were completed by mid-April 2003. After the first test runs, work started on enlarging the pilot tunnel to reach its final cross-section of 160 m<sup>2</sup> after Easter 2003 (Fig. 21).

The average forecast rate of advance for the enlargement boring machine amounts to 9 m/working day. The rate of advance will determine the

operations involving securing the rock and the installation of the seal, the floor concrete and installing the service line duct with subsequent backfilling – that have to be undertaken in the back-up zone.

### Eichholz Molasse Section Drill and Blast Drive

The Eichholz molasse section is the next section following up the Gjuch soft ground one from the west. This approx. 500 m long section beneath the Ettenberg is excavated by drill + blast in 3 m long rounds – divided up into crown, bench and floor. Generally, the rock is secured by mesh-reinforced shotcrete and rock bolts. First of all, the crown is driven over the entire length of the molasse section. The core and the floor are driven as soon as the crown has broken through at the Reppischtal construction pit.

During the excavation of the Eichholz molasse section, a 140 year old rail tunnel will be underpassed at an inclined angle in the summer of 2003 at a distance of only 7 m – while Zurich S-Bahn train services continue running. Supporting will be increased through installing steel in areas in which the existing SBB Landikon Tunnel and a further transport tunnel belonging to the construction site are undercut. The anticipated zone of influence around the rail tunnel was determined by means of far-reaching geomechanical investigations. Reinforcement measures had to be undertaken to strengthen the existing buildings in 2002/2003 in order to ensure that no damage was caused to the rail tunnel so that train services could be continued safely without any interruption.

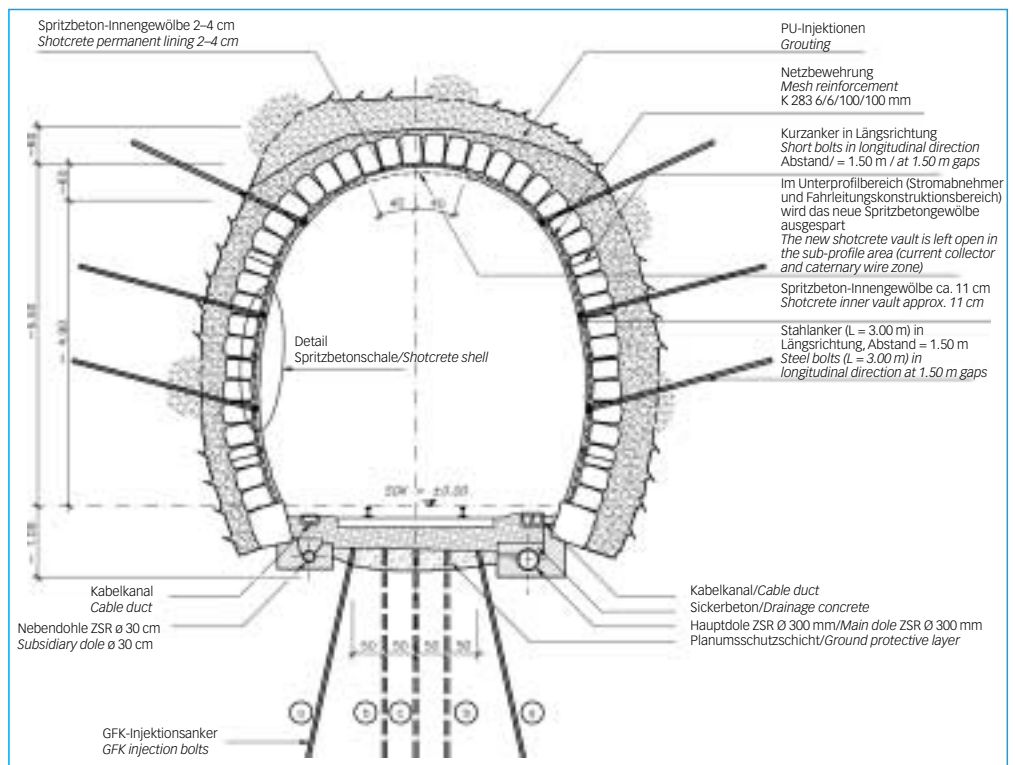
# Aufweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik Enlargement TBE with Back-Cutting Technology

stärkungsmaßnahmen an der bestehenden Bausubstanz getätigt werden, damit durch die Unterquerung keine Schäden am Bahntunnel entstehen und die Sicherheit des Bahnbetriebes zu jeder Zeit garantiert werden kann.

## Vorbereitende Maßnahmen für Unterquerung des Bahntunnels unter Betrieb

### Bauliche Maßnahmen im Bahntunnel

Zwischen dem alten Gewölbe des Eisenbahntunnels – bestehend aus einem Natursteinmauerwerk – und dem anstehenden Gebirge existieren Hohlräume, was sich in unterschiedlicher Gewölbebettung widerspiegelt. Durch Erschütterungen im anstehenden Gebirge, durch Deformationen des Gewölbes und/oder eine allfällige resultierende Setzung des Molassepaketes zwischen der Bahntrasse und dem Autobahntunnel könnten sich deshalb ohne vorkehrende Maßnahmen Niederbrüche ereignen, die das Natursteinmauerwerk unzulässig belasten würden. Im Mauerwerk des Bahntunnels könnten sich zudem ohne Verstärkungsmaßnahmen Gefügelockerungen einstellen, die



22 Querschnitt mit den baulichen Maßnahmen im Bahntunnel

22 Cross-section of the construction measures in the rail tunnel

zum Herausfallen von einzelnen Blocksteinen und damit in der Summe zu einer Gewölbeinstabilität führen könnten.

Um all diesen und weiteren hier nicht alle aufgelisteten Gefährdungen entgegenzuwirken, wurden sämtliche Hohlräume zwischen dem alten Blocksteinmauerwerk

## Preparatory Measures for undercutting the Rail Tunnel while continuing Train Services

### Constructional Measures in the Rail Tunnel

There are cavities between the old rail tunnel vault – consisting of a masonry wall – and the surrounding rock, which is reflected by different vault

bedding. As a result, cave-ins could occur, which would seriously affect the masonry wall through vibrations in the surrounding rock, deformations of the vault and/or a possible settlement influencing the molasse formation – without precautionary measures being taken. Furthermore the structure of the rail tunnel's

# Uetlibergtunnel

## Uetliberg Tunnel

und dem sich dahinter verborgenden Molassefels im Jahre 2002 und im Frühling 2003 verfüllt und verfestigt. Das alte Mauerwerk wurde durch eine systematische Ankerung mit dem anstehenden Gebirge verbunden und mit einer netzbewehrten Spritzbetonschale zusätzlich versteift. Die unter dem Bahntunnel liegenden horizontalen Molasseschichten wurden mittels Kernbohrungen sondiert und für den sich zurzeit nähernden Tunnelvortrieb der beiden Autobahnröhren mit GFK-Injektionsankern mehrfach kreuzweise miteinander „verdübelt“. Mit dieser Verdübelung/Bewehrung des Gesteinspaketes wird eine in sich tragende Gesteinsbrücke unter dem SBB-Tunnel für die Unterquerung zum Tragen aktiviert (Bild 22).

### Maßnahmen im Tunnelvortrieb

Die Erschütterungen und Deformationen aus dem sich zurzeit nähernden Sprengvortrieb der beiden Tunnelröhren werden laufend überwacht und kontrolliert. Die Erschütterungen werden durch Reduktion der Sprengstoffmenge pro Zündstufe, Reduktion der Abschlagslängen (maximal 1 m) und scho-

nendes Sprengen auf ein absolutes Minimum reduziert. Um allfällige Deformationen weiter zu minimieren, wird die gesamte Ausbruchsicherung aus Stahlbögen, Ankern und netzbewehrtem Spritzbeton im Unterquerungsbereich maximal an die jeweilige Ortsbrust herangezogen.

### Messtechnische Überwachung

Um sämtliche getroffenen bautechnischen Maßnahmen im Bahntunnel sowie im Vortrieb der beiden Tunnelröhren und deren Auswirkungen auf den SBB-Landikontunnel und/oder die Gleisanlage permanent überwachen zu können, wurde ein umfangreiches Messdispositiv aufgezogen. Wie eingangs erwähnt, werden im Bahntunnel Erschütterungen und Deformationen des Gewölbes sowie Setzungen und Verwindungen der Gleisanlage mit Erschütterungs-, Konvergenz- und Gleisnivellementmessungen permanent überwacht, um den Betrieb und die Sicherheit für die Unterquerungsphase garantieren zu können.

Das Setzungsverhalten der bereits verdübelten Molasseschichten zwischen dem Bahntunnel und den beiden Tunnelröhren wird mit Ex-

masonry could loosen resulting in individual stones falling out without reinforcement measures – thus leading to the vault becoming instable.

In order to counteract these and other potential dangers that are not listed here, all cavities between the old masonry wall and the molasse rock concealed behind it were filled and consolidated in the course of 2002 and in spring 2003. The old masonry wall was connected with the surrounding rock through an anchorage system and additionally strengthened by means of a mesh-reinforced shotcrete shell. The molasse layers lying horizontally below the rail tunnel were explored by core drilling and “connected” with one another crosswise by a series of GFK grouting bolts to prepare the ground for the forthcoming drive of the two motorway tubes. Through connecting/reinforcing the rock formation a self-supporting bridge of rock has been activated for undercutting the SBB tunnel (Fig. 22).

### Tunnel Driving Measures

The vibrations and deformations caused by the approaching drill + blast drive for the two tunnel tubes are continuously monitored and checked. The vibrations are cut down to the absolute minimum through reducing the amount of explosive per ignition stage, reducing the rounds of advance (1 m maximum) and smooth blasting. In order to further minimize possible deformations, the entire excavation support comprising steel arches, anchors and mesh-reinforced shotcrete is drawn up as close to the face as possible in the undercutting area.

### Measuring Techniques

A comprehensive measurement programme was established to be in a position

to permanently monitor the constructional measures undertaken in the rail tunnel as well as for driving the two tunnel tubes and the effects on the SBB Landikon Tunnel and/or the tracks. As mentioned earlier, vibrations and deformations of the vault as well as settlements and buckling of the tracks in the rail tunnel are permanently monitored by vibration, convergence and track levelling measurements to sustain services and safety for the underpassing phase.

The settlement behaviour of the “connected” molasse layers between the rail tunnel and the two tunnel tubes is monitored by means of extensometers, which are installed from the rail tunnel and the ongoing drive. The programme set up for undercutting the rail tunnel by drill + blast including all control measures takes place in specially devised time frames in the railway timetable.

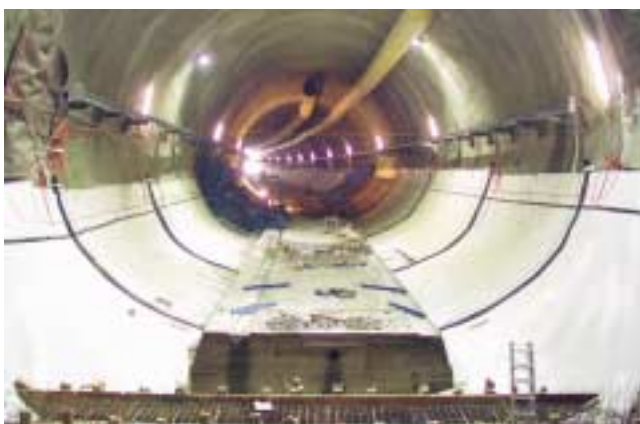
## Permanent Lining

After the driving operations were concluded in the first soft ground sections, work on the permanent lining for the Diebis soft ground section was started in the summer of 2002. The entire tunnel waterproofing in the floor area, the floor concrete, the service line duct, a cable pipe block for the City of Zurich’s electricity works (EWZ) as well as the side backfill have already been installed in this tunnel section. The tunnel enlargement boring machine with its entire back-up was assembled on the ground surface that was created.

### Waterproofing

#### Hydrological marginal Conditions

The pore/joint water pressure in the molasse sections



23 Abdichtung der Sohle in der Lockergesteinsstrecke Diebis  
23 Waterproofing the floor in the Diebis soft ground section

# Aufweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik

## Enlargement TBE with Back-Cutting Technology

tensometern, die aus dem Bahntunnel und aus dem laufenden Vortrieb versetzt werden, überwacht. Die sprengtechnische Unterquerung des Bahntunnels inkl. aller Kontrollmaßnahmen erfolgt in speziell ausgewiesenen Zeitfenstern im Bahnfahrplan.

### Innenausbau

Mit dem Abschluss der Vortriebsarbeiten in den ersten Lockergesteinsstrecken konnten ab Sommer 2002 bereits die ersten Innenausbauten in der Lockergesteinsstrecke Diebis gestartet werden. In diesem Stollenabschnitt wurden bereits die gesamte Tunnelabdichtung im Sohlbereich, der Sohlenbeton, der Werkleitungskanal, ein Kabelrohrblock für das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ) sowie die seitliche Hinterfüllung eingebaut. Auf dem damit erstellten Planum erfolgte die gesamte Montage der Aufweitungstunnelbohrmaschine mit der gesamten Nachläuferkonstruktion.

### Abdichtung

*Hydrologische Randbedingungen*

Der Poren-/Kluftwasserdruck in den Molassestrecken kann auf Grund der geologischen Prognose im Betriebszustand die folgenden Werte erreichen:

- Molassestrecke Eichholz: max. 35 m Wassersäule
- Molassestrecke Uetliberg: max. 150 m Wassersäule.

In den Lockergesteinsstrecken wurden für den Betriebszustand die folgenden Wasserdrücke prognostiziert:

- Lockergesteinsstrecke Gjuch: max. 30 m Wassersäule
- Lockergesteinsstrecke Diebis: max. 40 m Wassersäule
- Lockergesteinsstrecke Juchegg: max. 50 m Wassersäule.

### Art des Abdichtungssystemen in den Lockergesteinsstrecken und in der Molassestrecke Eichholz

Auf der Basis hydrogeologischer Abklärungen und der geforderten Dichtigkeiten werden alle drei Lockergesteinsstrecken im Bereich von bestehenden fließenden und/oder stehenden Grundwasserträgern sowie die dazwischen liegende kurze Molassestrecke Eichholz druckhaltend, mit einer Rundum-Vollabdichtung, abgedichtet (Abdichtungsfolie 3 mm TPO). Um eventuelle Undichtigkeiten der Abdichtung reparieren zu können und um der geforderten Nutzungsdauer des Gesamtbauwerks von 100 Jahren gerecht zu werden, wird in diesen druckhaltenden Abschnitten zudem ein nachinjizierbares System eingebaut. Dieses besteht aus einer zusätzlichen TPO-Noppenfolie (Noppenhöhe 0,3 mm), welche auf die Abdichtungsfolie verlegt wird. Der resultierende „Hohlraum“ zwischen der Abdichtungsfolie und den Noppen kann bei Bedarf über Injektionsstutzen mit einem Injektionsmittel auf PU-Basis ausinjiziert werden. Über spezielle, pro Block angeordnete Feldkontrollstutzen kann die Dichtigkeit des Systems kontrolliert werden. Um einzelne Injektionsfelder zu erhalten, wird zudem in jeder Blockfuge (alle 12,5 m) ein 6-stegiges, nachinjizierbares Fugenband rundum mit der Abdichtungsfolie verschweißt (Bild 23).

### Art des Abdichtungssystemen in der Molassestrecke Uetliberg

Die Molassestrecke Uetliberg wird mit einer einlagigen Rundum-Vollabdichtung dräniert abgedichtet. Die

can attain the following values in operational state according to the geological forecasts:

- Eichholz molasse: max. 35 m water column
  - Uetliberg molasse section: max. 150 m water column.
- In the soft ground sections the following water pressures were forecast in operational state:
- Gjuch soft ground section: max. 30 m water column
  - Diebis soft ground section: max. 40 m water column
  - Juchegg soft ground section: max. 50 m water column

### Type of Waterproofing System in the soft Ground Sections and in the Eichholz Molasse Section

Based on hydrological surveys and the required tightnesses, all three soft ground

sections are sealed with all-round full waterproofing (3 mm TPO sealing membrane) – pressure retentive – to cope with existing flowing and/or standing groundwater carriers as well as the short Eichholz molasse section lying between them. In order to be able to repair possible leaks in the waterproofing and comply with the demanded 100 year-long service life of the overall structure, a re-grouting system is also installed in these pressure-retentive sections. This consists of an additional TPO napped foil (0.3 mm nap height), which is laid on the waterproofing foil. The resultant “cavity” between the waterproofing membrane and the napping can be grouted using an agent on PU basis via injection ports should this be

# Uetlibergtunnel

## Uetliberg Tunnel

Dränagewirkung wird durch eine außerhalb der Abdichtungsfolie im Sohlbereich verlegte, druckentlastende und spülbare Sickerleitung ermöglicht. Mit dem Auffahren des ersten Pilotstollens haben sich die geologischen und hydrogeologischen Prognosen in diesem Abschnitt bestätigt und gezeigt, dass der gesamte Kernbereich des Uetlibergtunnels trocken ist und auf eine druckhaltende Abdichtung im Gegensatz zu allen Lockergesteinsabschnitten verzichtet werden kann.

### Stand der Abdichtungsarbeiten

Bisher wurden die Sohlabdichtung wie auch die gesamte Abdichtung des Abluftstollens und des Abluftschachtes, welche ebenfalls druckhaltend ausgeführt werden, in der Lockergesteinsstrecke Diebis der Röhre Basel verlegt.

### Sohlbeton/Werkleitungs-kanal

*Hinterfüllung Werkleitungs-kanal*

Im Rahmen der Unternehmerofferte wurde durch die ausführende Arge Uetli vorgeschlagen, die seitliche Hinterfüllung des Werkleitungs-kanals auf der Länge von 2 x 2800 m mit aufbereitetem Molasseausbruchmaterial aus dem TBE-Vortrieb aufzufüllen. Im Sommer 2002 wurde diese Option der Arge Uetli durch die Bauherrschaft aufgelöst.

Positive Resultate aus früheren Vorversuchen und ökologische Überlegungen haben den Bauherrn und die übrigen an der Westumfahrung von Zürich beteiligten Ingenieurbüros und Unternehmungen in den vergangenen zwei Jahren zudem dazu veranlasst, eine zentrale Aufbereitungsanlage für

Molassematerial zu erstellen und sämtliche Werkleitungs-kanäle in den übrigen Tunnelabschnitten an der Westumfahrung ebenfalls mit aufbereitetem Ausbruchmaterial zu hinterfüllen. In der Lockergesteinsstrecke Diebis wurden im Sommer/Herbst 2002 die ersten 170 m Werkleitungs-kanäle mit vom Bauherrn eigens aufbereitetem und geliefertem Molassematerial erfolgreich hinterfüllt. Die gemachten Erfahrungen haben gezeigt, dass es bei entsprechender Beimischung von Bindemittel (5,5 M.-% Doroport TB35) und dem schichtweisen Einbau mit entsprechender Verdichtung möglich ist, die an die Hinterfüllung gestellten Materialanforderungen zu erfüllen. Für den Hauptvortrieb und die Hinterfüllung der 2-mal 2800 m langen Molassestrecke unter dem Uetliberg wird die Arge Uetlibergtunnel basierend auf diesen Erfahrungen eigenes Molassematerial aufbereiten und direkt im Nachläuferbereich wieder einbauen.

necessary. The system can be checked for tightness via special field control ports that are set up per block. Furthermore, a six-web, re-groutable joint strip is welded with the waterproofing membrane in each block joint (every 12.5 m) to obtain individual grouting fields (Fig. 23).

### Type of Waterproofing System in the Uetliberg Molasse Section

The Uetliberg molasse section is sealed by means of a single-layer, all-round full waterproofing with a draining effect. This effect is facilitated through a pressure-retentive and flushable drainage line that is laid outside the waterproofing membrane in the floor area. The geological and hydrogeological forecasts in this section when the first pilot tunnel was driven and it was shown that the complete core area of the Uetliberg Tunnel is dry and that there is no need for pressure-retentive waterproofing in contrast to all the soft ground section.

### Progress reached by Waterproofing Operations

So far the floor waterproofing in the Diebis soft ground section of the Basle tube has been laid as well as the entire waterproofing in the waste air tunnel and the waste air shaft, which are also pressure-retentive.

### Floor Concrete/Service line duct

*Backfilling the Service line duct*

At the tendering stage, the responsible contractor, the Uetli Consortium, proposed that the side backfill for the service line duct should be filled with molasse spoil stemming from the TBE drive over a length of 2 x 2,800 m. This option on the part of the Uetli Consortium was taken over by the client in summer 2002.

Positive results from earlier preliminary tests and ecological considerations also caused the client and the other architects and contractors involved in the Zurich West Bypass project to set up a central preparation plant for molasse material in the course of the past two years and to backfill all the service line ducts in the other tunnel sections of the West Bypass with prepared excavated material as well. In the Diebis soft ground section, the first 170 m of the service line duct was successful backfilled with molasse material prepared and delivered by the client. The experience gained shows that the backfill can comply with the demands posed on it providing that a binding agent (5.5 M-% Doroport TB35) is added and that it is installed layer by layer and properly compacted. Based on this experience, the Uetliberg Tunnel Consortium intends preparing its own molasse material and installing it



24 Betonieren des Innengewölbes im Übergangsbereich Abluftstollen/Abluftschacht

24 Concreting the lining in the waste air tunnel/waste air shaft transition area

# Aufweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik

## Enlargement TBE with Back-Cutting Technology

### Am Bau Beteiligte

#### Bauherrschaft

Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt,  
Abt. National- und Hauptstraßen, Zürich/CH

#### Projekt- und Bauleitung

Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt/CH

#### Ausführung

Arbeitsgemeinschaft Uetli  
Zschokke Locher AG, Zürich/CH  
Murer AG, Erstfeld/CH  
Prader AG Tunnelbau, Zürich/CH  
CSC Bauunternehmung AG, Lugano und Zürich/CH  
Wayss und Freytag AG, München und Frankfurt/D  
Alpine Mayreder Bau GmbH, Salzburg-Wals/AT  
Züblin Schlittler Spaltenstein Bau AG, Zürich/CH

### Parties involved in Construction

#### Client

Baudirektion Canton of Zurich, Foundation Engineering Office,  
Dept. for National Highways and Trunk Roads, Zurich/CH

#### Project and Construction Management

Amberg Ingenieurbüro AG, Regensdorf-Watt/CH

#### Contractor

Uetli Joint Venture  
Zschokke Locher AG, Zurich/CH  
Murer AG, Erstfeld/CH  
Prader AG Tunnelbau, Zurich/CH  
CSC Bauunternehmung AG, Lugano and Zurich/CH  
Wayss und Freytag AG, Munich and Frankfurt/D  
Alpine Mayreder Bau GmbH, Salzburg-Wals/AT  
Züblin Schlittler Spaltenstein Bau AG, Zurich/CH

## Abluftbauwerk Eichholz

Das Abluftbauwerk Eichholz liegt auf dem bewaldeten Hügelzug Ettenberg. Für den Bau des Abluftkamins und des Schachtes musste eine Waldfläche von ca. 4200 m<sup>2</sup> gerodet werden. Von diesen 4200 m<sup>2</sup> werden nach Bauvollendung 3050 m<sup>2</sup> wieder aufgeforstet.

Das gesamte Abluftbauwerk Eichholz besteht aus vier Bauteilen:

- Baugrube für das Kaminfundament
- Abluftkamin mit Kaminfundament
- Abluftschacht mit Anschluss an den Abluftstollen
- Abluftstollen mit Anschluss an die Lüftungszentrale Reppischtal.

Die Baugrube für das Kaminfundament und die ersten 21 m des Abluftschachtes kommen im Lockergestein zu liegen. Die restlichen 40 m vom Abluftschacht und der Abluftstollen liegen vollständig im Fels. Der Baugrubenabschluss der 10 m tiefen Baugrube (Durchmesser 24,76 m) besteht aus einer zweifach verankerten Rühlwand. Die Höhe des Kamins über Terrain beträgt 40 m. Der Abluftkamin (Außendurchmes-

ser 7,70 m) besteht aus einem 45 cm dicken bewehrten Betonring.

Der vertikale Abluftschacht (Innendurchmesser 7,40 m) hat eine Tiefe von 60,70 m. Im Lockermaterial wird der Schacht in Etappen von 1,30 m in der Unterfangungsbauweise abgeteuft. Die Sicherung besteht aus einem 40 cm dicken Ortbetonring. Sobald der Fels erreicht ist, wird auf Sprengvortrieb (Etappenhöhe 2 m) umgestellt. Der Fels wird mit netzbewehrtem Spritzbeton und Ankern gesichert. Die Aushubförderung und die Zulieferung von Material erfolgen mit einem Turmdrehkran. Der gesamte Schacht wird mit einer druckhaltenden Rundumabdichtung ausgestattet. Zum Schluss wird ein 30 cm dickes Innengewölbe (Innendurchmesser 6,80 m) von unten nach oben in 3-m-Etappen betoniert.

Der Abluftstollen von 150 m Länge mit einem Querschnitt von 50 m<sup>2</sup> wird von der Baugrube Reppischtal her sprengtechnisch in Etappen bis zu 3 m ausgebrochen. Die Ausbruchsicherung besteht aus netzbewehrtem Spritzbeton und Ankern. Nach Abschluss der Ausbrucharbeiten wird der

directly in the back-up zone for the main drive and backfilling the 2 x 2,800 m long mola- lase section beneath the Uetliberg.

## Eichholz Waste Air Facility

The Eichholz waste air facility is located on the neighbouring Ettenberg chain of hills. A forest area of approx. 4,200 m<sup>2</sup> had to be cut down to make way for the waste air stack and the shaft. After construction is completed, 3,050 m<sup>2</sup> of this 4,200 m<sup>2</sup> large area will be reforested.

The Eichholz waste air facility is made up of four parts:

- excavation pit for the stack foundations
- waste air stack with stack foundations
- waste air shaft with link to the waste air tunnel
- waste air tunnel with link to the Reppischtal ventilation centre.

The construction pit for the stack foundations and the first 21 m of the waste air shaft are located in soft ground. The remaining 40 m of the waste air shaft and the waste air tunnel lie entirely in rock. The construction pit (10 m deep and 24.76 m in diameter) is closed off by a twofold anchored diaphragm wall. The top of the

chimney stack projects 40 m above ground level. The waste air stack (7.70 m external diameter) consists of a 45 cm thick reinforced concrete ring.

The vertical waste air shaft (7.40 m internal diameter) is 60.70 m deep. The shaft is sunk in 1.30 m stages in soft ground using the top heading-underhead bench construction method. It is secured by a 40 cm thick in situ concrete ring. The rock is supported by mesh-reinforced shotcrete and anchors. A rotary tower crane is used to remove spoil and supply material.

The entire shaft is provided with pressure-retentive, all-round waterproofing. A 30 cm thick inner vault (6.80 m internal diameter) will then be concreted in 3 m stages from the bottom to the top.

The 150 m long waste air tunnel, which possesses a 50 m<sup>2</sup> cross-section, is driven via drill + blast in 3 m stages from the Reppischtal construction pit. The excavation is supported by mesh-reinforced shotcrete and anchors. After the excavation operations are completed the entire tunnel will be sealed so that it is pressure-retentive and can be re-grouted – and the 35 cm thick permanent lining produced in 6 m stages (Fig. 24).

ganze Stollen druckhaltend und nachinjizierbar abgedichtet und das 35 cm dicke Innengewölbe in 6-m-Etappen erstellt (Bild 24).

### Stand der Arbeiten

#### Lockergesteinsstrecke Gjuch/Molassestrecke Eichholz

Die Vortriebsarbeiten aus der Baugrube Wannenboden (Wettswil) in der Lockergesteinsstrecke Gjuch, Röhre Basel (Weströhre) sind im letzten Jahr zügig vorangeschritten. Der Vortrieb im Lockermaterial inklusive der Übergangsstrecke zum Fels konnte in dieser Röhre Ende 2002 abgeschlossen werden. Seit Beginn des Jahres wurde mit dem Sprengvortrieb in der Kalotte der Molassestrecke Eichholz in Richtung Baugrube Landikon begonnen. Der Kalottenvortrieb liegt zurzeit bei Tm 580. Somit fehlen noch 120 m bis zum ersten Durchschlag im Tunnel Eichholz. Beim Lockergesteinsvortrieb in der Röhre Chur wurde bereits die Hälfte der 210 m langen Strecke erfolgreich aufgefahren.

#### Lockergesteinsstrecke Diebis/Molassestrecke Uetli

Die Vortriebsarbeiten der Lockergesteinsstrecke Diebis sind abgeschlossen. Die Montagekavernen in beiden Röhren wurden erstellt. In der Röhre Basel wurden die Sohlensausbauarbeiten inklusive Werkleitungskanal und Hinterfüllung ausgeführt.

Am 8. Mai 2002 wurde der Vortrieb mit der Pilot-Tunnelbohrmaschine (Ø 5,00 m) in der Röhre Basel aus der Baugrube Landikon in Richtung Zürich-Brunau aufgenommen. Am 20. Februar 2003 hat die Pilot-Tunnel-

bohrmaschine die rund 2700 m lange Strecke aufgefahren und somit den Uetliberg ein erstes Mal durchschlagen. Die Pilot-TBM wurde zurückgezogen und steht nun für den zweiten Pilotstollenvortrieb in der Röhre Chur bereit. Der erste Vortrieb mit der Erweiterungstunnelbohrmaschine (TBE) Ø 14,00/14,40 m wurde am 11. April 2003 (Festakt) bzw. nach den Osterferien 2003 gestartet.

#### Lockergesteinsstrecke Juchegg

Die Vortriebsarbeiten beim Gegenvortrieb von der Seite Zürich in der Lockergesteinsstrecke Juchegg sind im letzten Jahr ebenfalls gut vorangeschritten. Der Vortrieb der oberen Paramentstollen in der Röhre Basel wurde zur Erstellung der Zielkaverne für die Pilot-TBM bis auf ca. 450 m vorgezogen. Nach dem Durchschlag der Pilot-TBM konnte mit dem Ausbruch der restlichen Teilquerschnitte der Kernbauweise begonnen werden. Beim Lockergesteinsvortrieb in der Röhre Chur wurde bereits die Hälfte der 400 m langen Strecke erfolgreich aufgefahren.


#### Abluftschacht/Abluftstollen Eichholz

Am 10. Januar 2003 ist der Durchschlag vom Abluftstollen in den Abluftschacht erfolgt. Im Jahr 2003 werden der gesamte Innenausbau des Schachtes und der Bau des Abluftkamins ausgeführt.

#### Weitere Informationen unter:

[www.westumfahrung.ch](http://www.westumfahrung.ch)  
(Bauherrschaft)

[www.uetlibergtunnel.ch](http://www.uetlibergtunnel.ch)  
(Projektverfasser)

[www.arge-uetli.ch](http://www.arge-uetli.ch)  
(Bauunternehmer) 

### Progress of Work

#### Gjuch soft Ground Section/Eichholz Molasse Section

The driving operations from the Wannenboden (Wettswil) construction pit in the Gjuch soft ground section, Basle tube (western tube) progressed rapidly in the course of the last year. The drive in soft material including the transition stretch to the rock was concluded in this tube at the end of 2002. Since the beginning of this year, the drill + blast drive has been progressing in the crown of the Eichholz molasse section in the direction of the Landikon construction pit. Currently, the crown drive has reached tm 580. In other words, there is still a further 120 m to go until the first breakthrough in the Eichholz tunnel takes place. Around half of the 210 m long stretch of the soft ground section in the Chur tube has been successfully driven.

#### Diebis soft Ground Section/ Uetli Molasse Section

The driving operations in the Diebis soft ground section have been concluded. The assembly chambers were created in the two tubes. The floor support operations including the service line duct and backfilling have been carried out.

On May 8, 2002, the pilot tunnel boring machine (5.00 m Ø) started up in the Basle tube from the Landikon construction pit in the direction of Zurich-Brunau. On February 20, 2003, the pilot tunnel boring machine had driven the roughly 2,700 m long stretch – thus cutting through the Uetliberg for the first time. The pilot TBM was pulled back and is now ready to drive the second pilot drive in the Chur tube. The first drive with the

enlargement tunnel boring machine (TBE) 14.00 Ø / 14.40 m commenced after the 2003 Easter holidays after a ceremony to mark the occasion was held on April 11, 2003.

#### Juchegg soft Ground Section

The driving operations for the counter-drive from the Zurich side in the Juchegg soft ground section also made good progress in the course of the last year or so. The upper wall headings in the Basle tube were driven in advance over a length of approx. 450 m in order to produce the target chamber for the pilot TBM. After the pilot TBM broke through, work began on the remaining part cross-sections using the core construction method. Already half of the 400 m long stretch for the Chur tube soft ground section has been successfully driven.

#### Eichholz waste Air Shaft/ waste Air Tunnel

The breakthrough from the waste air tunnel into the shaft took place successfully on January 10, 2003. The shaft's entire permanent lining and the construction of the waste air stack will be tackled during the course of 2003.

#### Further info under:

[www.westumfahrung.ch](http://www.westumfahrung.ch)  
(client)

[www.uetlibergtunnel.ch](http://www.uetlibergtunnel.ch)  
(project designer)

[www.arge-uetli.ch](http://www.arge-uetli.ch)  
(contractor) 